

JIRCAS Working Report No. 87

ISSN 1341-710X



国際農業研究情報 No. 87

JIRCAS-CAAS 農業科学技術研究協力の歩み  
—20 周年記念シンポジウム プロシーディングス—  
中日農業科技合作 20 周年学術研討会論文集

Proceedings of Sino-Japan Symposium on 20<sup>th</sup> Anniversary of Agricultural  
Science and Technology Collaboration

銭 小平（文佳） 編



2019 年（平成 31 年）3 月

国立研究開発法人  
国際農林水産業研究センター

国際農林水産業研究センター  
国際農業研究情報 No.87  
**JIRCAS-CAAS 農業科学技術研究協力の歩み**  
**－20 周年記念シンポジウム プロシーディングス－**  
**中日農業科技合作 20 周年学術研究会論文集**

目 次（日本語）

挨拶 .....	1
特別講演	
中国農業の課題と対策 .....	9
共同研究プロジェクトの概要－20 年間の共同研究と交流 .....	19
持続的発展のための農業環境研究	
国際農業環境研究の進展と日中協力	
－農業生態系の窒素循環とその環境影響－ .....	29
中日高効率施肥と環境評価協力 20 年間の回顧と展望 .....	40
気候変動による農業への影響研究 .....	47
Introduction to Advances in Climate Change Adaptation Research for Chinese Agriculture（中国農業の気候変動適応研究の進展） .....	53
Sino-Japanese collaborations benefit China's crop monitoring system （中日協力は中国の農作物モニタリングシステムに有意に働く） .....	60
衛星データを用いた土地利用に関する研究	
－中国農業科学院農業資源与農業区画研との共同研究－ .....	68
農業経済と農村社会発展研究	
中国農業の発展と当面する課題－日中農業政策の比較研究－ .....	75
中国の生態循環農業の発展とその研究展望 .....	83
北京生態農場の生産行動分析 .....	94
中国の食料安全保障と気候変動に関する JIRCAS との共同研究 .....	103
黒竜江省の水稲生産発展の課題 .....	109
農牧民のアイデアを活用した農業技術開発の可能性 .....	114
あとがき .....	123

## 目 录 (中文)

致辞 .....	125
招待演讲	
当前中国农业面临的问题及对策思路 .....	131
合作研究项目概况—20 年的合作与交流 .....	141
面向可持续发展的农业环境研究	
国际农业环境研究进展与中日合作	
—农业生态系统中氮循环及其环境影响— .....	151
中日高效施肥与环境评估合作 20 年回顾与展望 .....	158
气候变动对农业影响的研究 .....	163
中国农业适应气候变化研究进展 (参照 pp.53-59)	
中日合作有利于中国作物检测系统的发展 (参照 pp.60-67)	
利用卫星数据研究土地利用	
—与中国农业科学院农业资源与农业区划研究所的合作研究— .....	169
农业经济与农村社会发展研究	
中国农业的发展与挑战—日中农业政策比较研究— .....	175
中国生态循环农业发展与研究展望 .....	183
北京生态农场生产行为分析 .....	192
基于与 JIRCAS 合作研究的中国食物安全和气候变化展望 .....	200
黑龙江省水稻生产发展问题 .....	205
论有效利用农牧民的知识与智慧进行农业技术开发的可能性 .....	209
结语 .....	217

挨 拶

## JIRCAS-CAAS 農業科学技術研究協力 20 周年記念シンポジウム 挨拶

伊藤優志 在中国日本大使館経済部参事官

本日ここに 20 周年記念シンポジウムが開催されることに対しまして、お祝いを申し上げます。JIRCAS 及び CAAS の共同研究は、開始されて既に 20 年間継続しています。関係各位の最大限の御尽力と切り離せないものであり、敬意を表します。

JIRCAS 及び CAAS では、この 20 年間で 5 つの共同研究プロジェクトに取り組み、東アジアの農業生産の安定や環境保全型農業の育成に寄与されてきたと聞いております。

また、2011 年には、両者は無期限の共同研究に関する覚書き（MOU）を締結され、両者の結び付きはより強固になったと承知しています。

現在進行中の 5 つ目の共同研究プロジェクトでは、高い付加価値の米や蕎麦の流通及び消費について調査分析をされていると聞いています。私は、今からその研究成果の発表が待ち遠しく、その成果が日中両国の政策に反映されることを期待しています。

日中の農業分野における行政機関間の最近の動きについて簡単に紹介します。昨年 6 月には、農林水産省と農業部のそれぞれの局長級を責任者と位置付け、農業分野の意見交換の枠組みである日中農業グループ会議が組織され、既に 2 回の会合が開催されました。また、日中両国の幹部間の交流も盛んになっており、昨日は山本農林水産大臣と余農業部副部長との会談が行われたところです。

日中両国の農業、農村は異なる部分もありますが、御存知のとおり、例えば、食糧の安全保障、農業の持続的発展などは日中両国共に重要な政策課題です。このように両国に共通し、又は類似する事項は、多くあります。

私は、今後も本共同研究のプロジェクトを始め、日中両国が様々な機会を利用して、意見交換し、協力し合うことは、共通する政策課題の解決に向けて非常に意義があると考えます。

また、本シンポジウムの実施を通じて、日中両国の研究者間の交流の輪が拡大し、農業分野における友好関係が益々深まることを念願致します。そして、本日御参集の皆様の益々の発展を祈念致します。

以上、林公使からの挨拶を代読させていただきました。

本共同研究プロジェクトにつきましては、研究成果以外にも、日中間の研究者同士の交流、研究人材の育成に大きな役割を果たしたと思います。本日、皆様とこのような御縁ができるのも本共同プロジェクトが継続しているからであり、本共同プロジェクトに感謝します。

最後になりますが、中国では赤色は幸せを表すと聞いています。このため、私は赤色の

ネクタイを締めるのを従来から好んでいます。本日も、赤色のネクタイを締めて参りました。この赤色のネクタイを通じて、再度、本日の開催を心からお祝い申し上げます。

以上、挨拶と致します。皆様ありがとうございました。

## JIRCAS-CAAS 農業科学技術研究協力 20 周年記念シンポジウム 挨拶

小山修 JIRCAS 理事

JIRCAS は、前身の熱帯農業研究センターの 1980 年代から、中国の研究機関との間でイネ、野菜、乾燥地農業等の個別課題での共同研究を実施してきましたが、1993 年に国際農林水産業研究センターに改組となり、異なる分野の専門家が一緒に問題解決を図る総合型のプロジェクトが企画され、その一つとして中国農業科学院との間の共同研究が開始されました。日中農業科学技術交流グループ会議の指導の下、日中双方から知恵を出し合い、研究者の専門性を最大限に発揮し、社会のニーズに対応する研究テーマを探り、1997 年に正式に共同研究が開始されました。私のはじめての中国訪問も、1997 年 11 月、当時唐院長が所長を務めていた農業自然資源和農業区画研究所などでの研究計画の協議のための訪問でした。

本共同研究が、その後 4 つの共同研究プロジェクトに引き継がれ、20 年の節目を迎えたことは感慨深いものがあります。この 20 年間は、中国において経済発展が顕著であった時期でもあり、農業を取り巻く環境も大きく変化してきました。そのことは、共同研究プロジェクトの内容にも反映されています。第 1、2 期では、持続的生産や安定供給がキーワードとなっており、単なる増産でなく持続性や安定性の視点が重視されました。第 3、4 期では、環境調和型、循環型といった言葉がキーワードとなり、農業の「質」が追求されました。さらに現在実施中の第 5 期では、高付加価値化やフードバリューチェーンをキーワードに、生産・加工・流通だけでなく、消費の現場も一体として捉える研究となっています。それぞれの研究プロジェクトの立案時には、多くの同僚と熱心に議論したことを思い出します。

研究内容は、時間とともに変遷しましたが、当初から変わらなかったのは、双方の研究者間の対等で友好的な交流関係だと確信しています。もちろん、単に友好的であるというだけでなく、研究者として、共に学び、互いの技量を高めてきました。そして数多くの有益な研究成果が得られたことは、今日のこれからのセッションにおいて、関係者から示していただけたと思います。個人的な感想ではありますが、農業研究協力の分野は、両国関係に紆余曲折がある中でも一貫して研究者間の対等な協力関係を維持してきたという点において、広範な日中協力のなかでも誇るべき優良事例ではないかと思います。

20 年間というのは、日中交流の長い歴史から見れば極めて短期間で、両国の経済規模と比較すれば僅かな活動であったかもしれませんが、JIRCAS と中国農業科学院との共同研究は、特筆すべき素晴らしい交流の一足跡であると思います。そしてこの協力は、現在進行形として、将来の発展につながっています。今、日本と中国は、食の高度化、高齢化、資源制約などの共通の課題を抱え、アジア地域のみならず、人類全体の食料・環境問題を一緒に解決していくべき立場にあると思います。20 年の土台の上に、両国の異なる知見を

融合して新たな価値を創出する、本日がそのスタートの日となるよう、両機関の良い関係がこれから益々発展していくよう、私も微力を傾注したいと思います。最後に、多くの両国関係者のこれまでのご指導、ご助力、ご尽力に改めて感謝申し上げ、ご挨拶といたします。ありがとうございました。

## 中日農業科学技術協力 20 周年学術シンポジウム 挨拶

唐華俊 中国農業科学院院長

まず、中国農業科学院を代表いたしまして、「中日農業科学技術協力 20 周年学術シンポジウム」の開催をお祝い申し上げます。ご臨席の各指導者、中日両国の代表の皆様を心より歓迎の意を表します。

中日両国は一衣帯水の隣国であり、農業分野において両国は密接かつ悠久なる交流の歴史を有しております。改革開放以来、農業科学技術分野における両国の交流が活発となり、苗投げ栽培と早育稀植栽培が日本から中国に導入されました。特に 1997 年、中国農業部と日本農林水産省が農業科学技術協力協議を締結して以来、中国農業科学院と日本国際農林水産業研究センターが 20 年間にもわたって緊密な協力を行い、農業資源の効率的利用、環境にやさしい農業経営システムの構築・評価、及び農業高付加価値産業チェーンの研究など、多岐にわたった分野において幅広く協力と交流を行い、実り多い科学研究成果を収めてきました。農業のグリーン化・生態化と持続可能な発展に向けた技術的支援、制度及び政策案を提供したのみならず、一連の協力・科学技術共同展開のプラットフォームを構築してきました。中国と世界の食糧安全保障に大きく寄与してきました。

この度のシンポジウムはここ 20 年間の協力の歩み、交流・協力成果を振り返るほか、今後の協力を展望し、協力の重要ポイント、協力メカニズムと協力のロードマップを明確化する狙いがございます。この度のシンポジウムを、中日双方の農業管理部門は非常に重要視しております。シンポジウムが成功裏に開催されますようお祈り申し上げます。

中国農業科学院は国際交流と協力を重要視しており、国際的視野を以て科学技術に関する開かれた協力を図っております。我々は 81 か国、33 の国際機関、6 社の多国籍企業及びビル&メルンダ・ゲイツ財団と科学技術協力関係を結びました。中国農業科学院において 13 の国際機関が中国駐在員事務所を設け、共同実験室や共同研究センターを 62 か所共同構築してきました。中国農業科学院は終始「世界一流の農業科学研究機関」を目標にし、「産業の重要な科学技術のニーズに対応し、世界農業の科学技術の上位へ躍進する」ことを使命として、農業科学技術において世界各国と積極的に協力を推進しております。

第一期中日農業協力プロジェクトの担当者として、私はプロジェクト成立から本格的スタート、後期の飛躍的な発展の段階まで見守ってきました。さらに、中日両国の農業科学技術の進歩と農業の発展を推進する中で、プロジェクトによる成果がどれほど積極的な役割を果たしたのか、そしてプロジェクトの今後の発展潜在力がどれほど大きいかということを実感しております。ご臨席の専門家の皆様、学者の皆様が事業を受け継ぎ、将来の発展に道を開くことを通じ、中日農業科学技術の協力をより一層高いレベルへと押し上げていくように切に望んでおります。

本シンポジウムにおいて、中日両国の科学者は国際農業環境研究の進捗、中日両国の農業

政策の比較、中国現代農業の発展などの分野をめぐり基調報告を行い、食料供給の予測、農業気候変動、農業・地理リモートセンシングなどの技術分野をめぐり幅広く交流と議論を行う予定でございます。そのため、以下三つを提案させていただきます。

一、次の二十年の農業科学技術協力の中で、中日両国は政策協調・ドッキングと協力枠組みのトップデザインを如何にすべきかと考え、将来に向けて青写真、良好な協力政策・メカニズム及び明確化したロードマップを提供する必要があるでしょう。

二、優先協力分野を明確化し、APEC、アセアン 10+3、CGIAR などの既存・将来の二国間協力メカニズムを活用し、メンバー国間の協力を強める必要があるでしょう。

三、共同協力プラットフォームと人材育成活動の計画を拡充し、「国の交わりが民の親しむにあり」と言われますように、両国の科学技術者の交流に向けより大きな力と資金を投入し、相互理解をより一層深め、ハイレベルな協力に向けて土台を作り上げる必要があるでしょう。

より幅広い分野における農業科学技術の協力に向け、本シンポジウムが確固たる土台を固めることになると信じております。中国農業科学院は一貫して科学技術における中日両国の協力と交流を支えていきます。

本日、私たちはまた「中国農業科学院－日本国際農林水産業研究センター農業発展研究連合実験室」の看板の上掲式に立ち会いました。今後、中日両国がより高いレベルの農業科学技術協力を行うために、連合実験室が新たなスタートラインになるようお祈り申し上げます。

最後に、本シンポジウムが円満な成功を収めますよう、そして皆様の北京でのご滞在が良い思い出になりますようお祈り申し上げまして、私の挨拶とさせていただきます。

ありがとうございました。

## 中日農業科学技術協力 20 周年学術シンポジウム 挨拶

張陸彪 農業部国際合作司副司長

まず、中国農業部国際協力司を代表致しまして、この度のシンポジウムの成功に対し祝賀の意を申し上げますとともに、この度のシンポジウムにご列席を賜る中日両国の農業分野の専門家、業界代表者及び政府官僚に対し衷心より感謝の意を申し上げます。

中日両国の農業は従来持続可能な発展という理念を貫き、互惠・ウィンウィンの実現に向けた協力の共通点を前向きに模索してきました。長期にわたる協力・交流を経て、両国は農業科学技術研究、農業政策、模範普及及び農産品貿易などの分野において実り多い協力成果を収めてきました。20 年にも及んだ中国農業科学院と国際農林水産業研究センターとの交流・協力は、中日両国の農業科学技術協力の展開・実施の代表的な模範ともなりました。

中国は農業生産大国である一方、我が国の農業の急速な発展にともない、肥料や農薬などの農業化学品の投入量が年々増えつつあり、養殖量と規模も拡大しつつあります。その結果、農業の非点源汚染など一連の農業環境問題が発生しています。農業投入物の利用率を如何に向上させるか、栽培・養殖の廃棄物の処理技術を如何にレベルアップさせるか、環境にやさしい農業の発展モードを如何に構築するか、といった課題に向け、社会や人民大衆が強い関心を寄せています。ここ数年、中国政府はエコ文明建設と農業のグリーン発展をめぐり、一連の政策文書を公表し、一連の重大な措置を講じるようになりました。そして、農業のグリーン発展「五大打動」を実行するとともに、農業供給側の構造的改革の進行につれてそれを深く推進しています。農業の発展モードの急速転換は農業の非点源汚染の対応に途絶えることのない原動力を提供しています。そのため、当面の資源・環境課題に直面する中、私たちは農業科学技術に関する協力をより一層緊密なものとし、効率的な処理技術とモードの普及・応用を加速させ、的の射た提案を提出し、中日両国ないし世界の農業環境処理に向け技術的支援と政策を提供するように望んでおります。

農産品貿易は国際農業交流の重要な形であり、各国の農業経済発展の尽きることのない原動力でもあります。改革開放以来、特に WTO に加盟した後、中国の農業の対外開放が持続的に拡大し、海外向けの農業貿易も急速な発展を成し遂げました。グローバル化が進む中、中日両国間の農産品貿易の発展は両国の経済貿易の關係に新たな原動力を注ぎました。食料の供給關係をめぐり、中日両国は農産品の質・安全の確保を前提に、農産品の加工技術を向上させ、農産品の産業チェーンを拡充し、農産品の付加価値を高めることにより、それぞれの農産品の国際的競争力を強める必要があると存じております。

現代農業科学技術の発展が日進月歩であり、ビッグデータ技術、スマート農業技術、遺伝子工学などの技術が農業分野の研究に浸透し、レベルの高い学際的な研究がすでに主流になりました。当面の農業重要課題に関し、ご列席の専門家の皆様が学際的かつ開かれた交流と協力を行い、中日の農業発展に向けて提言することが求められています。

最後となりまして、本シンポジウムの成功と実り多い成果を収められますようお祈り申し上げまして、私の挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。

特別講演

## JIRCAS-CAAS 農業科学技術共同研究 20 周年記念シンポジウム特別講演

中国農業の課題と対策<sup>1</sup>

陳錫文 全国政治協商会議常務委員、全国政治協商会議経済委員会副主任

## 1 はじめに

中国農業の課題を四つに集約することができる。

第一に、政府の働き方を変えること。市場の需要に応じて生産を発展させることは、政府の重要な責務の一つであり、政府は自らの働き方を変える重要な部分である。

第二に、中国における農業科学技術のイノベーションを急ぐ必要がある。これまで農業科学技術の進歩がもたらした貢献は絶え間なく向上しているが、農業技術レベルの高い国と比べ、その差は明らかである。特に農業や畜産業において、我々の農民の先進技術の習得は明らかに不足している。そのため、農業科学技術を進歩させることは農業生産の効率を上げ、商品の競争力を高めるための手段として明らかに重要である。

第三に、中国における農業経営システム革新を速く推進する。先ほど、張陸彪氏<sup>2</sup>は中日両国間、特に農業農村において類似している点が多くあることを話した。当然、日本の農業近代化への取り組みは中国よりも早く、そのため、改革開放以来、中国は日本の農業、農業技術及び農業組織の分野から多くの経験と技術を学んだ。これらの経験と技術は、中国農業発展に大いに役に立った。張陸彪氏は中日両国間の農業が近いと感じていると話したが、踏み込んで話をすると、昨日の日本農業の問題はいまの中国農業の問題と言えるだろう。

私自身は三十年以上前から日本に行くようになったが、いつも短期調査のため、深く理解していると言えない。80 年代半ばに行った時、深く印象に残ったのは、当時中日間の農業農村発展の差は少なくとも 30 年はあると感じた。その後、訪問回数が増え二十数回になった頃には、日本で起きた問題と中国で同様な問題が現れる時間の差が段々短くなってきたと感じるようになり、日本で起きたばかりのある問題は、中国も既に直面していることもあった。このように、両国間の交流を促進することは、両国間のそれぞれの直面する問題を解決するために大いに助けになると考える。中日両国はいずれも小規模な家族農業を主に営む経営方式で、新金融資本主義思想の大きな流れの中で、小規模な家族農業を有望視しない人が多い。これは農民自身の選択でもなければ、国家政策の選択でもなく、重要なのは資源賦存と歴史から与えられたある種の遺産だと思う。こうした小規模な分散型農業経営は、新大陸国家のような大規模農業の生産効率と農業競争力に達することができるかという問題をどのように徐々に解消するか、解決すべく多くの難しい問題に直面し

---

<sup>1</sup> 講演録音に基づき整理したものであり、キャプションを付けた。

<sup>2</sup> 当時農業部国際合作司副司長

ている。従って、中国における農業経営システムの革新の推進を加速することは、中国のような小規模家族農業にとって重要な意味がある。

第四に、これは中国の最も独特で解決が必要な問題である。日本を例に例えると、1億2千万以上の人口を有するがその殆どの人が都会で生活しており、人口密度が高くない地域においても農業に従事する人の割合が少ない。現在、日本の耕地面積は約7千万ムー<sup>3</sup>に相当し、200万人未満の農民が暮らす。農民1人当たりの経営耕地面積は、事実上中国の家庭当たりの経営耕地面積よりも大きい。しかし、中国の場合の深刻な問題は、都市化の過程で農民を速かに都会人にさせられなかったことである。事実上農村に農業人口が大量に滞留している。統計資料によると、現在我々の都市化率はすでに57%か58%を超えている。本当に農村に残っている人、即ち戸籍を移さず一年の殆どの時間を農村で過ごす人は、すでに6億未満まで下がっている。農村に6億人というのは、最盛期の農村人口9億人以上から見れば大きな進歩であり、自分と比べてもこの先の道が長く感じる。中華人民共和国設立時の1949年の統計資料を見ると、当時の農村人口は4.8億人で、それに対し、現在中国の農村人口は、都市への出稼ぎ労働者を除いても、6億人近くいる。20億ムーの土地に対し、まだ2億3千万以上の土地請負農家がある。数日前に公表したデータによると、すでに7千万人の土地請負農家は、土地の全部或いは一部を流動させ、その面積は4.7億ムー（0.3億ヘクタール）に達し、農家全体土地面積の30%を占める。言い返せば、現在少なくとも65%の農民が自分の請負地を耕し、このような小規模請負農家経営の農地面積は全体の60%を占める。この局面を変えることは非常に長い道のりとなる。2018年は中国農村改革四十周年、この四十年間多くの変化が生じた。そのうち巨大な変化と言えるのは、工業化と都市化の急速な進展である。

2016年から、一部の学者から中国都市化の急速発展の段階がすでに過ぎ去ったのではないかと提示され、これは1つの問題として勿論研究しなければならないが、共通で感じているのは中国での出稼ぎ農民の都市進出のペースが緩くなっていることである。従って、将来中国のような大きな枠組としての都市と農村、私の予測では2017年末までに都市部の常住人口はおおよそ8億人で、農村の常住人口は依然として6億人近くになると思われる。この局面は、日本の工業化都市化の過程で生じた問題より更に複雑で難しい。このため、大多数の中国農民を都市部に入れさせることは相当長い間果たせないだろう。しかし、中国農村の土地面積の広さから考えると、如何に農民に就業機会を与えるか、農民収入の向上をどうはかるか、これらは農業発展ないし中国経済発展が直面する重大な問題である。

これらの問題はどれも非常に複雑で、一つ目は、農民の生産行動指導への政府政策を改めること、二つ目は中国の農業科学技術の進歩を加速させること、三つ目は中国の農業経営システムの革新を促進させること、四つ目は、都市部や伝統農業以外に、農民の就職機会拡大と所得向上の新チャンネルを提供できるかである。このような四つの問題は、いまわれわれにとって最も重要な問題で、中国で推進している農業供給側の構造改革で解決しようとしている問題である。時間の関係で、二つの問題について私の考えを述べる。まず、

---

<sup>3</sup> ムーは中国の農地単位であり、15ムーは1ヘクタールとなる。

農民の生産行動指導への政府政策メカニズムを改める問題である。次に、農業経営システムの革新となる。この二つの問題について個人的な見解を話したい。二つ目の科学技術について、私自身は技術専門家ではないので、ここに多くのトップレベルの農業科学技術者がいることから、私はこの問題について騒ぎ立てるつもりはない。最後の問題は農民の就業と増収に新たな可能性について時間があれば少し述べることにしたい。

## 2 農民への生産指導を変えるための政策メカニズム

政府の農民生産活動を指導する政策のメカニズムを変えることについて、過去十数年間の食糧生産量の増産要因は多岐にわたり、主要河川の治水対策や農地未利用の改善、基盤整備、農業科学技術の蓄積改善、農村改革など長期にわたる地道の努力を重ねた結果、2004 年から 2015 年までの食糧生産量の急速な増加をもたらした。この間、政府の特殊政策も特別な役割を果たした。周知のように、20 世紀末の 1999 年から 2003 年までの間に、中国は 5 年間の食糧減産を経験し、2003 年の食糧生産量はわずか 8614 億斤（4.3 億トン）しかなく、これは史上最高値であった 1998 年の 1 万 264 億斤（5.1 億トン）より 1632 億斤（0.8 億トン）も少なかった。食糧生産量の大幅な減少は、2003 年下半年と 2004 年上半年に、供給は需要に追いつかない状況をもたらした。当時政府に対する要求は農家の積極性を引き出し、食糧生産を回復増産ための政策措置を打ち出すことであった。

振り返ると、2004 年の中国農業 1 号文書は、農村に関する三大政策を提出した。これらの政策は農民にとっての予想外の重大な転換となった。まず、2004 年には農業税の税率を徐々に引き下げ、最終的に農業税を廃止することを提案した。つぎに、農民に直接補助を行うことを提案した。これらの補助金は農民の食糧生産補助、優良品種購入補助、農業機械購入補助で、後に四項目の農業生産材料補助まで拡大した。これは第二の政策であった。第三の政策は、主産地での政府の最低買付価格制度を実施することであった。

特に食糧生産と関係した最低買付価格制度は大きな役割を果たした。当初政府の意図としては最低買付価格が実際の市場価格を下回ることによって農家に下支えとなる価格を与えることであった。仮に市場での供給超過になる場合、価格が市場価格より斤（0.5kg）当たり 2 ～3 分（1 元＝100 分）低い状態に下落した場合、政府が設定した最低買付価格で全額買い取ることで、農民に安心を与える。この制度は価格刺激の政策ではなく、先にも述べたように、最低買付価格は市場価格より低い。しかし農民は政府の最低価格で一年間の経営活動の損益を計算できるため安心して生産できる。そのため、最低買付価格を実施した当初、農家は非常に興奮した様子が見られた。政府最低買付価格が公表後の最初の三四年の間に、市場価格が最低価格より高いため、この最低価格政策を実施する必要はなかった。従って、当初の四年間の最低買付価格は 2004 年に公表された最低価格を上回ることがなかった。例えば、小麦と白小麦は 1 斤あたり 0.72 元で四年間変わらなかった。インディカ種の早生稲は 1 斤あたり 0.7 元、中晩生稲は 1 斤あたり 0.72 元、ジャポニカ種稲は 1 斤あたり 0.75 元で、四年間の変化がなかった。この政策効果は歴然で、政府からの支出もなく、農民は非常に喜び、さらに 4 年連続の食糧増産をもたらした。

最初の状況から見ると、これは良い政策だと言うべきだが、時間が経つにつれ問題が生じた。この問題は中国農業ないし全体の経済成長が最も速い段階に現れた。成長はよいことである一方、問題は急速な経済成長の中で、政府またマーケットは要素価格をうまくコントロールすることができなかった。急速な経済成長とともに、土地価格、労働力価格、資本価格も上昇し、これらが農業に反映した結果、農産物コストの急速な上昇となった。農民は収入の減少を感じ、政府部門にコストの上昇を補うための食糧最低買付価格を引き上げるよう要求した。このように 2008 年から政府は小麦と米の最低買付価格を引き上げることにし、2007 年末の決定では、2008 年から東北産のトウモロコシと大豆に対し、臨時食糧買付備蓄制度を実施することとなった。この決定をどう見るか、まず食糧という品目での政府公定価格がますます普通的になっていること、つぎに、2008 年から政府価格は、生産コストが高まることに対する補填と農家所得の向上を担う措置としてほぼ毎年引き上げられた。2014 年まで主要食糧の政府価格の引き上げ幅は大きく、先ほど述べた小麦の場合、最初の最低価格は 0.72 元/斤であったが、2014 年には 1.18 元/斤に引き上げられた。インディカ種早稲は 0.7 元/斤から 2014 年の 1.35 元に、同様に中晩生稲は 0.73 元/斤から 2014 年の 1.38 元に、ジャポニカ種稲は 0.75 元/斤から 2014 年の 1.55 元/斤になった。政府の最低買付価格の上昇幅は、いずれも 90%か、100%を超えるものもあった。2008 年の東北産トウモロコシ価格は 0.7 元/斤であったが、2014 年の臨時買付価格は 1.12 元/斤となった。事実上政府の農業への補助金を買付価格に入れるという簡単な方法で操作された。このことで、農民は基本的に満足し、生産量は継続的に増えている。しかし、振り返ると、別の問題が生じ、政府最低買付価格が年々上がることで最終的に市場の適正価格を上回るようになった。例えば、2004 年以降の政府文書では食糧市場の全面開放を論じたが、2010 年以降の食糧市場は事実上萎縮し、残ったのは政府の公定価格と中央儲蓄糧食総公司による食糧の買付だけとなった。他の経営体は食糧価格が高すぎることに警戒から徐々に撤退した。それによって食糧加工業もある程度減少し、これは大きな課題である。

もう一つ大きな問題は、2010 年以後特に 2012 年から、金融危機の影響により、世界市場における国際食糧価格は徐々に下落し始めたが、政府はこの時点でも公定価格を上げ続けたため、中国の食糧価格は明らかに国際市場価格を上回った。その結果、国際市場からの食糧輸入が増加した。皆さんからいつも質問されたのは WTO に加盟した際に二つの主要品目の完全割当制度が合意したのではないかという点である。それはその通りで、トウモロコシに関しては、近年の科学技術進歩により、多くのトウモロコシ加工業において、代替品を使用できるようになり、トウモロコシの代わりに大麦、コーリャン、DDGS とアルファルファを加工原料または飼料として利用することが増えた。トウモロコシに対する関税割当の保護制度はあるが、これらの代替品に対する制限はない。そのため、代替品の輸入がますます多くなっている。2015 年にはこの四大代替品の輸入量は 3800 万トンを超えた。さらに、中国は 500 万トン近くのトウモロコシを輸入したため、輸入したトウモロコシとトウモロコシの代替品は 800 億斤（4000 万トン）以上となり、その分の国内市場を占めた。結果的に主産地の東北地域のトウモロコシは、販売できずに在庫にせざるを得ないこととなり、現在の食糧在庫が高い状況を作った。当時、「輸入品は市場へ、国産品は倉庫へ」というのはやり言葉が流行したものである。従って、過去十数年の農業発展につい

て、多方面から分析する必要がある、成功した政策もあれば、最初は成功したが徐々に状況が変化し浮いてきた政策もある。中国の農業農村政策の研究に三十数年従事してきた私の所感として価格のような政策はマクロコントロール政策に属するため、それは必ず短期的な政策であるべきであり、十数年も変わらずに同じ政策を取れば、最終的に問題が生じることになる。

2015 年になると中央政府はこの問題の重要性を意識し、積極的に改革を推進し始めた。食糧を生産する前に、我々は新疆で綿花の目標価格改革を行い、長江の中下流地域で菜種の価格体系の改革を推進した。2016 年 1 月の中央 1 号文書では、東北主産地のトウモロコシ価格の市場化、価格と補助を分離する政策を明確した。この状況はよく知っているが、政策を変えることの決意は容易ではなかった。前にも述べたように東北の買付価格は 2014 年に既に 1.12 元/斤に達した。市場価格に従うことを明確にすれば、価格はどこまで下がるか、農家所得の減少はどこまでになるかの判断は難しく、人々を不安にさせる大問題である。しかし、最終的に価格と補助の分離ということも決定されたので、別のルートを通じて農民に直接補助金を支給した。2016 年にこの政策を公表してから、東北の農民はすぐに栽培面積を調整し始めた。私の知っている範囲では、2 年間を経て黒龍江のトウモロコシ播種面積は 2000 万ムー（133 万ヘクタール）以上減少し、吉林省のトウモロコシ播種面積も 500 万ムー（33 万ヘクタール）以上減少した。トウモロコシの代わりに、大豆、雑穀雑豆、サイレージトウモロコシ、食用フレッシュトウモロコシ、牧草など、一部の地域は灌木のような樹木、例えばブルーベリーやヘイゼルナッツなどの栽培が増え、作物構成の合理性が増している。結果的に東北部の市場価格は次第に合理的なレベルに戻ってきた。先日の黒龍江での調査では、農民は市場価格をみるようになり、トウモロコシの価格は東北全体で概ね 0.6 元/斤程度で、生産地帯、品質、中心市場との距離などから価格の幅は 0.58 元/斤から 0.8 元/斤を超える高い価格もあった。トウモロコシ生産量はある程度減少し、価格が下がったことで、中儲糧による最低価格での買付はなくなった。

2016 年の収穫期に、農民の食糧が売れない状況を避けるため、中央政府は東北の中儲糧支社に一定の買付備蓄量を与えた。現在の状況から見れば、2016 年産の食糧の約 25%は中儲糧による買付で、残りの 75%は基本的に市場流通となり、主に加工企業や飼料企業による買付か、食料買付業者が買付し加工業者に販売するか、または直接関内（鉄道の要所山海関の南側）に運ばれることとなる。私は 7 月の初めから中旬までに吉林と黒龍江の二つの都市を訪ねた。今年 5 月初めの時点で食糧の農家在庫はほとんどないことが分かった。先ほど述べたようにトウモロコシの 25%が備蓄に、75%が市場になることで、価格の回帰によって、加工企業の活力が再びかき立てられた。この 2 省で、1 つの県に大きな加工企業が一社か二社があり、一社あたりの年間トウモロコシの使用量は 60 万トンであり、これは県のトウモロコシ生産量に相当する。また、かつてトウモロコシの関内価格は関外より低かったため、東北のトウモロコシは関内に入りにくい状況であったが、いまでは大量に入ってきて、この状況は私にとっても意外であった。現状としては東北産のトウモロコシは中央備蓄以外の 75%は上半期で売れた。しかも価格も明らかに合理的なレベルまで

回復した。その後、河北省と山東省のトウモロコシ市場価格は 0.5 元/斤であることも分かった。

この角度から見ると、東北のトウモロコシ価格は 0.8 元/斤以下であるが、関内に入ると 0.9 元/斤になる。この価格は輸入 CIF 価格と比べ、トン当たり数十元高いが、比較的合理的な価格水準となってきた。加工企業は迅速にフル生産に入ったことで、トウモロコシの消費量が明らかに増えた。だが、いまになっても在庫はまだ多く、真剣に考える必要がある。東北産トウモロコシの価格決定政策は総合的に見て方向性は正しいと思われ、その結果も出ている。もう一つ重要なのは、農家の所得問題である。昨年、補助金を価格から分離し、農民に対して直接補助制度を実施した。中央政府から 400 億元近く支出し、農家の所得補助に当てた。農家にとって、以前トウモロコシを 1.12 元/斤で販売したが今は 0.75 元/斤にしかない状況で、政府の補助金もせいぜい 0.15 元/斤相当で、価格に合わせると 0.9 元/斤になる程度で、以前と比べても 0.2 元/斤少ない。この差のプレッシャーは比較的大きい。この状況を踏まえ、政策の調整を継続的に進めることが大切であるとする。これまで供給過剰の品目は生産が拡大し、逆に供給不足の品目は減産する現象が食糧需給にあったが、このような現象は徐々に減って行くであろう。その中で、我々が最も考えなくてはならないことは農民の利益の問題である。農民の利益の問題をうまく処理できなければ、食糧の生産量が大きく変動する可能性が大きい。従って、ここ十数年の政策を振り返って、最低買付価格、臨時備蓄制度の実行から、現在の市場価格、価格分離の実施まで、総括に値する内容が確かに多いと言える。

第一に、先ほど述べたように、農業大国として多くの農民を有する国では、急速な経済発展段階において農業への保護政策、農民収入を増加させる政策を実施し継続的に維持と改善をしていくことが必要である。但し、農民への補助を価格に組み込むことは得策ではないことは明かである。市場と市場の主体行動を歪め、農民の行動も歪められるためである。今期の改革はこれらの問題を重点的に解決する。

第二に、中国は GDP 世界二番目の国として、世界各方面との付き合いが多くなっている。以前の中国の農業生産に関して、素直に言えば、自分で黙々と作ればよいので、供給が足りなければ、一生懸命に作ればよいとされた。今の状況では、我々は国際市場との関係が密になっており、国際市場をみずに生産だけを考える時代ではなくなった。現在の状況では、国際食糧価格は 5 年間の下落を経て、すでに底入れし上昇に転じ始めているのか、これは注目すべき問題である。5 月からコメの国際市場価格が上昇し始め、二ヶ月間で 30% 近く上昇している。同時に、小麦、トウモロコシ、大豆の国際市場価格も上昇している。これらの状況が中国にどのような影響や衝撃を与えるのかを真剣に考える必要がある。ここ十数年において、我々が困難な道を歩んできた結果、政府が農民の生産行動を指導する際、必ず科学的視点から市場経済の法則に従った政策を用いることが重要であることが分った。そうでなければ、徐々に矛盾が積み重なり、消化しきれないことで巨大な圧力に変わることを認識する必要がある。これは述べた第一の問題で、現在推進している農業供給側の構造改革は、すでに一部の成果が見られたが、まだ多くの課題があり、更に研究していく必要がある。

### 3 農業経営体制の革新

第二の問題、農業経営体制の革新について話す。日本でも、中国でも同様、農業について高い生産コスト低い収益、価格の国際競争力のなさを、多くの人は農業規模が小さすぎることに起因すると考える。この問題は中国が突出しており、我々のいまの農業生産規模を農家単位でみると、実際の規模は日本よりも小さい。これは致命的なのか、一体どうすればいいのかを真剣に研究すべきである。どうすればいいのか、一部の人は収益を高めたなら経営規模を拡大すればよいと簡単に話す。私に言わせると土地の流動集中化を図るには、農民の活路をまず解決することが必要で、この問題を解決せず、農民を無理矢理自分の土地から追い出すことは、中国の歴史上に繰り返された土地統合合併現象が招かれ、その社会的衝撃は、土地から得られる利益より遥かに大きい。我々農業に関わる政治家にしても技術者にしても、農家に多くの土地があることを望んでいる。これにはよい方法が必要で、一部の人は規模をもたらすのは都市化（城鎮化）だという。農民が都市に入れば農地を集約できると考えるが、問題は都市で農民に与えられる就業機会があるかどうか、農民に良い生活をもたらせるかどうかである。この問題を真剣に対応する必要がある、中国の実際の状況からみても、農民の市民化の問題を解決することは日本より遥かに難しい。だからこそ、中国農業経営体制の革新において、複雑な状況や課題に直面している。

農民の土地経営権の流動集中化による経営規模拡大を推進してから時間が経ち、現状では、前にも述べたように流動化された農家の請負地の面積は全体の請負土地面積の 35% で三分の一を超えた。1984 年の中央 1 号文書では、すでに農地を農村の担い手に集中するを推奨した。三十数年の努力を経て、我々の工業化と都市化の牽引もあり、農村に家族経営土地の三分の一はすでに集中した。農業部のまとめによると、50 ムー（3ha）以上の経営面積のある農家数は全国で 350 万戸、彼らの経営土地面積は 3.5 億ムー（0.23 億 ha）、戸当たりの平均経営面積は 100 ムーで、7ha 弱である。収益で見ると、この平均面積で得られる収入は同じ地域の都市住民の所得と比べても遜色はない。しかし、競争力の角度から見ると、7 ヘクタールの土地を経営する場合、採用する技術や生産物、特に食糧について競争力があるのか、これは大きな問題である。中国で推進している農業の適正規模経営において成功経験もあるが、深く分析すべき問題もある。それは土地流動規模がどの程度になれば農業進歩と言えるか、前に 2 つの計量指標があると言った。1 つは生産指標、もう 1 つは競争力指標である。この問題があることから私は各地の農村に調査し、100 ムーの土地を経営する場合、農家はすべての農業機械を購入するところで、その投資とコスト、そして農産物の収益性に反映されて国際競争力があるかどうかは、検討すべきである。

この視点から農民が希望すれば土地の流動化、経営規模の拡大のような新しい農業経営体系の改革は続けるべきである。一方、農民の請負土地の経営権を変えないで、サービスを購入する形で農業生産過程に導入し、作業の一部を専門化した農業生産サービス組織、あるいは専門部門に委託する形態が近年多く見られた。この形態の以前の土地流動化との違いは、経済的に敏感な地代の問題を避けたことである。周知のように、食糧価格の低下によりすでに土地流動化によって大規模経営を営む農家にとって高い地代は大きな負担になっている。彼らの収益は刀のように薄くなり、耐えられないことになると流動してきた

土地を手放すことも考えるようになっている。農作業委託あるいは農家に委託の場合、地代の問題はなく、農産物市場価格の変動が大きい時に、農業の請負農家とサービス作業委託組織間で利益とリスクをともに負担する利益共同体になっている。市場価格が高ければサービス料も上がって、その逆も成立する。農家にとって、地代は自分の手にあり、リスクを耐えるキャパシティがある。前に述べたように技術の面から数十ムー、百ムーの土地で先進機械を利用すれば経済的に損失を負う可能性が高い。逆に遅れたものを使うと結果的に経済的な競争力がなくなる可能性がある。しかし、サービスを購入するあるいは農作業の委託の形を採用すると、ある程度この問題を解決する1つの道筋を示した。私のところに農業機械があり、周辺の数十戸または百戸以上など多くの農家にサービスを提供することができる。自分の機械で数百または千ムー以上の農地での作業が可能になる。これは機械作業の規模拡大であり、先進の大型機械で小規模農地での利用の欠点を補うことになる。この道が正しいかは農家が模索中である。

最も典型的な例では、周知のように、中国においてドローンの利用、特に農業分野での利用は世界的に見ても高いレベルにあるかもしれない。数量的に、技術面にも非常に大きな規模を誇る。単純に考えれば、一台のドロンを施肥や農薬の散布に使うと1ムーの作業は数分間で完了する。一戸の農家はドローン一台を購入し、数ムー、十数ムー、数十ムーの土地の場合でも、10分で上記の作業を終わらせることができる。しかし、ドローンの能力について購入する人はわかるはずで、ドロンを使うのは自分の農地だけのためではないこと、一軒の購入者があればほかの周辺の農家は購入する必要がないこと。このような考えで、中国の農民も独自の規模拡大につながる技術進歩を模索している。したがって、私の考えでは、規模効果を高めるために自分の発想を高める必要がある。農業は土地、労働力、投入など様々な技術ファクター等多様に対応する生産活動で、規模を論じるときに単純に規模拡大だけで解決する問題かどうかを考えなくてはならない。あるファクターが制約を受け、規模拡大がなかなか進まない場合、ほかのファクターから規模拡大につながる技術などを考える。中国の農民はまさにこのような道に進んでいる。一つは土地経営権の流動化から実現する耕地の規模効果、もう一つは農業技術整備を通じて農民へのサービス提供による機械の作業規模拡大による効果、これらが良い効果が得られるかどうか、注意深く検討すべきである。

中央政府は農民に各自の実情に応じた生産効率と生産物の競争力を高める農業経営方式改革を薦めている。前にも述べたように、規模を追求する経営は大口商品いわゆる食糧、綿花、油料のような商品で、生鮮農産物など付加価値の高い農業物は必ずしも土地の規模化を追求するものではない。農村にいくと、多くの農家は高品質の野菜、果物、花などの経済的な価値の高い生産物への生産意欲が高い。これらのものはどのように生産するか、品種の選定や導入方法、栽培技術、販路などこれらの問題に対し、圧倒的多数の一般農民にとって分からないことが多い。しかし、少数の農民はそれらを掌握しており、彼らは農人（農業達人）と呼ばれている。多くの場合このような農業達人のリーダーシップによって、農民の専門活動すなわち合作社を組織し、彼らが把握したものを他の農民に伝授する。合作社内で十分な技術伝授を受けた農民はかつて生産したことのない商品作りを始める。

そのため、このような専門合作組織は、ほかの生鮮食品や高付加価値製品においても大きな成功を収めることができると思われる。

もう一つは、今多く議論されている工商資本（民間資本）による農業分野への参入の善し悪しである。この問題は日本でも激しく議論されたと思われ、私は何度も日本に行ってこの問題について議論したことがある。いずれにせよ、畜産業や高級野菜や果物の生産において、高資本高技術を用いる農産物の工場化生産が実現され、高い効果も得られた。彼らは設備を利用した人工気候環境を作り、工業標準化の理念に基づく農業生産過程の操作や品質管理など、人間の判断に替わって、標準化した安全管理を実現する。このような特徴を持つ工場化生産は大きな成果を上げた。北京郊外には、年間三百万羽の採卵鶏を有し、年に 8 億個の卵を出荷する工場化生産の養鶏場がある。専門家によると、2 千万人を超える北京のような都市の卵の消費量からみると、このような養鶏場が五六社あれば卵の供給が解決できる。現在十万頭、数万頭の養豚場も多くなってきており、これらも効率を高める新たな経営方式の 1 つと考える。従って、農民に創造させること、当然農業への知識など基本的なルールを守った上で現地の状況に踏まえて発展させる。我々の過去の分散した小規模生産を踏まえ、国際市場で競争できる新しい型の農業経営体を推進することができると思える。中国の総書記の話では、中国農業全体において分散で粗放的な経営方式を変えるのは非常に長い歴史過程を経ることになる。しかも各地での推進は不均衡であり、強制的にある単一の方式を推進することはよくない。私の個人的な考えでは、農業経営体系の革新は、必ず多様化、多元化の過程であり、政府の責任は彼らの経験を総括し、適切なところで農民にこれらの経験を学ばせ、みんなが認める経験であれば、政策を通じてそれを推進すべきだと思う。

最後に付け加えるが、先ほど工業化、都市化と伝統的な農業以外に、農民に新たな就職機会と所得増加の源を求めることを述べた。実際にここ二年あまり多く語ったのは、農村での一二三次産業の融合発展である。農村での新産業、新形態を推進する。特別に農村一二三次産業発展の概念について話したい。実際にこの概念は日本から引用してきた。日本では私の良き先輩であり友達でもある著名な農業経済学者の今村奈良臣先生は、最初に六次産業の概念を提出した。日本にいたときにわざわざ宿泊先であるホテルニューオータニの部屋に来て下さり、食事しながら先生は持参されたホワイトボードで六次産業の説明をしてくれた。1、2、3 をプラスすると 6 で、1、2、3 をかけても 6 になるなど。中国に戻ってから政策を議論する時に私はこの概念に言及した。中国の農村発展のためにも産業融合の道を歩むべきではないか。その後再三に検討を重ね、中国農民の理解力、受け入れ状況を考慮すると、直接六次産業化ではなく、一次二次三次産業融合の概念にした。この概念に含まれる内容は同じで、大変役に立った。

このようにして新産業が中国農村に数多く誕生し、最も話題になっているものが二つある。一つはインターネットを利用したネットショッピングや電子商取引が農村で急速に発展し、この進展のスピードは多くの人の予測を超えている。いま直面している課題は、農村にくる工業製品は多いが、農産物の都市への進出がまだ少なく、重要なのは、農産物の標準化であり、包装輸送などの問題は複雑であるため、まだ模索中である。もう一つは農

村ツーリズム、体験農業である。その発展も予想を超え、国家観光局の統計によると昨年（2016年）の中国国内旅行者数は延べ42億人であったが、その半分の約20億人が農村へ旅行に行った。農村観光がもたらした営業収入は5千億人民元を超え、それに関わる農民はおよそ800万人前後であった。

こうした新しい形態の発展は、1997年に日本が農業法改正を行った際に提出した農業の多面的機能という概念を思い出した。1997年に日本は農業法を改正し、農業の多面的機能を提出したのはGATTからWTOに移行する過程で、農業補助金問題に新たな見解を持ち込むことであった。農業補助金は完全に農産物の生産や貿易関係のねじれを生じさせるだけではなく、農業には様々な機能があるためでもある。私はこの概念が正しいと考える。確かに農業にさまざまな機能があり、生産物を提供する以外に、文化や歴史の伝承、環境など多くの要素がある。農業農村に備えられたすべての機能を真剣に研究し掘り出すことで、消費需要を満たせる商品に変えることができれば、農村は単に農産物を提供する場所だけではなくなる。前に述べたように、中国は規模化経営、土地の規模化を追求する必要性もあるため、農民自らの意思で土地を離れる必要があり、それによって土地の規模化が推進することができる。しかし都市においても短期間で大量な人の就業を解決できないため、このジレンマを如何に解消するかが問われる。実際に農村で一二三次産業の融合を通じて新たな産業の創出によって、農民が耕地に依存しない就業方式を探索し、新産業による農民収入の増加をはかる。これは中国にとって極めて重要な道と言える。我々が農業供給側の構造改革を提案してから2年余り、すでに少し光が見えてきた。当然ながら先に進むとさらなる困難や課題に直面することになる。我々は農民と一緒に、農村の新発展、新変化に真剣に取り組み、彼らの良い経験を総括し、中国農業供給側の構造改革は必ず実現に向けて進んでいくであろう。難題も次第に解消されるだろう。

以上の感想を述べさせていただき、皆さんの参考、交流と比較に役に立てば幸いです。ご批判とご指摘をよろしくお願いします。では、ありがとうございました。

共同研究プロジェクトの概要  
ー20 年間の共同研究と交流

## 共同研究プロジェクトの概要－20 年間の共同研究と交流

銭小平 JIRCAS

国際農林水産業研究センター（JIRCAS）と中国農業科学院（CAAS）を中心とする国際共同研究プロジェクトは 1997 年の第 1 期共同研究プロジェクト開始してから 20 年間が経ち 4 期の共同研究プロジェクトを実施し、現在第 5 期のプロジェクトが進行中である。この 20 年間中国経済は著しく成長し、農業分野においても大きく変化した時期であった。共同研究の内容も双方の関心事項に合わせて進めてきた。これまでの共同研究の歩み、特徴及び成果についてまとめる。

### 1 共同研究の展開

1997 年開始した共同研究は中国農業部国際合作司と農林水産省技術会議事務局の合意による政府間共同研究事業で、この形態は第 3 期の共同研究が終了（2010 年度）するまで続いた。2011 年に JIRCAS と CAAS が MOU を締結し、両者を主体とする共同研究体制が整った。

研究プロジェクトは学際的連携の強化による問題解決を目指す「総合型プロジェクト」であり、研究課題の構成は基本的に技術研究と社会科学研究からなる。国際共同研究のため、互いのニーズを考慮し、関心の高い分野での共同研究を進めてきた。研究テーマは農業・経済状況の変化に応じて変わってきており、農業生産力の向上、ポストハーベスト技術からはじまり、持続農業ための環境技術、環境調和型農業の研究、高付加価値化研究のように時代のニーズに合わせて進めてきた。

この間中国経済は著しい変化を遂げ、農家所得は 4 倍ほどに増え、穀物生産は 28%増加した。1990 年代まで農産物の輸出国だった中国は、2001 年の WTO 加盟に伴い農産物輸入が増加し、2004 年に農産物の純輸入国となった。

共同研究プロジェクトの実施状況は表 1 に示している。それぞれの実施内容を簡単に紹介する。

表 1 プロジェクトの実施期間と名称

実施期間	共同研究プロジェクト名
1997－2003	中国における主要食料資源の持続的生産及び高度利用技術の開発
2004－2008	中国食料の生産・市場の変動に対応する安定供給システムの開発
2009－2010	中国の条件不利地域における低投入環境調和型経営システムの構築
2011－2015	中国北部畑作地帯における循環型農業生産システムの設計と評価
2016－2021	持続的農村発展のための食料資源の高付加価値化を通じたフードバリューチェーン形成

### 1) 中国における主要食料資源の持続的生産及び高度利用技術の開発 (中国食料資源)

「中国における主要食料資源の持続的生産及び高度利用技術の開発」プロジェクトは以下の (Ⅰ) 食料需給構造等の変化に対応した効率的生産流通システムの設計、(Ⅱ) 主要食料資源の持続的高位安定生産技術の開発および (Ⅲ) 流通加工利用技術の開発の三つの柱から構成され、これらの柱は必要に応じ細部の課題から構成され、各々の柱および課題は相互に関連して「安定で豊かな食生活」を探る研究内容となっている。プロジェクトは社会科学、育種、環境分野の研究、食品・水産物・畜産物に関する研究などが含まれる。

社会経済研究を農業・農村構造の変化、食料需給動向と技術普及および地域経済への影響評価を中心に進めた。研究成果はさまざまな形で発表され、食料需給・食料の安全保障問題や農産物価格、地域間の格差などの研究は政策決定の素材を提供した。また、技術普及システムの研究も後ほどの政策制定、特に小農経済の発展に技術的の面で支援し政策制定にも影響を与えた。

育種関連の研究は水稻や大豆の遺伝資源の特性評価、新品種素材と水稻移動性害虫の総合防除技術の開発が含まれる。新品種の研究に大きな成果を上げ、吉林省大豆研究所と育成した品種は一部普及している。病害虫に関する研究ではイネの主要害虫セジロウンカの移動経路が分かり、発生予測に役立っている。環境保全の研究では、農業生態系における窒素を中心とした主要元素の動態を調査分析し、山東省での肥料使用試験などを通じて、施肥技術において成果が上がった。

食品加工分野において、米と大豆を原料とする中国の伝統食品に着目し加工利用技術の開発や機能性の研究など学術への貢献だけではなく、特許や企業への技術移転も積極的に進めた。プロジェクト開始当初中国での食品加工分野の研究は遅れており、全体のレベルアップに貢献した。淡水魚の加工利用においては、淡水魚中間素材の開発、流通・貯蔵技術の開発、練り製品の開発とその综合利用技術の開発を中心に行った。淡水魚の付加価値を高めた。畜産研究では、東北部のトウモロコシ及び残渣の総合利用と家畜 (牛・羊) の肉質評価を行った。100 数種の常用粗飼料成分表が作られ、その後も使われている。この共同研究は現地の問題点と一致性があり、吉林西部の家畜飼料の有効利用において大きく貢献したと言える。

このプロジェクトはこれまで最大のプロジェクトであり、多くの分野が関わることで日中双方の主要担当機関以外に多くの研究機関、大学の研究者が関わった。日本側は JIRCAS を中心に農林水産省傘下の各研究機関と、いくつかの県の公設研究機関が参画した。中国側は農業部傘下の研究機関、大学、対象となる省の農業科学院、中国科学院の研究機関も参画した。7 年間日中双方各分野において多くの研究成果が得られた。表 2 は JIRCAS 側まとめた論文発表及びワークショップ等の状況である。

2009 年にこのプロジェクトのフォローアップ調査を行った。関係機関での聞き取りによると、中国側の評価は国内の賞を重視する傾向があり、中国国内の科学技術進歩賞 18 件が得られた。また、特許 3 件、新品種 31、著書 5 部、論文 326 本があった。人材育成の観点から、プロジェクトを通じて 47 名の方が博士学位、55 名の方は修士学位を取得。さらにポスドグ 7 名 (中国では、ポスドグは 1 つのステータスの考えがある) であった。日本から提供された機械設備は 300 セットほどで、その後も活用されている。中国農科院としてはプロ

プロジェクトの成果に満足している。プロジェクトは研究など学術の交流だけではなく、研究者の交流は文化の交流の面においても大きな役割を果たし、そのときできた人脈は後の共同研究にも役に立っている。

表2 プロジェクト期間中に開催したワークショップ及び連名で公表した論文数

	FY1997	FY1998	FY1999	FY2000	FY2001	FY2002	FY2003
WS 等	3	4	7	3	4	5	5
論文等	4	6	12	26	17	21	32

注：WS 等は開催したワークショップ及びシンポジウムを指す。

論文等は国内外の学術誌で公表した論文及び公表した出版物を含む。

## 2) 中国食料の生産・市場の変動に対応する安定供給システムの開発（中国食料変動）

中国は、WTO加盟やFTA政策に見られる市場経済化を通じ我が国との関係をより緊密にしており、食料生産や消費の動向、砂漠化や黄砂に代表される環境問題等も国境を越え相互が一層影響を強めつつある。このプロジェクトは災害リスクの低減と農村・農家経済システムの改善を通じ、食料生産の安定と農家の所得向上に貢献することを目的にした。穀物の主産地である中国東北部を中心に多発する農業気象災害（冷害）を事前に予測し、回避・軽減するための研究開発に取り組み、生産と自然災害、経済及び環境変化との相互関係を科学的に分析し、中国国内の食料需給事情の安定化に寄与する。また、農業気象災害のリスク評価技術の高度化を図り、食料生産の動向把握や農民の組織化方策等を比較検討しながら、東北部を中心とした農家経済の向上に資する。

JIRCAS は 2004 年 9 月から中国農業科学院、黒龍江省科学院、国務院発展研究センターと共同で「中国食料の生産・市場の変動に対応する安定供給システムの開発」に関する共同研究プロジェクトをスタートさせた。本共同研究は、（Ⅰ）農業資源評価技術の高度化と農業気象災害の早期警戒システムの構築、（Ⅱ）農業生産変動下におけるリスク評価と農村経済安定化システムの構築の 2 つの大課題から構成され、これらの課題は、相互に関連して「農家経営・農村の安定」を探る研究内容となっている。

技術分野の研究では、1) 衛星データを用いた農業資源評価技術の高度化と、2) 農業気象モニタリングによる農業災害早期警戒システム技術の適用を課題に展開され、中国語版「黒龍江省水稻冷害早期警戒システム」を構築した。本 HP システムでは日平均・最高・最低気温と日積算降水量が基本の気象データとなる。この気象データに基づき 5km メッシュデータが作成され、ユーザーにより任意の期間の積算、平均または冷却量のメッシュデータも作成できる。また、水稻の発育を追跡するための発育予測モデルとして、3 タイプの DVR に対応した。本システムを運用することで、農業災害に対する安定作期の策定など、黒龍江省の水稻の作柄について監視が可能である。

開発した黒龍江省を対象とする水田分布算定手法を用いて、2003 年から 2008 年の水稻作付分布図を作成し、その分布と変動状況を明らかにした。水田は、低地に広く分布するのではなく、灌漑水の得やすさを主要な条件として分布している。この間水田分布の変化の特徴は、東部の三江平原の北部に水田増加が見られ、従来の稲作地帯の南部は横ばいであった。2008 年は水田の減少が見られた。このように面積の変動を早い時期で把握できることによって、生産規模を推計することも可能になる。

また、社会科学の研究課題では、1) 農業気象災害による生産変動リスクと情報システム導入の経営的評価、2) 広域流通、農業社会化服务体系等の進展のもとでの市場安定化方策の提案、3) 市場安定化方策等が国内外食料需給へ及ぼす影響の分析と予測で展開された。

2002 年に発生した障害型冷害により、水稻単収が前年度比で半分以上となった黒龍江省虎林市を対象に農村調査を実施し、水稻栽培の歴史が短い農村の農家ほど冷害発生に対して収益変動リスクが高い品種の作付けを希望していることが明らかになった。また、実際に農家が栽培している水稻品種は、栽培を希望するとした品種よりも、冷害発生に対する収益変動リスクが一段高く、リスクへの対応が十分になされていない実態が明らかになった。

黒龍江省のコメ需給予測を行った。コメ生産は中長期的に増加する傾向にあり、コメ価格の上昇はそれほど大きくないことが予測されている。単収の変動はコメ価格の変動幅を拡大し、移出地域として安定的に生産物を提供するリスクが増大する可能性がある。冷害等の気象変動によって、生産の変動をもたらし、純移出量の変動幅の振れも大きくなる。生産の面から農家への直接補助や農機具、生産資材への支持政策はコメ生産の安定化を図る有力な措置となるであろう。

これまでの研究成果を現地語での出版物の公表以外に、現地カウントパートによる政策検討ための研究資料の作成など幅広く施策提案を行っている。現地報告会（ワークショップ）などで公表した。また日本国内においても、JIRCAS ワーキングレポートや学会発表など様々な形で成果を公表した。プロジェクト実施期間中論文、著書等の印刷物 69 件、ワークショップや現場交流会 12 回を開催し、黒龍江省水稻早期警戒システムの構築など多くの成果を上げた。

### 3) 中国の条件不利地域における低投入環境調和型経営システムの構築（環境調和）

中国では、表土流失が心配される傾斜地や三化問題(草原退化、砂漠化、アルカリ化)が進行する草地に対する生態環境回復政策が強力に推し進められている(「退耕還林」、「退牧還草」)。そして三化問題が深刻化する畜産地帯では、従来型の放牧経営は、畜舎建設への初期投資と購入飼料確保が前提となる舎飼い経営に転換したが、コスト増によって十分な所得を確保できない農民がいる一方で、大規模酪農経営等への移行によって所得の安定・向上を実現させた農民も出現し、2 極分化が進行している。環境問題の解決と農家所得の向上とは、トレードオフの状況に陥るケースが多い。農業生産条件不利地域を対象に、畜産経営における環境負荷発生メカニズムの解明と負荷軽減対策の経営・経済的評価を通じ、農家所得の安定・向上につながる環境調和型経営システム構築の可能性を明らかにすることはこのプロジェクトの目的である。

社会科学研究に特化した 2 年間プロジェクトで、畜産経営における環境負荷発生メカニズムの解明と負荷軽減対策の経営・経済的な評価が中心の課題であり、対象となる黒龍江省の酪農生産の急増による糞尿処理の方法等を経営的に評価すると共に、消費者の視点から環境負荷の軽減への支払い意識を分析する。具体的には、

- ・ 畜産経営が環境負荷に与える影響の実態解明
- ・ 環境調和型経営成立に向けた畜産流通の実態解明
- ・ 畜産に起因する環境負荷の軽減対策の分析と評価
- ・ 農業・環境に関する政策等が農業生産・農業経営に与える影響の評価

が実施され、畜産農業、流通業者、消費者への調査を中心に、経済・経営の視点から分析を行った。研究調査で収集したデータは後に論文化され、また次のプロジェクトの仕組みやプレー研究としても利用した。

#### 4) 中国北部畑作地帯における循環型農業生産システムの設計と評価（循環型農業）

中国では、急速な経済発展により、食料需給構造・農村社会構造が変化し、沿海部だけでなく内陸の農村地域においても旧来の単作型の農業形態から集約的で多様な農業形態への移行が急速に進行している。また、集約的生産地域においては、化学肥料の多投や畜産業の拡大などによる環境への負荷の増大が進行する一方、農業生産条件不利地域においては、自然資源の収奪的利用による農業生産環境の劣化が進行している。こうした問題の顕在化が激しさを増す中国北部の畑作地域においては、地域の環境資源を有効利用しつつ、環境への負荷を軽減し、生産者所得の安定、向上を実現するための新たな農業生産システムの導入が求められている。

また、北部畑作地帯は中国の主要な食料生産基地であり、そこでの生産動向ならびにその変動は、単に中国国内の食料需給に対する影響にとどまらず、国際食料市場全体に対しても大きな影響を与え得る。このプロジェクトは、中国北部畑作地域において、農業生産形態の変化に伴う環境負荷の現状と将来展望を明らかにするとともに、集約的穀作地域の資源循環型技術、より農業生産条件の悪い農牧交錯地域の高付加価値作物生産技術等の循環型農業生産システムの中核となる要素技術を開発する。また、中国における循環型農業生産システムの特性を考慮した支援政策・制度を検討・提示する。

具体的には、地域モデル研究として中長期の生産見通しと環境負荷の評価、現地研究として集約的穀作地域と農牧交差地域での循環型生産技術の開発と評価、政策研究として循環型農業生産システムの普及・定着に向けた分析と評価である。主な成果として以下の点があげられる。

(1) 河北省での保全耕作技術の評価を通して、作物残渣等の投入等による小麦収量の維持と節水の可能性が示唆された。基礎的知見としての重要性和情報発信をすることにより、さらなる研究推進と政策対応が期待され、華北平原で最も重要な問題である水不足に貢献することが期待される。

(2) 農牧交錯地域の強みと弱みを市場分析結果から明らかにし、現場の生産システムにフィードバックすることにより、自然環境条件に適合した栽培システムを構築するとともに、農牧民の所得向上に寄与する効果を明らかにした。開発した畜糞の発酵熟等を利用した有機野菜栽培システムは、実用新案として申請し権利化された。

(3) 計量経済モデルによる農畜産物の将来見通しを行い、特にトウモロコシの加工利用シミュレーション、地下水水位低下による単収への影響などが政府への報告書に利用され、現在検討中の華北地域での節水政策、トウモロコシ加工利用に関する制限措置に貢献した。また、河北省、遼寧省等の農家による有機資材特に作物残渣利用調査の結果、例えば農家の作物残渣の次作利用（還田）、持出（離田）コスト等の分析など、農業部が進める生態循環型モデル地区の設定や、作物残渣の還田補助基準作りなどの知見に用いられる。循環型生産技術の開発と評価のための知見の獲得、循環型農業生産システムへの情報提供など、これらの成果は、現地における農業生産性の向上に活用されるばかりでなく、地域の政策に調和した

農業の発展に貢献した。

プロジェクト実施期間中において論文 28 本、著書 2 部、学会発表、総説、栽培システムの「実用新型」特許など多くの成果があげられた。

#### 5) 持続的農村発展のための食料資源の高付加価値化を通じたフードバリューチェーン形成（フードバリューチェーン）

現在進行中の共同研究プロジェクト「フードバリューチェーン」は、アジア域内流通が見込まれる食料資料の賦存状況把握、高付加価値化のための技術開発、生産から加工、流通、消費を持続的に連鎖させるフードバリューチェーン形成要素の解明を目的とし、対象国は中国、ラオス、タイ国となっている。共通しているテーマは各国の伝統食品の付加価値機能の解明と主食である米の消費者ニーズ特に高品質米に対する嗜好性と高付加価値化研究である。中国での研究課題について、食品科学では、伝統食品の品質評価技術、食品の機能性研究など、社会科学では、主要穀物に対する消費者ニーズの研究、雑穀のバリューチェーンの形成要素の解明と高付加価値化の可能性検討の課題で構成されている。中国農業科学院との共同研究は社会科学研究となっており、以下の課題が実施されている。

- (1)主穀市場における消費者ニーズと消費者選択行動の解明（食物与栄養発展研究所）
- (2)主穀市場におけるブランディング戦略の解明（農業経済与発展研究所）
- (3)持続的農村発展のためのバリューチェーン評価手法の開発（農業資源与農業区劃研究所）

中国農業はここに来て生産量の追求から品質へと舵を切り始めている。消費者に好まれる生産物を生産し、品質にも勝負できる農産物を消費者に提供することで、農家の利益確保もできるという Win-Win の関係を築くことは重要になってきている。現在進行中の課題はこれらを意識しながら貢献していくことを目標に進めている。われわれの目標は食料資源の高付加価値化の実現であり、アジア地域の伝統的食材等を利用・加工した、消費者の嗜好、ニーズに適合した高品質・高機能性食品が開発されることと、安全・安心な食品提供と途上国農民の生計向上を両立する FVC 形成の提示である。

## 2 日中交流と人材育成

共同研究のもう一つの大きな役割は研究者間の交流と人材育成である。20 年以上進めてきた共同研究では、それぞれの専門分野で多くの研究成果（論文、著書、総説など）が発表された。ここでは逐次にあげることはしないが、これらの研究成果は双方の研究者の努力の賜物であり、良好的な研究交流が継続された結果でもある。

共同研究では日本側は JIRCAS が中心になって、研究内容によって農業・食品産業技術総合研究機構、大学からの研究支援を受けながら進めてきた。表 3 に参画者と研究機関の状況を示している。中国側は農業農村部傘下の中国農業科学院が中心になって、中国農業大学、國務院発展研究センター、中国科学院、省の農業科学院なども多く参画され、特にⅡ期までの参加者が多かった。Ⅲ期から社会科学研究が中心になってきて、現在は技術分野の研究は機能性食品に関するものが中心になっている。

表 3 共同研究の参画者と研究機関

プロジェクト	日本側		中国側	
	人数	機関	人数	機関
I 食料資源	30 名 以上	JIRCAS,NARO,農総研、 中央水研	35+	農業部傘下中国科学院、 中国農大、吉林省農科 院、上海水産大など 10 の 機関
II 食料変動	11	JIRCAS,NARO,政策研、 明治大学	14+	農経所、区劃所、環発 所、国务院発展研究セン ター、農大、黒竜江省農 科院
III 環境調和	3	JIRCAS	7+	農経所、区劃所、中国農 大、黒竜江省農科院
IV 循環型農業	7	JIRCAS,NARO,明治大学	9+	農経所、区劃所、草原 所、中国農大
V フードバリ ューチェーン	6	JIRCAS	8+	農経所、区劃所、栄養 所、中国農大

注：NARO：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

共同研究の進め方として、研究課題を共有しながら研究を推進しているため、日本側の研究者が中国のカウンターパート機関を訪問し実験や調査などを行う。また、中国側のカウンターパートを日本の研究機関に招聘し実験手法の習得、確認、ディスカッションなどを実施するなど双方が共通問題意識を持ちながら共同研究を実施している。これまで一部の共同研究プロジェクトへのフォローアップ調査では、中国側の担当研究機関からは高い評価を受けている。中国政府からも JIRCAS の貢献が評価され、名誉のある国家外国専門家局友誼賞を JIRCAS の研究者 2 名受賞された。また、共同研究開始当初と現在の中国の様子が大きく変わり、この大きな流れの中で、研究者間の切磋琢磨と努力によって多くの成果につながった。また多くの中国側の研究者がプロジェクト期間中修士や博士学位を取得し、それぞれの研究機関の中堅研究者あるいは研究管理者に成長されている。双方の努力があって、これまで友好的なパートナーシップを保持してきた。

プロジェクト実施中の相互訪問（研究調査、研究調整など）の状況を図表に示し、表 4 と表 5 はそれぞれプロジェクトごとの JIRCAS からの派遣と中国から招聘の状況である。年度別の詳細データは図 1 と 2 に示している。まず派遣で見る（表 4 と図 1）と、第一期での派遣が最も多く、その後研究テーマに応じて多くの年は年間 15 件の派遣があった。また、共同研究開始当初、作物の育種栽培研究が多かったこともあり、長期派遣を含め多くの研究者または研究管理者が中国に行き現地の研究者と共同研究を行った。現地から高い評価を受けていた長期専門家が現地研究機関滞在中に大学院生への研究指導、若い研究者に失敗を恐れず自分の考えを積極的に研究に活かすなど若い研究者の積極性を引き出した。また日本への研究交流を支援し、海外の育種、栽培、植物保護などの研究情報を得ることができ、人材育成に大きく貢献した。その中から優秀な研究者が生まれ、顕著な研究成果があげられた。また、JIRCAS 研究者の研究への探求精神、勤勉の姿勢など中国側の研究者特に若手研究者に良い影響を与えた。

JIRCAS からの派遣以外に、中国側の研究者及び研究管理者を招聘し、JIRCAS または国内の研究機関に滞在して研究手法の勉強などを含め共同研究を実施する。プロジェクトごとの招聘の件数（表 5、図 2）に示しているように多くの若手研究者が JIRCAS などに来られ、研究内容のみならず、研究者の研究への姿勢など多くのことが共有できた。共同研究開始当初の中国はまだ海外の研究機関との交流が活発に行われていない時期に JIRCAS 及び他の研究機関に滞在し共同研究活動を行うような研究交流は大きな意味があった。長期招聘で 1 年及び 2 年にわたり JIRCAS で研究活動を行う研究者はこれまで 29 名、短期では 245 名と、これらの研究活動を通じて多くの研究成果につながった。近年ではインターネットなど交流の手段やほかの機会が多くなり、招聘すること自体は少なくなっているが、プロジェクトは円滑に進めている。会議の開催に伴う招聘が増えてきている。

共同研究成果を公表するため各プロジェクト期間中にワークショップ（表 6）を開催し研究成果を発表してきた。第 I 期では、30 の WS、第 II 期 6 の WS、第 III 期 1 WS、第 IV 期 2 の WS を開催した。開催場所はつくば、北京以外に東京、仙台、上海、杭州、揚州、ハルビンなどで実施した。このような活動を通じて、相互理解を深まり、研究活動の推進に活用されている。

ここまで 20 年間の共同研究の概要及び研究交流などの状況を整理してきた。共同研究は双方のニーズに合わせて研究課題を作り、異なる国の研究者間の意思疎通は不可欠となる。日中共同研究が多くの研究成果をあげてきたことは双方の努力の結果であり、相互理解の上に成り立つである。今後の共同研究の中でも発展していくでしょう。

表4 中国への派遣件数

プロジェクト	実施期間	派遣（管理者・共同研究員）	派遣（長期）
食料資源（1997-2003）	7年	216	19
食料変動（2004-2008）	5年	83	6
農業環境調和（2009-2010）	2年	11	2
循環型農業（2011-2015）	5年	80	1
フードバリューチェーン（2016-2020）	5年	8	0

注：データは2016年度まで。

表5 中国からの招聘件数

プロジェクト	実施期間	招聘（管理者・共同研究員）	招聘（長期）
食料資源（1997-2003）	7年	147	21
食料変動（2004-2008）	5年	54	6
農業環境調和（2009-2010）	2年	16	1
循環型農業（2011-2015）	5年	21	1
フードバリューチェーン（2016-2020）	5年	7	0

注：データは2016年度まで。

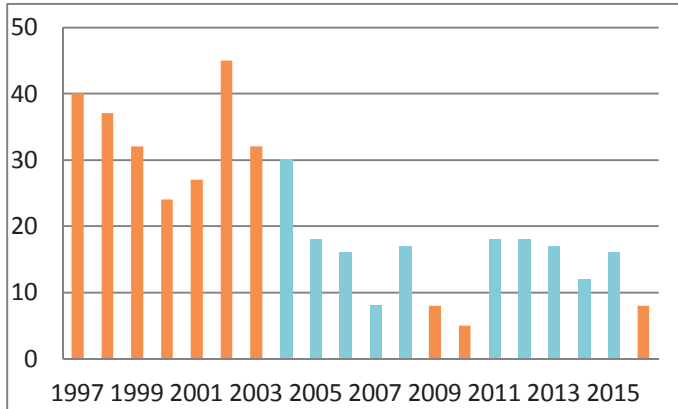


図1 年度別派遣件数の推移

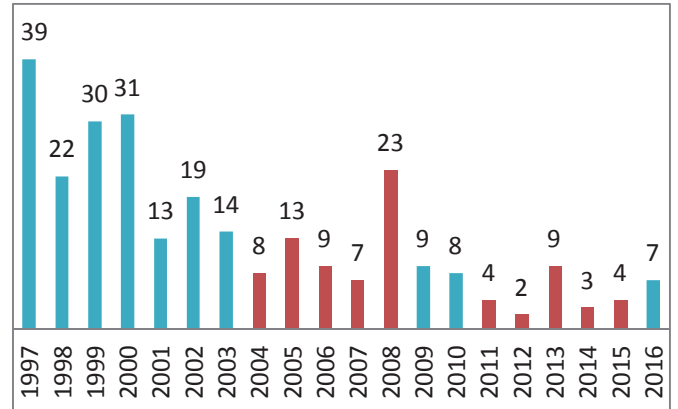


図2 年度別招聘件数の推移

表6 共同研究主要ワークショップ

開催日	ワークショップ名	開催地
1998年11月26日	中国の食糧需要と農業技術普及	つくば・仙台
1999年2月22日	第1回中国における淡水魚業資源の有効利用技術開発	上海
1999年3月12日	中国における農業技術の普及とその影響評価	北京
1999年3月23-25日	第2回中国における環境保全型農業生産技術の評価と開発	北京
1999年8月10日	第1回典型地域における食糧需給バランス・流通と環境資源管理	北京
1999年10月21日	中国農業問題と農業政策	東京
1999年11月2日	中国の集約的持続農業	つくば
1999年12月2日	第2回中国における淡水魚業資源の有効利用技術開発	上海
2000年1月27日	中国における主要作物の育種と将来方向	つくば
2000年3月	第2回中日食品新技術検討会	北京
2000年3月17-19日	第3回中国における環境保全型農業生産技術の評価と開発	南京
2001年2月1日	中国における主要食料資源の持続的生産及び高度利用技術の開発	つくば
2002年3月8-9日	第4回中国における環境保全型農業生産技術の評価と開発	北京
2001年10月18-19日	Sino-Japan Symposium on Remote Sensing and GIS for Agricultural Applications	北京
2001年10月29-30日	虫害耐性品種をベースとする水稻害虫の持続的防除技術の開発	杭州
2002年3月5-7日	第5回中国における環境保全型農業生産技術の評価と開発	北京
2002年6月27-28日	日中国交正常化30周年記念農業シンポジウム	北京
2003年1月9-10日	中国における作物生産早期予測システムの技術開発	つくば
2003年3月11-12日	第6回中国における環境保全型農業生産技術の評価と開発	揚州
2003年3月19日	中国の米の生産、流通及び競争力	北京
2003年3月21日	第2回中国農業の構造調整と持続的發展	北京
2003年10月17-19日	Rice Germplasm Innovation using Biotechnology	杭州
2003年11月14日	中国における主要食料資源の持続的生産及び高度利用技術の開発	北京
2003年11月27-29日	中国における淡水魚業資源の有効利用技術開発	上海
2004年2月17-19日	第7回中国における環境保全型農業生産技術の評価と開発	北京
2005年3月28-29日	New Trends Towards The Stabilization of the Chinese Rural Economy	つくば
2005年11月22日	Development of Early-Warning Systems for Mitigation the Risks Caused by Climate Disasters through Technological Enhancement of Resource Monitoring and Crop-Model Simulation	つくば
2006年3月14日	Problem of food and the organization of farmers in China	北京
2008年10月28-30日	Stable food supply systems for mitigating the fluctuation of production and markets in China	北京
2010年10月29日	Establishment of Environment-Friendly Agriculture Systems	北京
2013年9月5日	Current situation and issues of recycling-based agricultural production system in upland farming areas of Northern China	つくば
2016年3月2日	Recycling-based agricultural production system in upland farming areas of Northern China	北京
2017年7月21日	高付加価値化に向けてのフードバリューチェーン	北京
2017年7月22日	日中農業技術研究協20周年学術シンポジウム	北京

注：政府間会議、連絡調整会議等を取り除いている。

持続的発展のための農業環境研究

## 国際農業環境研究の進展と日中協力 ー農業生態系の窒素循環とその環境影響ー

八木一行<sup>\*1</sup>・宝川靖和<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 農研機構農業環境変動研究センター

(現在：タイ王国モンクット王工科大学エネルギー・環境連合大学院)

<sup>\*2</sup> JIRCAS(現在：農研機構農業環境変動研究センター)

### Abstract

Nitrogen fertilizer has been excessively used in China's crop production, resulting in large environmental impacts on the atmosphere and water systems. To assess these environmental problems, JIRCAS has conducted a collaborative research project from 1997 to 2004, entitled "Evaluation and development of methods for sustainable agriculture and environmental conservation". The research was carried out in three intensive agriculture regions, *i.e.*, Huan-Huai-Hai plain, Taihu catchments, and southern red soil area. Field experiments and monitoring identified croplands to be a major source of nitrogen loads to the environment at all the regions. Especially, large amounts of ammonia volatilization equivalent to more than one third of the rate of fertilized nitrogen were detected both at the paddy and upland fields. As options to reduce nitrogen losses from croplands without yield penalty, use of controlled release fertilizer, animal manure, and deep placement of fertilizer are recommended. These options are expected to contribute to reduce environmental impacts of Chinese agriculture, coping with a new direction in Chinese policy for "green society" that was recently incorporated in the 13th Five Year Plan of the government

### 1 はじめに

中国は世界最大の食糧の生産・消費国であるが、市場経済移行にともなう所得向上と継続する人口増加は、中国の食糧需要を増大させ、農業を質的にも量的にも大きく変化させてきた。米、小麦、トウモロコシ等の「穀物」に、豆類とイモ類を加えた「食糧」（中国語では「粮食」）の年間生産量は、中国全体で 1980 年代初頭には 3 億 2,000 万トン程度であったものが、その後 2000 年前後の数年間を除いて増え続け、1996 年には 5 億トン、2011 年には 6 億トンにそれぞれ達した。

この急速な食糧増産は、何よりも、さまざまな農業技術の革新によるものであるが、特に、化学肥料投入量の増加の寄与が大きい。図 1 に示すように、中国の窒素肥料消費量の増加は、食糧生産量の増加とほぼ並行しており、中国は世界最大の消費国となっている。中国における単位面積あたり平均窒素肥料消費量は、2000 年前後において、すでに我が国や欧米先進国の値を超えていた。さらに、中国では、所得格差と同様に、地域による化学肥料消費量に著しい差があり、沿岸部や長江流域の比較的豊かな地域では、1990 年代より、この平均値よりもはるかに多量の年間 400 kg N/ha を超える窒素肥料が投入されている現状であつ

た (Zhu & Chen 2002; Zhang F et al. 2013)。

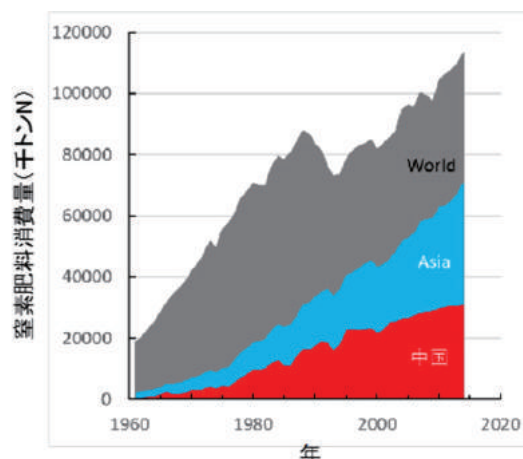


図1 世界、アジア、および中国の窒素肥料消費量の推移 (FAO-STAT より作図)

このような過剰な化学肥料の投入は、各種の環境問題を引き起こす。地下水や河川水の水質汚染、湖沼や内湾の富栄養化、発生する温室効果ガスによる地球温暖化、成層圏オゾン破壊、光化学大気汚染、酸性雨、大気中微粒子 (PM2.5 など) の増加の問題である (Mosier 2002)。このような問題は、先進国ではすでに大きな社会問題となっており、化学肥料投入量は減少傾向にある。しかし、中国では、未だ化学肥料の投入量が高く、重要な飲料水源である地下水の水質、淡水魚介類生産に対する悪影響、そして、大気汚染の深刻化に結びつく問題である。一方、農業所得に対する化学肥料購入費用も決して小さくなく、農家の経済的側面からも適切な化学肥料の投入が望まれている。

## 2 環境保全型農業に関する日中共同研究

### 1) 共同研究プロジェクトの概要

国際農林水産業研究センター (JIRCAS) では、平成9年度より15年度まで、中国における第1期総合プロジェクト「中国における主要食料資源の持続的生産及び高度利用技術の開発」を実施した。本プロジェクトで対象とされたのは、(1) 食料需給構造等の変化に対応した効率的生産流通システムの設計、(2) 主要食料資源の持続的高位安定生産技術の開発、(3) 流通加工利用技術の開発であり、中国における食料問題を総合的な視点から解決し、より「安定した豊かな生活」もたらしめるための科学的知見を提供することを目的としていた。しかし、食料増産を目指した農業技術は、多くの場合、その負の側面として環境負荷の増大をもたらす。このことが、目的とする「安定した豊かな生活」を阻害する「負のフィードバック」になりかねない (図2)。

そこで、上記の研究内容(2)において、「持続的生産」の問題を担当する課題、「環境保全型農業生産技術の評価と開発」が設定され、適切な化学肥料の投入を中心とした、高い作物生産量を維持し、環境と調和した安定持続生産を可能とする技術開発の共同研究を行った。この課題においては、その目標として、プロジェクト開始当時に中国の農業が直面していた以下の重要な問題 (キークエスト) に答えることを考えた：

- ① 中国の集約的な食糧生産システムは、環境にどのようなインパクトを与えているの

か？

- ② 現在、どのような変化が起きているのか？
- ③ 将来、どうなるのか？
- ④ そのインパクトを軽減するには、どうしたらよいのか？

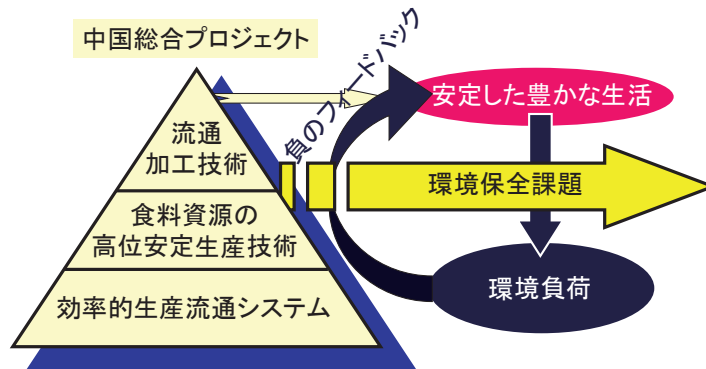


図2 中国総合プロジェクトにおける環境保全課題の位置付け

しかし、環境問題に関する個々のインパクトは多様で、限られたプロジェクトのなかでそのすべてを網羅して上記の目標に対応することは難しい。そこで、本共同研究では、上記のキークエストの「切り口」として、「農業生態系の窒素循環とその環境影響」を取り上げた。窒素は、作物にとって、最も重要な養分であると同時に、その環境影響は顕著で、かつ、重大である。したがって、窒素を対象とすることで、上記のキークエストに対する回答として、最も重要な「指針」が得られることを期待した。

## 2) 研究推進体制と研究課題

本共同研究課題は、JIRCAS と中国側の 2 つの研究機関、すなわち、中国農業科学院土壤肥料研究所（所在地：北京、現在：農業資源・農業区画研究所）および中国科学院南京土壤研究所（所在地：南京）の連携のもとに行われた。中国側の両研究所は、中国の土壌学の最高峰に位置しており、多くの優秀な研究者を有すると同時に、中国各地に独自の試験地を持ち、活発な研究活動を行っている。

試験対象地域として、中国の典型的、かつ重要な 3 つの地域における耕作体系を取り上げ、圃場試験と広域の農業環境調査を実施した（表 1）。第 1 に、トウモロコシ・小麦栽培地域である黄淮海平原の山東省陵県および北京市昌平県、第 2 に、長江下流域の水稲・小麦栽培地域である太湖集水域地域の江蘇省錫山市および常熟市、第 3 に、中国南部の水稲二期作地域である紅壤地域の湖南省祁陽県である。

表 1 環境保全課題における実施課題と対象地域

実施課題	地域	省・都市	作付体系	地勢	年平均気温(°C)	年降水量(mm)	平成9	平成10	平成11	平成12	平成13	平成14	平成15
(1)-1 (1)-2	黄淮海平原	山東省	トウモロコシ -小麦	平野	12.5	600	←	←	←	←	←	←	←
(2)-1	京津唐地域	北京市				588	←	←	←	←	←	←	←
(3)-1 (3)-2 (4)-1 (4)-2	太湖集水域	江蘇省	水稻-小麦	低地	16.1	1175	←	←	←	←	←	←	←
(5)-1 (5)-2	紅壤地帯	湖南省	水稻二期作	丘陵地	18.0	1310	←	←	←	←	←	←	←

圃場試験、広域評価、

## 3) 共同研究プロジェクトの成果の概要

各農業生態系における窒素を中心とした主要元素の動態を調査した結果、すべての対象地域において、農耕地が環境への大きな窒素負荷源となっていること、それが速効性肥料の多量施肥に由来していることを明らかにした（図 3）。特にアンモニア揮散による環境負荷が著しく、畑地と水田の双方において、すべての対象地の慣行施肥条件下で施肥窒素の 1/3 以上にあたる揮散が認められた。水田においては、日中に田面水の pH が高まることによりアンモニア揮散の生ずることが一般的であるが、畑地においても、特に黄淮海平原に広く分布するアルカリ性土壌の特性として大きなアンモニア揮散の生ずることが明らかにされた。

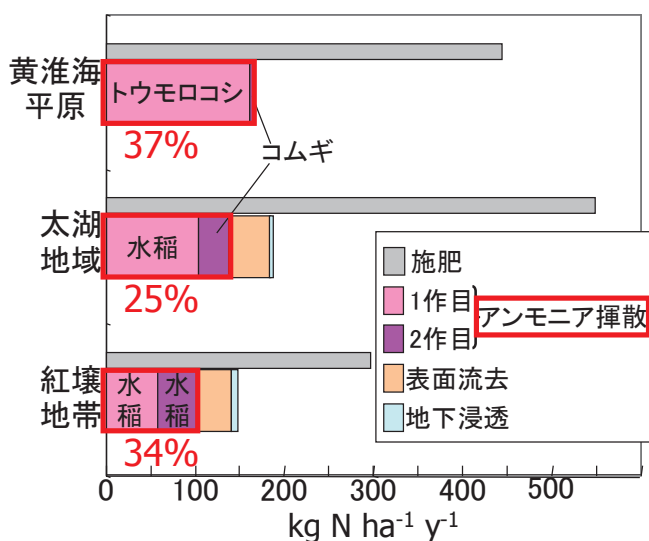


図 3 各試験地における窒素施肥量と計測された環境負荷量

農耕地から環境への窒素負荷を軽減するための対策として、肥効調節型肥料の利用、堆きゅう肥の利用、深層施肥等が有望であることを確認した。特に、肥効調節型肥料の適切な施用により、アンモニア揮散量を大幅に軽減できることを明らかにした（図 4）。また、水田田面水の表面流去の削減についても同様の結果を得た。以上の結果より、各対象地域において、環境負荷軽減と収量維持の視点から推奨される施肥法を提示した（表 2）。

以上の成果は、JIRCAS Working Report No. 65 に取りまとめ、公表されている（Hosen 2010）。以下に、各実施地域における成果の概要を示す。

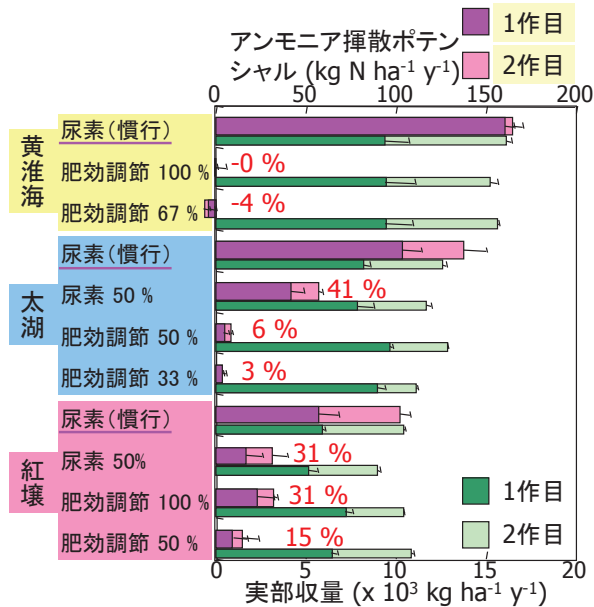


図 4 各試験地におけるアンモニア揮散ポテンシャルと作物収量

表 2 各対象地域において環境負荷・収量の視点から推奨された施肥法

- 黄淮海平原
  - トウモロコシ：肥効調節型肥料 33%減肥または溝施肥（慣行施肥量）
  - コムギ：慣行法
- 太湖地域：
  - 水稻：肥効調節型肥料 50%減肥
  - コムギ：慣行法
- 紅壤地帯：
  - 早稲：肥効調節型肥料 50%減肥
  - 晩稲：肥効調節型肥料 50%減肥
  - 堆きゅう肥 50%+化学肥料 50%施用または堆きゅう肥 100%

#### (1) 黄淮海平原の農業生態系における窒素動態解明とその制御

##### ①地域の有機物および窒素フローの分析

黄淮海平原の典型的な農業地域である山東省陵県において、窒素フローモデルを用いて 1979～1997 年の地域の窒素フローを分析するとともに、地下水水質調査を行った (Yagi et al. 2010)。その結果、農耕地土壌と環境への多量の窒素負荷（1997 年時点で  $288 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ）が経年的に増加していること（図 5）、しかしながら地下水の硝酸汚染は広域には顕在化していないことを明らかにした。以下に示す圃場試験で得られた結果を考慮すると、この窒素負荷の大部分がアンモニア揮散によって大気に放出され環境負荷源となっている可能性が示唆された (Yagi & Hosen 2003)。

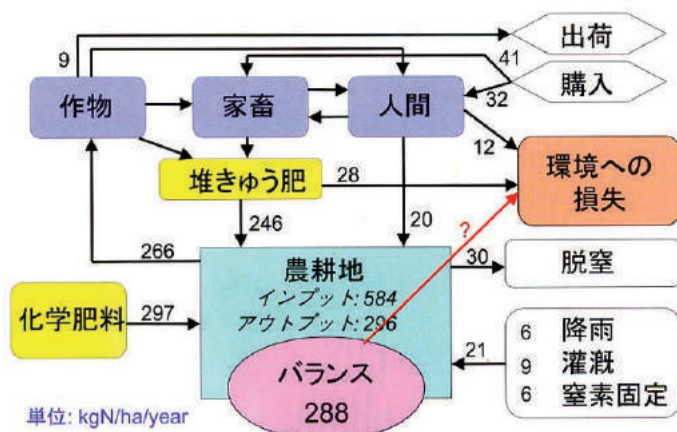


図5 山東省陵県における農耕地窒素フローの推定値（1997年度）

## ②集約的な農業システムからの環境負荷の定量とその抑制方策の開発

山東省陵県において、施肥深度及び肥効調節型肥料の施用が、アンモニア揮散及び作物収量に及ぼす影響を試験した（Zhang R et al. 2002; 2010a; b）。慣行施肥量（ $450 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ）の試験区間を比較すると、当地域の慣行肥料である尿素を表面施肥した場合、 $165 \pm 10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ （施肥窒素量の37%）の高いアンモニア揮散が観察された。これに対して、同肥料を深度5 cmに溝施肥した場合、 $97 \pm 2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ （同22%）に軽減された。溝施肥によるアンモニア揮散量は表面施肥の場合の59%であった（図6）。また、肥効調節型被覆尿素（以下、被覆尿素）を同溝施肥した場合には、 $-0.5 \pm 7.1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ （同0%）と窒素無施肥区と同水準に低下した（図4）。高いアンモニア揮散は、トウモロコシ栽培期（温暖期）の施肥直後1週間に顕著に観察された。トウモロコシ及び小麦の収量は、それぞれ被覆尿素減肥区（慣行施肥量の33%減）および尿素深層施肥区（慣行施肥量）で最高となった。環境負荷軽減と収量の維持向上を両立する施肥法として、トウモロコシに対しては被覆尿素33%減肥施肥もしくは尿素的深層施肥（慣行施肥量）、小麦に対しては尿素的深層施肥（慣行施肥量）が推奨された。

## ③異なった施肥量と肥料タイプにおける窒素損失量の定量

北京市昌平県のライシメータ試験圃場において、慣行灌漑条件下での地下浸透に伴う肥料成分の溶脱量を3年間定量調査した（Zhang S et al. 2010）。その結果、地下浸透水量及び無機態窒素溶脱量は、すべての肥料種（尿素及び被覆尿素）、施肥量（ $0 \sim 450 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ）条件下で、それぞれ $6 \sim 73 \text{ mm y}^{-1}$ および $0.3 \sim 2.1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の範囲に収まり、いずれも無窒素施肥区で最大、慣行施肥区（尿素 $450 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ）で最小となった。当地域では農地生態系からの肥料分の地下浸透による地下水汚染の危険性が低いことが示された。

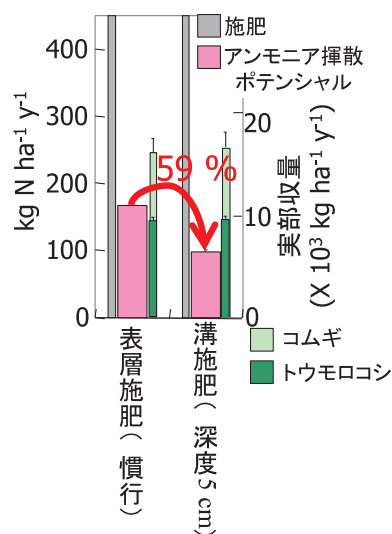


図6 山東省陵県の畑圃場におけるアンモニア揮散量と作物収量

## (2) 太湖の水質汚染に及ぼす面源負荷の影響評価

### ①集落スケールの評価

太湖北西岸地域の典型的な集落である武進市雪堰橋鎮 (33 km<sup>2</sup>、30,000 人)を対象に、窒素及びリンを対象として行った圃場レベルの表流水調査により、これらの水田からの年間流出パターンを明らかにした。また、村落レベルの調査結果から、農業・家禽・村・鎮市街地別の面源負荷強度を推計した。これらデータを用いて、米国ペンシルベニアで用いられた GIS 技術を用いた農業面源負荷ポテンシャル指数 (APPI) の重み係数を太湖地域に適合するよう改良し、雪堰橋鎮内各村の表面流去指数、堆積物生産指数、化学肥料使用指数、人および家畜負荷指数を推計した (Guo et al. 2010)。

### ②集水域スケールの評価

太湖西岸地域の典型的な農業集水域である江蘇省宜興市梅林集水域 (1.22 km<sup>2</sup>) からの地表水移動にともなう窒素及びリンの流出量は、それぞれ域内施肥量の 8.5 %および 3.2 %にあたる 20.3 および 1.0 kg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> と推定され、主要作物の施肥時期に増大するが、水稻生育の旺盛な 7~9 月に減少した。水稻基肥施肥時期にのみ用水中のアンモニア態窒素濃度が顕著に上昇したことから (図 7)、同時期の水管理の重要性が指摘された (宝川ら 2004; Gao et al. 2010)。

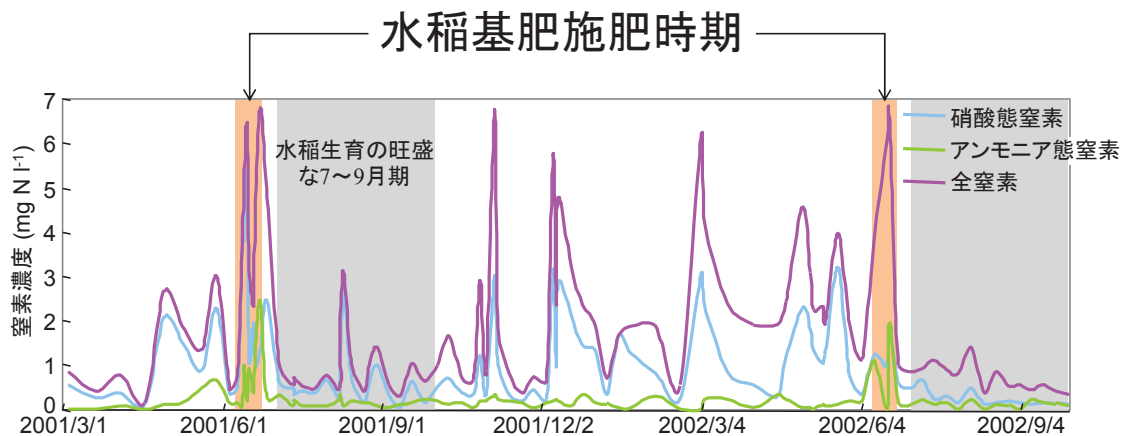


図 7 江蘇省宜興市梅林集水域から流出する水路水中硝酸態窒素、アンモニア態窒素、および全窒素の濃度の推移

### ③ライシメータ試験

江蘇省常熟市のライシメータ試験圃場において、水稻-小麦輪作体系における窒素収支をモニタリングし、被覆尿素の施用がアンモニア揮散、一酸化二窒素放出、表面流去、地下浸透および収量に及ぼす影響を試験した。その結果、アンモニア揮散が最大の環境負荷源であることを明らかにした (Li H et al. 2010)。当地域の慣行肥料である尿素の慣行施肥量 (550 kg N ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) 条件下で、アンモニア揮散量は 109±13 kg N ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> (施肥窒素量の 37%) に達したが、尿素施肥量を慣行の 50%、被覆尿素施肥量を慣行の 50%、33%に減肥した条件下では、それぞれ 42±7 (同 28%)、2±1 (同 1%)、2±2 kg N ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> (同 2%) に軽減された (図

4)。被覆尿素の施用により、水稻収量は有意に増加し、慣行の 50%減の施肥量で最大の収量が得られたが、小麦収量は低下した。被覆尿素の施用により表面流去による環境負荷量も有意に軽減された。以上から、当地域の水稻作には適切な肥効調節型肥料を慣行施肥量の 50%減肥することが推奨された (Wang et al. 2010)。

### (3) 紅壤地帯における環境と調和した水田農業技術体系の開発

#### ①物質循環を基にする環境保全型水稻栽培技術の開発

湖南省祁県において、被覆尿素の施用がアンモニア揮散及び収量に及ぼす影響を試験した (宝川ら 2003)。慣行施肥量 ( $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ) 試験区間を比較すると、当地域の慣行肥料である尿素施肥条件下で、アンモニア揮散量は  $102 \pm 16 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  (施肥窒素量の 34%) に達したが、被覆尿素区では  $32 \pm 8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  (同 11%) に軽減された (Li J et al. 2010)。被覆尿素施肥量を慣行の 50%削減 ( $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ) した結果、アンモニア揮散は  $15 \pm 18 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  (同 11%) に軽減され、更に慣行尿素区と有意差のない収量が得られた (図 4)。以上から、当地域では適切な肥効調節型肥料を慣行施肥量の 50%減肥することが推奨される。また、堆きゅう肥の施用によってもアンモニア揮散を軽減可能であり、収量も維持できる可能性が示された (図 8) (Xu et al. 2002a; 2010a)。

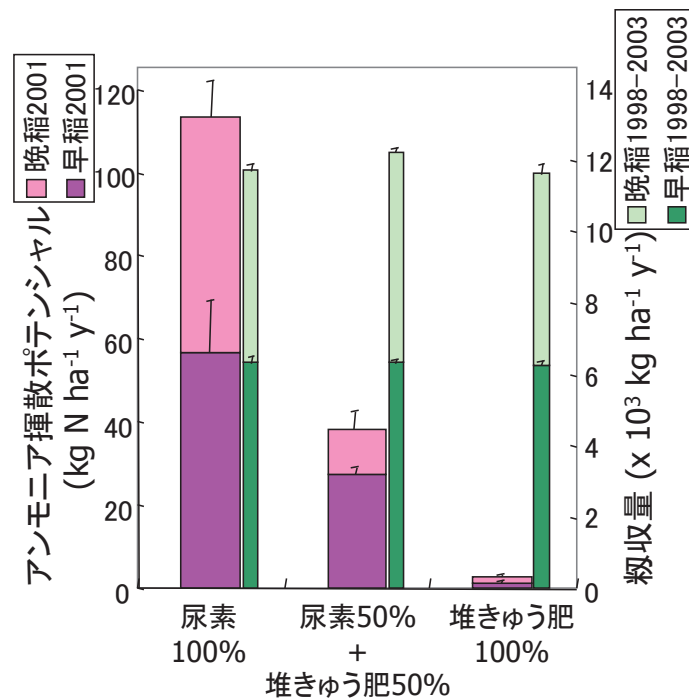


図 8 湖南省祁県の水田圃場におけるアンモニア揮散量と作物収量

#### ②水田の環境保全機能の有効利用

紅壤地帯の典型的な水稻二期作地帯である湖南省祁陽県官山坪集水域 (254 ha) を対象に、地表水移動にともなう窒素を中心とした養分収支をモニタリングするとともに、農家聞き取り調査および圃場試験で得られたデータをもとに、当地域水田農業生態系における窒素収支を推計した (Xu et al. 2002b; 2010b)。その結果、窒素の総インプット量は  $467 \text{ kg N ha}^{-1}$

$\text{y}^{-1}$ 、そのうち肥料、降雨、灌漑が、それぞれ 95、3.1、1.6%を占めると推計された。総アウトプット量は  $464 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、そのうち作物吸収、アンモニア揮散、表面流去、地下浸透が、それぞれ 52、38、8.3、1.5%を占めると推計された。地表水モニタリングの結果、水稻施肥時期に降雨の重なった際の養分流去、特にアンモニア態窒素の流去が顕著であり、同時期の水管理の重要性が指摘された。

### 3 中国と東アジアにおける今後の展望

中国における窒素肥料消費量は、2000 年代および 2010 年代においても、それ以前ほど急激ではないにせよ、継続して増加を続けている。しかし、2000 年以降の各 5 年間の年平均増加率は、2.8% (2000～2004 年)、2.0% (2005～2009 年)、1.3% (2010～2014 年) と着実な減少傾向にある (図 9 左図)。

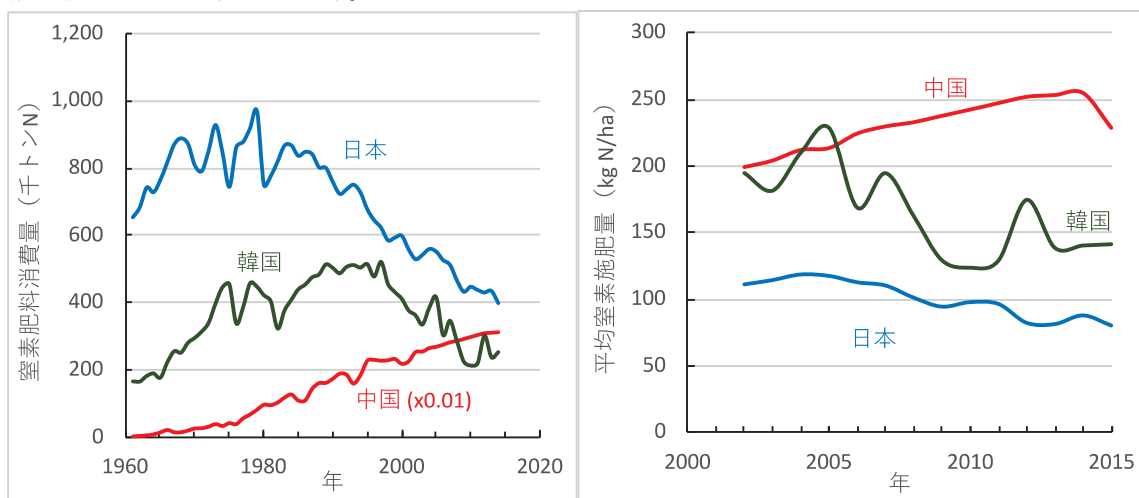


図 9 東アジア 3 カ国における窒素肥料消費量 (左図) および平均窒素施肥量 (右図) の推移 (FAO-STAT より作図)。左図では、中国についてはスケールを 1/100 としている。

ただし、中国における単位面積当たりの窒素肥料投入量を考える場合、社会構造や食料の輸出入の急激な変化に伴う国土全体の耕地面積の変化を考慮する必要がある。中国政府から公表される統計値には不確実な情報があるが、国家统计局によれば、1997 年から 2008 年までの 11 年間で国土全体の耕地面積は約 6%減少したと報告されている (巖 2014)。そのため、国土全体での窒素肥料消費量の減少にも関わらず、中国における単位面積当たりの窒素肥料投入量は、2002 年から 2014 年の間では継続的に増加していると推定される (図 9 右図)。

しかし、近年の中国の経済発展において後回しにされて来た環境対策について、最近、その方向性の見直しが検討され始めたことは注目に値する。2016 年 3 月に第 12 期全国人民代表大会 (全人代) 第 4 回会議で採択された「国民経済・社会発展第 13 次 5 ヶ年計画要綱」では、「5 つの発展理念」として、イノベーション、協調、開放、共享と並んで、「グリーン」すなわち環境対策がキーワードとして挙げられている。続いて、2016 年 11 月に国务院より公表された「第 13 次 5 ヶ年生態環境保護計画」では、生態文明建設を国家戦略に高め、同戦略で定められた全面的要求と具体的計画のなかに環境法制体系やモニタリング体制の整備が盛り込まれた。さらに、中国で初めてとなる「環境保護税法」が 2018 年 1 月より正式

に施行されている。一方、米国が消極的な地球温暖化対策の国際的枠組み「パリ協定」に対して中国が先導する姿勢を見せるなど、環境対策への国際的なプレゼンス発揮に積極的に努めるようになった。

窒素肥料消費について、中国と近い耕作体系を持つ、同じ東アジアの我が国と韓国の状況をみると、窒素肥料消費量は、我が国においては 1970 年代に、韓国においては 1990 年代にピークに達した後、急激な減少を示している（図 9）。この要因としては、この両国において農耕地面積が減少していることもあるが、それ以上に環境負荷の問題に対する社会的関心が高まり、我が国における環境保全型農業の導入など、施策的な対応に寄るところが大きい（Yagi & Minami 2005）。環境対策への関心が高まり始めた中国においても、今後、日韓両国が辿って来た道と同じ道を歩むことが期待できる。

研究コミュニティにおいては、上記のプロジェクト終了後も、その成果をさらに発展させるための日中協力が継続されてきた。2017 年 12 月に開始された国際共同研究プロジェクト「国際窒素管理システム（Towards INMS）」のもとでは、これまでの日中における国際協力に加え、韓国、フィリピンの研究者も参加する「東アジア地域デモンストレーション」が立ち上げられ、東アジア各国の窒素収支・動態の特徴・実態等を把握するための情報交換・議論を進めている。その第 2 回国際シンポジウム「東アジアにおける窒素循環とその環境影響」が農研機構とモンスーンアジア農業環境研究コンソーシアム（MARCO）により、2018 年 11 月に開催される。今後、中国だけでなく東アジア全域を対象とした農業生態系の窒素管理、すなわち窒素利用の便益の最大化とその環境影響の最小化を目標とする国際協力のさらに拡大することが期待される。

#### 参考文献

- 1 Gao, C. (2010) Nutrient exports from agricultural land in a rural watershed in the Taihu Lake area, China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 35–40.
- 2 Guo, H. et al. (2010) Study on agricultural non-point source pollution potential index (APPI) in Taihu Lake region with GIS. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 27–34.
- 3 宝川靖和ら (2003) 中国紅壤丘陵地帯水田二期作地域におけるアンモニア揮散とその制御. 国際農林水産業研究成果情報, 10, 17–18.
- 4 宝川靖和ら (2004) 中国太湖地域の農業集水域からの地表水による窒素の流出. 国際農林水産業研究成果情報, 11, 19–20.
- 5 Hosen, Y. (2010) Evaluation and Development of Methods for Sustainable Agriculture and Environmental Conservation in China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, pp. 81.
- 6 Li, J. et al. (2010) Effect of polyolefin-coated urea on rice yield and ammonia volatilization in red soil region of southern China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 65–72.
- 7 Li, H. et al. (2010) Model estimation of ammonia volatilization in paddy soils by monolithic lysimeter experiments in Changsu Agroecological Experiment Station. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 53–56.
- 8 Mosier, A.R. (2002) Environmental challenges associated with needed increases in global nitrogen fixation. Nutr. Cycling. Agroecosys., 63, 101–116.

- 9 Wang, X. et al. (2010) Effect of coated urea under rice-wheat rotation on environment and economical benefit in Taihu Region. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 41–51.
- 10 Xu, M. et al. (2002a) Transformation and utilization of nitrogen in paddy soil under combining chemical and organic fertilizers application. *Acta Pedol. Sin.*, 39, 421–426 [in Chinese].
- 11 Xu, M. et al. (2002b) Characteristics of nitrogen supply from paddy soil in red soil hilly regions of southern Hunan. *Soil Environ.*, 11, 50–52 [in Chinese].
- 12 Xu, M. et al. (2010a) Transformation and utilization of nitrogen in paddy soil applied with chemical fertilizers combined with manure in double-rice region of southern China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 57–63.
- 13 Xu, M. et al. (2010b) Evaluation of nitrogen losses from double-rice cropping agro-ecosystems based on a typical watershed in the hilly red soil region of southern China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 73–81.
- 14 Yagi, K. et al. (2010) Flow-model analysis of nitrogen cycling in agro-ecosystems of Lingxian County, Shandong Province. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 1–7.
- 15 Yagi, K. & Hosen, Y. (2003) Nitrogen cycling in agro-ecosystems of Huang-Huai-Hai Plain, China. *Farming Japan*, 37, 43–45.
- 16 Yagi, K. & Minami, K. (2005) Challenges of reducing excess nitrogen in Japanese agroecosystems, *Sci. China Ser. C*, 46, 928–936.
- 17 厳 善平 (2014) 中国の食糧安全保障と戦略的農業への展望. 日中経協ジャーナル, 2014年10月号.
- 18 Zhang, F.S. et al. (2013) Chinese agriculture: An experiment for the world. *Nature*, 497, 33–35.
- 19 Zhang, R. et al. (2002) Measurement of ammonia volatilization in a closed chamber system. *Acta Pedol. Sin.*, 39, 313–320 [in Chinese].
- 20 Zhang, R. et al. (2010a) The effect of soil moisture and N application practice on nitrification and ammonia volatilization. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 9–12.
- 21 Zhang, R. et al. (2010b) The effect of coated urea on N use efficiency and ammonia volatilization. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 13–17.
- 22 Zhang, S. et al. (2010) N balance affected by different release rates and application rates of N fertilizer in a lysimeter system. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 19–26.
- 23 Zhu, Z.L. & Chen, D.L. (2002) Nitrogen fertilizer use in China – Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. *Nutr. Cycling. Agroecosys.*, 63, 117–127.

## 中日高効率施肥と環境評価協力 20 年間の回顧と展望

徐明崗<sup>1,2</sup>、李玲<sup>1</sup>、段英華<sup>1</sup>、錢小平<sup>3</sup>、三島慎一郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>農業資源与農業区劃研究所、CAAS、耕地質量栽培技術国家プログラムラボ；<sup>2</sup>中国熱帯農業科学院南亜熱帯作物研究所；<sup>3</sup>JIRCAS；<sup>4</sup>日本農業環境技術研究所

### Abstract

Chemical fertilizer plays a very important role in promoting agricultural production and food security. However, currently the amount of fertilizer used is too large and the utilization efficiency of fertilizer is low. As a result, chemical fertilizer has become a major source of agricultural pollution. In order to coordinate the relationship between agricultural development and environmental protection, China and Japan have carried out a series of studies on efficient fertilization and environmental assessment since 1997-2016. This paper reviews the main research achievements of the 20 years of Sino-Japanese cooperation, expounds the main achievements and revelations of the 20 years of cooperation, and puts forward some thoughts and suggestions for future cooperation. It suggests some new ideas for Sino-Japanese cooperation in future with high quality production and environmental protection in agriculture in mind.

化学肥料は食糧の「食糧」として、農業生産の促進と食糧安全において、重要なサポート的な役割を果たしてきた（張福鎖等、2008）、とりわけ中国は世界 7%の耕地で世界人口の 22%を養っているという奇跡を起こした背景には、化学肥料が食糧生産の安定に大きく貢献している。食糧増産への貢献率は 40%以上（朱兆良等、2013）とされる。現在中国農地化学肥料施用量は世界平均使用量の三倍以上で、化学肥料の利用率が低く、さらに窒素肥料の利用率は 35%未満で、世界平均より 15-20%も低い。肥料利用率の低さより、大量の養分とりわけ窒素養分は空気と水で流失し、重要な汚染源となった。農業発展と環境保護の関係を改善するために、中日双方は 1997-2016 年において、「環境保護型農業生産技術の開発と評価」及び「中国典型農地における化学肥料の環境リスク評価と施肥技術」等の研究を行い、中国の主要農作制度における化学肥料の損失状況を究明、同時に土壌養分資源の環境リスクを分析、化学肥料の流失を低減させる技術措施を提案、科学的な施肥及び養分資源の管理を改善、化学肥料の利用率を向上させ、農地の生態環境を守ることができた。

---

原稿提出日付：2018-08-31

作者プロフィール：徐明崗（1961-），男，陝西武功出身，研究員。研究方向：土壌肥力の変化と退化した土壌の回復。Email：[xuminggang@caas.cn](mailto:xuminggang@caas.cn)

支援プロジェクト：国家重点研究開発計画プロジェクト（2016YFE0112700）和中-日国際協力プロジェクト「華北農田環境負荷評価」等。

## 1 中日高効率施肥と環境評価研究成果を振り返る

### 1) 環境保護型農業生産技術の開発と評価研究（1997年-2003年）

施肥の目的は農作物の生産量を増やし、人類の発展に必要な食糧を確保するためである。しかし最近30年来、中国化学肥料の使用量は継続的に増加したが、食糧生産量の増加は逆に緩やかになった（張福鎖等、2008）。同時に化学肥料の非合理的な使用によって、環境汚染の問題がますます浮き彫りになった（陸文聡等、2017；劉钦普、2017）。化学肥料の使用と環境の関係を改善するため、1997年から2003年まで、中日双方は7年間にわたる中日政府間の協力プロジェクト「中国主要食糧資源の持続生産と高度利用」をテーマにした研究を実行し、その内容のひとつとして「環境保全型農業生産技術の開発と評価」があった。この部分の内容は中国農業科学院土壤肥料研究所、中国科学院南京土壤研究所と日本国際農林水産業研究センター、日本農業環境技術研究所等の機関が協力して完成したものである。本プロジェクトは中-日協力の新紀元を作り、中日農業科学技術協力の代表的プロジェクトであった。本プロジェクトの協力研究は、主に以下の研究成果が得られた。

#### (1) わが国の主要農作制度における化学肥料中窒素の流失ルートの解明

化学肥料が土壌に使われてから、一部は農作物に吸収され、一部は土壌の中に保全され、その他は化学肥料の流失部分と見なされている。流失した部分は空気に揮発し、地下水に溶脱し、または地表水にも入ってしまう（朱兆良、2000；Guo et al., 2004；周建斌、2017；巨曉棠等、2014；徐明崗等、2015）。

中国北方地域の小麦-トウモロコシの輪作制度において、アンモニアの揮発は主に気温が比較的に高いトウモロコシの生育期に発生し、窒素の流失率は19.4-71.3%の間である。しかし小麦生育期における窒素の流失率はわずか1.4-2.1%。中国南方地域の二期作米輪作制度において、早い時期の稲と遅い時期の稲の生育期におけるアンモニアの流失率は非常に近く、約25-41%（平均は35%）である。

窒素の溶脱は南、北問わず低い数値を維持し、損失率はわずか2%ぐらいである。中国北方地域の小麦-トウモロコシ輪作制度において、尿素が土壌に吸収されるとすぐアンモニウムに変わり、アンモニアは引き続き硝酸態窒素に変化し、アンモニウム含有量はすぐに低下し、二週間後低い数値に安定するが、硝酸態窒素の含有量が徐々に高くなり、その後はアンモニウム含有量と比べ、終始比較的に高いレベルを維持している。上記でわかることは、華北地域の灌漑システムを使っている農地において、土壌中の可給態窒素は硝酸態窒素がメインである。アンモニウム含有量が高くなく、土壌に吸着されることもあるため、灌漑農地の窒素溶脱は主に硝酸態窒素の溶脱である。南方地域の二期作米輪作制度において、水稻生育期の水田は比較的に長い期間にある程度の水層を保有し、同時にある程度浸み出ているため、窒素溶脱の現象もあるが、窒素の溶脱量はわずか施肥量の1.4%である。

中国の南方地域は水稻の栽培がメインで、農地は一年中何回もの進水と排水を繰り返し、一部の丘陵地域では串灌（水盤灌漑）の方法を使用している。さらに南の降水量が多く、地表を流れ去る雨水の量も多いため、南では農地の表面に溶け込んだ窒素は雨水に流される。そのため、地表の雨水による損失も南の丘陵地区の窒素流失の重要ルートである、窒

素流失率は 8.4 %-11.2 %である。

## (2) 緩効性肥料と有機肥料使用中の窒素利用率を究明し、環境保全型施肥新技術を提案

緩効性肥料を施肥することで、肥料の流失を大幅に低減させることができ、肥料の利用効率を向上できる（盧艷麗等、2011；侯紅乾等、2018；徐明崗等、2015）、しかし異なる作物に対する増産効果もかなりの差があり、異なる作物における応用見通しも違う。中国北方地域の小麦—トウモロコシ輪作制度に、Meister 緩効性肥料を使用した小麦生産量は尿素より低く、緩効性肥料の小麦に対する増産作用は尿素ほど大きくないと証明している。各処理によるトウモロコシ生産量の差はあまりなかった。緩効性肥料は尿素と同じ生産量を維持するという条件の下で、窒素の揮発を大きく抑えたため、とりわけ Meister150 kg N/hm<sup>2</sup> による処理は、普通の使用量で肥料の利用効率を 6.9-13.3%向上させることができ、生産量は同量の尿素と一致、或いはやや高くなっている。中国南方の二期作米輪作制度において、緩効性肥料 75kg N/ha を使用した状態で、生産量は 150 Kg N/ha の尿素を使った時と同じレベルに達することができ、肥料の利用率は約倍になり（尿素窒素の利用率は 25-35%、平均は 30%；緩効性肥料窒素の利用率は 65-75%、平均は約 70%）、応用の見通しは非常に明るい。

有機肥料と無機肥料を配合して使用することによって窒素の流失を減少させ、化学肥料の利用効率を向上させる重要な役割を果たす（徐明崗等、2015；張淑香等、2015）。中国南方地域の二期作米輪作制度の研究では、水稻生育期間中のアンモニア揮発流失量、窒素量が同じな場合、早生稲をターゲットに化学肥料だけを使う（NPK）場合と化学肥料と有機肥料（NPKM）を融合した肥料を使う場合、アンモニア揮発の窒素損失量はそれぞれ施肥量の 37.7%と 18.2%を占め、有機肥料（M）を使用した場合アンモニアの揮発量は窒素肥料施肥量の 0.7%しかない。晩生稲の NPK 処理における、アンモニア揮発窒素流失量は施肥量の 37.9%を占め、NPKM と M 処理のアンモニア揮発流失が少なく、それぞれ施肥量の 7.2%と 1.0%を占める。異なる施肥処理による窒素肥料の利用効率も明らかに違い、5 年間試験の平均値は、化学肥料だけを使用する場合の窒素利用率はわずか 26.2%、有機肥料と無機、有機肥料を配合した場合の窒素利用率が比較的に高く、それぞれ 35.4%と 37.8%である。総生産量から見ると、有機無機肥料を配合した場合は一番高く、化学肥料より 8.3%増産した。有機無機を配合した肥料は稲の生産量を効率的に改善できるだけでなく、窒素肥料の利用効率を著しく向上させることができ、農業生産の持続可能な発展を実現するための重要な施肥方式である。

## 2) 中国典型的農地化学肥料の環境リスク評価と施肥技術研究（2004 年-2016 年）

化学肥料使用量が著しく増加し、環境汚染が日々進み、とりわけ中国では化学肥料の使用量が高いため、農地における化学肥料汚染問題の先進国より目立っていて、農業の窒素とリンは水体富栄養化への主な原因で（劉欽普、2014）、農業で排出したアンモニアは空気中で硫酸アンモニウムと硝酸アンモニウムを形成し、スモッグの成分となり、大気透明度に影響する重要物質である（白由路、2018）。健全な農地の生態システムと農業持続可能な発展のため、中日双方は第二期協力プロジェクト「中国典型農地における化学肥料の環

境リスク評価と施肥技術」を展開し、執行期間は2004年-2016年。本期間での研究はデータ収集、調査研究をメインにして、典型的な農地における土壌養分の環境リスク分析研究を行い、農地の土壌養分のバランス状況を究明し、さらにその環境リスクの特徴を明確する。本期プロジェクトの協力研究は、おもに以下の研究成果があった。

(1) 河北省における異なる利用方式での土壌窒素、リン養分の投入と余剰状況

河北省の野菜畑と食糧生産農地の窒素、リンは主に化学肥料から由来であり、化学肥料が総施肥量に占める割合は70%以上である。食糧生産農地、果樹園と野菜畑の窒素、リンはいずれも余った状態で、窒素の余剰率は果樹園が一番高く(532.6%)、続いては野菜畑と食糧生産農地(61.5%と31.6%)である。リン肥の余剰率は野菜畑と果樹園が一番高く(700.4%と615.7%)、食糧生産農地が一番低い(66.6%)。全体的に見るとリン肥の余剰率は窒素肥料より高い(李玲等、2016)。

(2) 窒素、リン養分の環境リスク指数を明確した

窒素の余剰率が20%以上だと、環境に潜在的脅威をもたらすため、リンとの余剰率を合わせて、最大は150%を超えてはいけない(Zhao et al., 2009)。河北省の野菜畑と果樹園の窒素、リン肥余剰率はすでに基準を大きくオーバーし、環境に対する潜在的脅威も比較的に大きい。同時に環境リスク指数0.5を安全数値とし、0.5以下だと環境にリスクはないと判断する(劉钦普、2014)。河北省野菜畑、果樹園と食糧生産農地の三種類の異なる利用方式の窒素肥料とリン肥の環境リスクはいずれも0.5を超えている(李玲等、2016)。そのうち食糧生産農地の窒素、リンの環境リスクは低度リスク、果樹園の窒素、リンの環境リスクは中度リスク、野菜畑の窒素、リンの環境リスクはすでに嚴重リスクに達している。そのため、河北省は窒素、リン肥の投入を減少し、土壌をよりよく培うために、有機肥料の投入率を引き上げるべきである(李玲等、2016; 徐明崗等、2015)。

## 2 中日高効率施肥と環境評価が20年間の協力で得た収穫と感想

中日高効率施肥と環境保護は20年間の協力を経て、中国の研究能力と研究水準を著しく引き上げられた。とりわけ緩効性肥料に関する研究は、緩効性肥料の窒素コントロール原理と異なる地域、異なる栽培システムにおける高効率施肥技術を実現し、国際先進レベルに達している。黄淮海平原の農地と華中水田の窒素肥料環境保全型施肥技術は、農業部科学技術進歩二等賞を獲得した。協力によって、多くの人才を輩出した。20年間、双方交流した人数は80人以上、国際的ワークショップを9回開催し、中-日土壌環境評価と保護の国際影響力を著しく向上させ、双方の文化交流と友情を深めた。協力した20年、中日双方は資源の共有を実現し、優位性を補完し合い、長期的な友好協力パートナーシップ関係を築いた。これからも科学研究プロジェクトを協力し、参加する人数が多くなるに連れ、双方は中日友好と中日科学技術イノベーションに更なる大きな貢献ができると考える。

### 3 これから中日科学技術協力に関する考えと意見

現代農業の発展とともに、良質、高効率、利便性、環境保全などに関する要求もますます高くなり、中日双方は農業資源環境分野、とりわけ高効率施肥と環境保全における協力もますます広くなり、多元化になってきた。中日双方の優位性と農業生産の新しい需要を総合的に考えると、未来の協力ポイントを以下の視点に集約できると思う。

#### 1) 高効率施肥技術の研究と応用

高効率施肥は作物栄養供給の各プロセスに使われ、現代的技術を使って、肥料の利用効率を最大限に引き上げ、作物の生産量と品質の向上を保証するだけでなく、資源のロス問題を解決し、生態環境を守る（自由路、2018）。現在農業生産で実際に効果を見せている高効率施肥技術は主に測土施肥技術、精確的施肥技術、灌漑施肥技術、軽減式施肥技術、葉面施肥技術等がある。特に科学技術の発展とともに、高効率栄養診断技術、デジタル化養分管理システム、養分高効率利用遺伝子選択、栄養チェーンの一体化管理、作物栄養調節技術と生態環境保護の施肥技術等は将来高効率施肥技術研究と応用の主要方向になると思われる（自由路、2018）。そのため、中日双方は異なる農業地域、特定な作物システムに対し、環境友好型の高効率施肥技術を取り入れ、とりわけ簡素化した、自動的、機械化したセット技術を導入し、広い地域において展示応用を展開し、科学技術のサポートを強化し、エコで良質な高効率新技術を広めていく。

#### 2) 新型肥料の研究開発と応用

新型肥料開発の重点分野は以下のとおりで、新型緩効性肥料、微生物肥料等がある。緩効性肥料とは肥料に含まれる養分の放出速度が緩やかで、放出周期が長く、異なる作物の肥料を必要とする特性及び成長規則に基づいて、物理的、化学的そして生物学等の技術で養分の放出を調節し、コントロールし、成長期全体の需要に応えられる肥料である。そのため緩効性肥料は「21世紀新型環境保全肥料」とも呼ばれている（李玲等、2016）。緩効性肥料には化学肥料の利用効率を向上させ、使用量と施肥回数を減少し、生産コストを低減させ、環境汚染を改善し、農作物の品質を向上させる等のメリットがあり（盧艷麗等、2011；侯紅乾等、2018；張德奇等、2010）。微生物肥料とは一部の活着している微生物が含まれている特定製品のことで、農業生産に用いられると、作物は特定な肥料の効果を感じることができ、その微生物の働きは一番肝心である。微生物肥料は新型肥料として、土壌に投入後、特定な菌株迅速に繁殖し、空気中の窒素を固定させ、土壌中に固定したリン、カリウム元素を放出し、環境に潜めている養分を十分に発揮できる。さらに作物の成長のために素晴らしい微生物環境を作り、化学肥料使用量の削減、環境汚染の改善、農作物品質の向上等において重要な意義を持っている（王素英等、2003；張瑞福等、2013）。新型肥料研究と産業化発展を促進するには、科学者と肥料業界の共なる努力が必要である。中日双方は関連の科学研究機関と科学技術革新能力を強化し、新型肥料研究開発の投資を増やし、新型肥料の研究開発プラットフォームを構築し、新型肥料の研究開発プロジェクトを取り入れた技術センターを創立するなど、産学研を結びつけた新しい科学研究のパターンを構築し、共に新型肥料の開発と応用を促進し、肥料の利用効率を著しく向上させ、施肥がもたらす環境の悪影響を最低限に抑える（趙秉強等、2004）。

### 3) 国際会議の開催と人才育成

双方の20年間の協力を基礎に、引き続き協力と交流を促進し、とりわけ資源の効率的な利用と環境保全に関する技術交流と協力を深めるためには、人才、新技術、情報交換と協力を注目しなければならない。「持っている技術を海外に、持っていない技術を国内に」という発展の考え方に基づいて、中日双方は引き続き調査研究を展開し、毎年5-8人の交流を維持し、2-3年に一回関連の国際会議を開催する。同時に双方は大学院生の育成においても、共同で行い、大学院生のレベルと質を向上させ、長期にわたる協力協栄を実現する。中日農業科学技術の発展と中日友好のために積極的に貢献する。

### 参考文献

- 1 Guo H Y, Zhu J G, Wang X R, et al, 2004, Case study on nitrogen and phosphorus emissions from paddy field in Taihu region, *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2):209-219.
- 2 Zhao L, Ma Y, Liang G, et al, 2009, Phosphorus efficacy in four Chinese long-term experiments with different soil properties and climate characteristics, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40: 3121-3138
- 3 白由路, 2018: 高効施肥技術研究的現状与展望, *中国農業科学*, 51(11):2116-2125
- 4 侯紅乾, 冀建華, 劉益仁, 等, 2018: 緩/控释肥对双季稻產量、氮素吸收和平衡的影響, *土壤*, 50(1): 43-50
- 5 巨晓棠, 谷保静, 2014: 我国農田氮肥施用現状、問題及趨勢, *植物栄養与肥料学報*, 20(4): 783-795
- 6 李玲, 段英華, 徐明崗, 等, 2016: 河北省不同利用方式農田土壤氮磷環境風險分析, *中国農業資源与区劃*, 37(7):96-100, 149.
- 7 劉欽普, 2014: 中国化肥投入区域差異及環境風險分析, *中国農業科学*, 47(18):3596-3605
- 8 劉欽普, 2017: 中国化肥面源污染環境風險时空变化, *農業環境科学学報*, 36(7):1247-1253
- 9 盧艷麗, 白由路, 王磊, 等, 2011: 華北小麦-玉米輪作区緩控释肥応用効果分析, *植物栄養与肥料学報*, 17(1):209-215
- 10 陆文聡, 劉聡, 2017: 化肥污染对粮食作物生產的環境懲罰効応, *中国環境科学*, 37(5): 1988-1994
- 11 王素英, 陶光燦, 謝光輝, 等, 2003: 我国微生物肥料の応用研究進展, *中国農業大学学報*, 8(1):14-18
- 12 徐明崗, 張文菊, 黃紹敏, 等, 2015: 中国土壤肥力演变 (第二版), 北京: 中国農業科学技术出版社
- 13 張德奇, 季書勤, 王芳芳, 等, 2010: 緩/控释肥的研究応用現状及展望, *耕作与栽培*, 3:46-49
- 14 張福鎖, 王激清, 張衛峰, 等, 2008: 中国主要粮食作物肥料利用率現状与提高途径, *土壤学報*, 45 (5) : 915-924

- 15 張瑞福, 顏春榮, 張楠, 等, 2013: 微生物肥料研究及其在耕地質量提昇中的応用前景, 中国農業科技導報, 15(5):8-16
- 16 張淑香, 張文菊, 瀋仁芳, 等, 2015: 我国典型農田長期施肥土壤肥力变化与研究展望, 植物栄養与肥料学報, 21( 6) : 1389 -1393
- 17 趙秉強, 張福鎖, 廖宗文, 等, 2004: 我国新型肥料發展戰略研究, 植物栄養与肥料学報, 10 (5 ): 536-545.
- 18 周建斌, 2017: 作物栄養从有机肥到化肥的变化与反思, 植物栄養与肥料学報, 23(6): 1686-1693
- 19 朱兆良, 2000: 農田中氮肥的損失与对策, 土壤与環境. 9(1): 1-6
- 20 朱兆良, 金继运, 2013: 保障我国粮食安全的肥料問題, 植物栄養与肥料学報, 19(2):259-273

## 気候変動による農業への影響研究

石郷岡康史

農研機構・農業環境変動研究センター

### Abstract

Heilongjiang Province is located in the northeastern part of China, and rice production in this region is sometimes affected by low temperature due to interannual climate variability. In this research subject, we attempted to construct gridded (mesh) daily meteorological data for developing an early warning system for agricultural meteorological disasters. The mesh meteorological data was created by interpolating the observed data at stations into the gridded mesh which allows us to understand the distribution characteristics of meteorological indices related to crop productivity or damages due to meteorological injuries. We had created the mesh data of whole Mainland China for several selected years and of the areas around Heilongjiang Province in the period from 1994 to 2004 continuously. Using these mesh data, some meteorological indices were calculated for areas of rice cultivated in Heilongjiang Province. The results showed that the areas having serious cold injuries in 2002 were identified clearly by the distribution characteristics of meteorological indices, which suggest that the mesh data have a potential to be the effective tool for rapidly understanding the emergence of meteorological injuries on crop production.

### 1 背景と目的

2004 年度から 2008 年度にかけて実施された第 2 期プロジェクト研究「中国食料の生産と市場の変動に対応する安定供給システムの開発」(中国食料変動)は、農業災害早期警戒システムと農村経済安定化のための施策の構築を通して、中国の内陸部・東北部を中心に多発する農業気象災害の克服を主目的としたものである。この中で我々が担当した課題は「メッシュ気候・気象値を用いた農業気象災害評価手法の開発」であり、早期警戒システム構築のための基礎となる気象情報の整備を目的としたものである。

本課題で主に対象とした黒龍江省は中国の最北に位置し、面積は 45 万 4 千 km<sup>2</sup> と日本国土の約 1.2 倍であり、広大な農耕地を有する中国でも有数の穀倉地帯である。気候は典型的な大陸性モンスーン気候であり、年間 400～600mm 程度の降水の大半は夏季(6 月～8 月)に集中する。また、高緯度の割には夏季に気温が比較的高く、日射量も多いという気候的特性の下で、近年水稻栽培が大規模に展開し、生産量は飛躍的に増加している。しかしながら、黒龍江省は気候的に稲作の北限地域であることには変わりなく、気温が水稻生産における主要な制限要因となっている。そのため、水稻生産は年々の気温の変動により大きく影響され、深刻な冷害による減収や品質低下が度々発生している。

黒龍江省の水田は、嫩江および松花江流域の低地に広く分布し、北限は黒河(北緯 50 度)付近である。広範囲に分布するため地域により差異はあるが、移植は概ね 5 月中旬から 6 月初旬に、収穫は 9 月末に行われる。しかし、生育期間前半(栄養生長期)に低温状態が

継続すれば、発育が遅れて登熟期間が秋の低温期にかかり、登熟に支障をきたす可能性が高くなる（遅延型冷害）。また、出穂期前の危険期（幼穂形成期から開花期）に最低気温が20℃を下回ると生殖障害を起こし、不稔となる可能性が高くなる（障害型冷害）。黒龍江省のイネの生育と収量を推定するイネ生育モデルでは、この低温による収量減少を推定するモジュールが重要なポイントとなる。

近年、黒龍江省においても気温の上昇傾向が認められ、水稻生産における冷害のリスクは軽減しているとの見方もあるが、気温の年々変動が大きくなっていることにより障害型冷害はむしろ増加傾向にあるとの報告もある。また冷害発生状況は地域により異なり、近年の変動する気候条件下で、どの地域でどの程度の規模の冷害が認められたかを定量的に評価するためには、適切な時空間解像度を持つ均質かつ高精度の気象情報が必要不可欠である。メッシュ気象値は、領域を緯度経度に沿った網の目（メッシュ）に区分し、それらの区域ごとに表される気温や降水量等の気象データであり、点在する気象観測所において実測されたデータを、地形などの地理情報を考慮の上、空間補間して作成される。これにより、観測点の無い任意地点の気象値が得られるだけでなく、時間的空間的に均質な気象情報が得られ、水稻生育に関する種々のインデックスの空間分布特性を明確に表すことが可能となる。

本課題では、公開されている月別メッシュ気候値（平年値）と、日別の地上気象観測データを組み合わせ、対象とする黒龍江省を含めた中国全土の日別メッシュ気象データを作成した。次にそれを利用し、黒龍江省における水稻収量に関する典型年として、1997年（平年；6.16t/ha）、2001年（豊作年；6.44t/ha）、2002年（凶作年；5.86t/ha）について、各年の気象値の分布特性と、黒龍江省水稻生産および冷害発生状況の関係について考察した。なお、本課題は、日本側の農業環境技術研究所（現農研機構・農業環境変動研究センター）と、中国側の中国農業科学院および黒龍江省農業科学院の協力の下に実施した。

課題実施担当：

鳥谷均・石郷岡康史（農業環境技術研究所）

許吟隆（中国農業科学院）

矯江・許顕濱（黒龍江省農業科学院）

## 2 方法と手順

本プロジェクトにおける担当課題では、先ず冷害発生状況の空間的特徴把握に必要不可欠な、日別メッシュ気象値の作成を実施した。作成した気象値は、日平均、最高、最低気温、日総降水量、日積算日射量であり、対象領域は中国全土、空間解像度は0.1度（約10km）である。空間補間には、Moving Least Squares（MLS）法を使用した。実測データは、中国農業科学院持続発展研究所（以下、持続研）が保有する、中国気象局による中国国内の観測データ、およびインターネットを介して入手できる中国周辺地域の観測点（WMO Resolution40; NCDC Global Summary of Day, NOAA）における日別データを使用した。中国気象局データの中には、中国全土約700地点の1950年以降のデータが含まれている。但し、日射量を実測している地点は約100地点と少なく、また品質に問題があると考えられたため、日照時間（日照時間から全地点で測定されている）から日射量を推定する手法を開発し、これを使用して推定された日射量を空間補間した。WMOデータには、日照時間

が含まれていないため、日射量推定には使用していない。なお、開発したメッシュ気象値作成アルゴリズムは、早期警戒システムに組み込まれており、こちらは準リアルタイムで入手可能な WMO データのみを使用している。なお、この中国全土のメッシュ気象値の作成は、中国農業科学院が担当した。

上記の中国全土を対象としたメッシュデータは、領域が極めて広範囲であり長期間における日別値を作成するには多大な計算時間と大容量のストレージが必要となるため、今回は黒龍江省のみを対象としたサブ領域を別途設定し、黒龍江省解析用のメッシュ気象データを準備した。対象範囲は、黒龍江省全域を含む緯度  $43^{\circ}\text{N}$  -  $54^{\circ}\text{N}$ 、経度  $120^{\circ}\text{E}$  -  $136^{\circ}\text{E}$  とし、空間解像度は  $5' \times 5'$  (約  $8\text{km} \times 8\text{km}$ ) とした。作成対象要素は気温および日射量とし、

気温については日平均・最高・最低値、日射量については日積算値を作成した。その際、対象領域の長期、高密度の気象データセットを準備することを目的とし、メッシュ気象値作成アルゴリズムは、計算負荷が比較的小さい距離逆数重み付け平年差(比)法(清野, 1993)を使用した。このアルゴリズムでは、対象メッシュの日別平年値に、メッシュ周辺の観測地点における日別実況値と平年値から算定される平年差(比)を加算することで、日別メッシュ気象値を算定する。そのため、地上気象観測点における日別実況値と併せて、対象領域のメッシュ日別平年値が必要となる。ここでは、全球  $10' \times 10'$  (約  $17\text{km} \times 17\text{km}$ ) で作成されているメッシュ気候値である Climate Research Unit dataset version CL2.0 (CRU-CL2.0; New et al. 2002) を使用し、同データから対象領域を切り出し、空間解像度を  $5' \times 5'$  にダウン

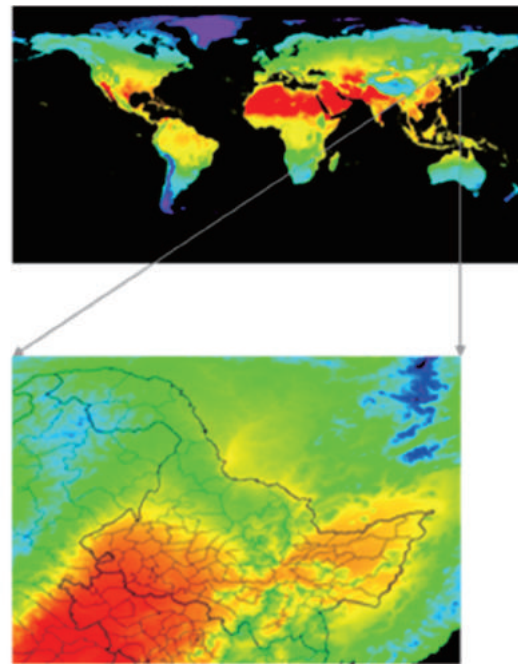


図 1 CRU 全球平年値から抽出した黒龍江省周辺領域の年平均気温平年値

ンスケールしたものを使用した(図 1)。このデータは月別値であるため、3 次スプライン補間により各メッシュの日別平年値を作成した。なお、この黒龍江省周辺のメッシュ気象値の作成は、中国農業科学院、黒龍江省農業科学院の協力の下、農業環境技術研究所(現農研機構・農業環境変動研究センター)において実施した。

### 3 結果と考察

本課題において、上記の日別実測データから中国全土の 0.1 度空間解像度の日別メッシュ気象値を計算するためのシステムを構築した。その結果、1950 年以降の各年日別メッシュ気象値の出力が可能となり、本プロジェクト期間中においては、1997、2001、2002 年の各年および 1971～2000 年の平年日別メッシュ気象値を整備した。例として、平年日別メッシュ（日平均気温）を使用した、有効積算温度（ $\Sigma T_m$ ; if  $T_m \geq 10^\circ\text{C}$ ）の分布を図 2 に示す。空白域は、有効積算温度が  $2200^\circ\text{C}$  日未満であり水稻の栽培に必要な温度資源が不足する地域である。逆に、着色された地域が温度条件のみによる水稻栽培可能地域である（今回は水の制限は考慮していない）。北限は黒龍江省の北緯 50 度付近と検出され、実際的水稻栽培の北限（黒河付近）とほぼ一致することが分かる。

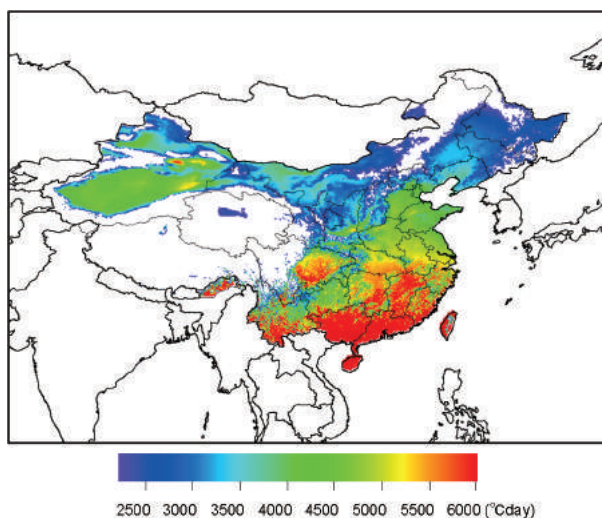


図 2 平年日別メッシュデータから計算した有効積算温度 ( $T_m \geq 10^\circ\text{C}$ ) の分布

次に、1997、2001、2002 年の 6～8 月（黒龍江省的水稻栽培における主要な生育期間）の平均気温の、平年に対する偏差の分布を図 3 に示す。1997 年は、華北から東北、内蒙古にかけて高く、華中から華南にかけての一部で低い。黒龍江省は南部ほど高くなっている。2001 年は、東北から新疆にかけて帯状に高い領域が広く分布し、黒龍江省は西ほど高い。2002 年は、内蒙古から西北にかけて高い領域が広がり、東北の東部に低い領域が認められる。この年は黒龍江省で深刻な冷害が発生しており、省の大部分は低くなっている。但し、低い領域はこの地域のみであり、全国的には高い領域が多いことが特徴である。

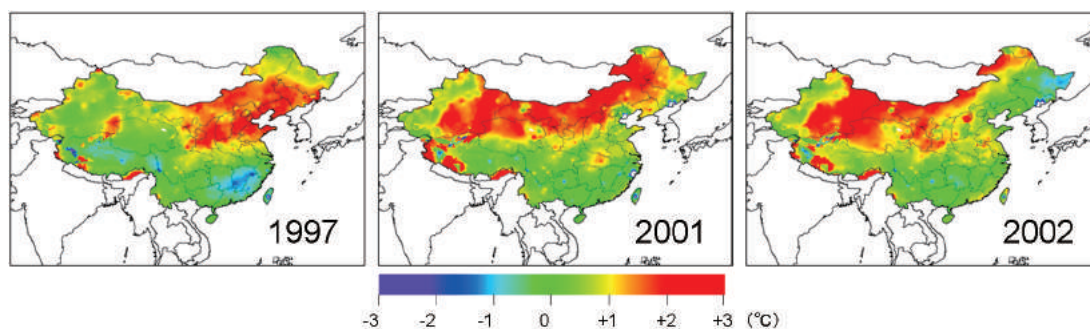


図 3 各年 6～8 月の平均気温の平年に対する偏差(左:1997 年、中:2001 年、右:2002 年)

黒龍江省周辺領域を対象に作成したサブ領域メッシュデータを使用し、各年における水稻生育に関わる指標の分布特性を調べた。図4に、遅延型冷害発生を目安となる、出穂後40日間の積算気温（日平均気温を出穂日から40日間積算した値）の分布を示す。ここで、出穂日は各年全地域で8月5日と仮定した。図で白色のグリッドは水田が存在しないグリッドであり、これは同テーマの他の実施課題（衛星データを用いた農業生産量変動モニタリング技術の開発）で得られた成果の一部である水田分布図を使用し、水田以外の地域をマスクしたものである。収量が低い2002年では、積算気温が750℃日以下の領域が中央部から東部三江平原に広く分布するのに対して、収量が高い2001年では積算気温が750℃以上の領域が、ほぼ黒龍江省全域に広がっていることがわかる。すなわち、2002年では、低温のために登熟が遅れることにより十分に成熟する前に温度が低下し、これにより収量の低下を招いた可能性の高い地域が中央部から東部に広がったことが推定される。また、2002年は生育期間を通して低温傾向で推移したため、ここで仮定した8月5日より出穂が遅くなっている可能性もある。

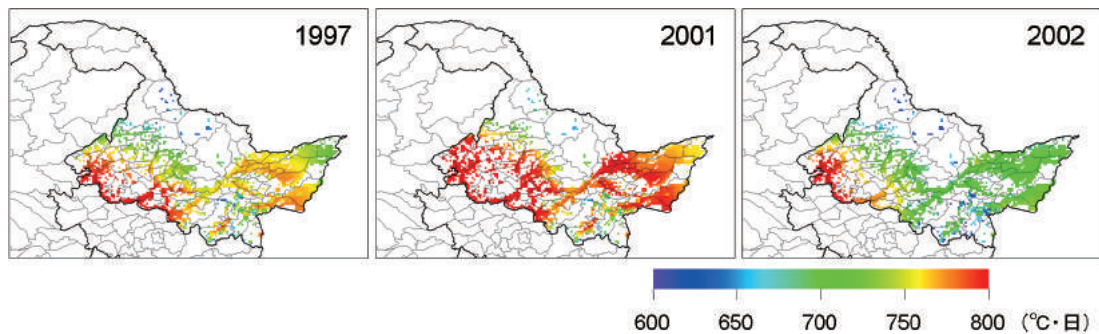


図4 遅延型冷害発生を目安となる、出穂日（8月5日と仮定）以後40日間の積算気温の分布（左：1997年、中：2001年、右：2002年）

図5に、障害型冷害発生を目安となる、出穂前危険期における日平均気温20℃を基準とした冷却量の分布を示す。冷却量は、日気温が20℃以下となる日の20℃からの差を積算した値であり、開花期の限界低温である20℃以下にどれだけ曝されたかを示す指標である。この値が大きいほど出穂前危険期に生殖障害の原因となるような低温に曝された時間が長いことを意味している。ここでは、出穂前危険期は平年の生育状況から7月20日から29日の10日間と仮定した。収量が低い2002年では、中央部から東部にかけて冷却量の大きい領域が認められる。この地域の水稲は、20℃以下の低温に長く曝されたことにより生殖障害が起こり不稔となった可能性が高く、収量の低下の一因となったと推察される。

図6は、出穂日（8月5日と仮定）以後40日間における日射量の積算値の分布を示したものである。出穂後の登熟期間における日射量は、光合成を通じて収量形成の原動力となることから、日射量の積算値が小さい地域では、稔実した籾に充填される炭水化物形成が少ないことが推定される。2002年については、中央部から東部にかけて、日射量の少ない領域が広範囲に広がっている。そのため、登熟期間における低日射により子実充実不足となったことが、同年の低収量の一因となったと推察される。一方、多収であった2001年については、全域において他の年次と比較して日射量が顕著に多いことがわかる。

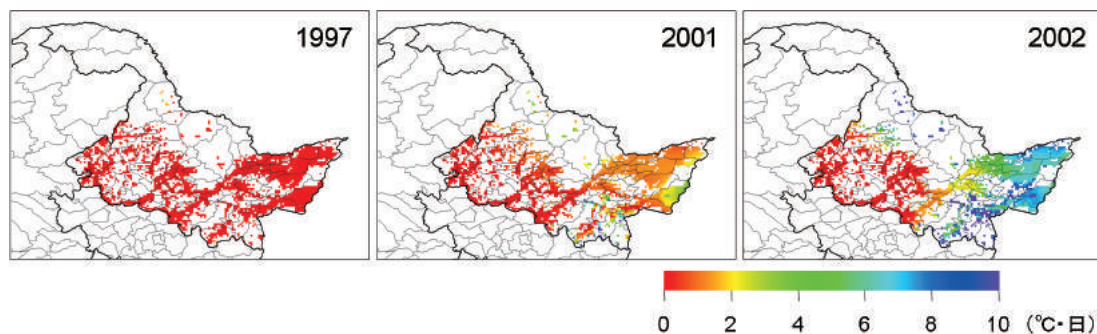


図5 障害型冷害発生の目安となる、危険期（7月20～29日と仮定）における日平均気温20℃以下の冷却量の分布（左：1997年、中：2001年、右：2002年）

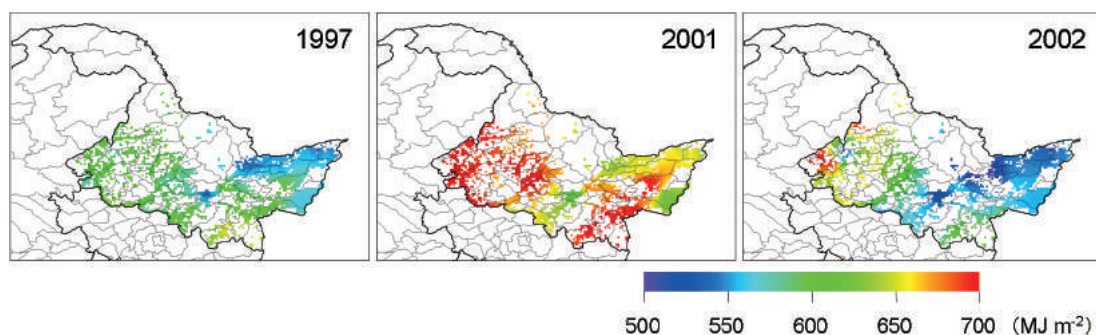


図6 出穂日（8月5日と仮定）以後40日間の積算日射量の分布（左：1997年、中：2001年、右：2002年）

#### 4 まとめ

課題実施担当機関である黒龍江省農業科学院耕作栽培研究所の調査結果から、2002年の収量低下は遅延型冷害と障害型冷害がともに発生し、また日照不足によることが原因であることが明らかになっている。また、被害が大きかった地域は東部三江平原であり、図4の積算気温が低い地域、図5の20℃以下の低温に曝された時間が長い地域、図6の日射量が小さい地域と一致している。このことから、上記のようなメッシュ気候・気象値を用いた解析は、これらの調査結果に定量的な傍証を与え、生育のモデル化に有益な情報を与えることが期待される。

#### 参考文献

- 1 New, M., D. Lister, M. Hulme and I. Makin, 2002. A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas, *Clim. Res.*, 22: 99-113.
- 2 Seino, H, 1993. An Estimation of Distribution of Meteorological Elements using GIS and AMeDAS Data, *J. Agric. Meteorol.*, 48(4): 379-383.

## Introduction to Advances in Climate Change Adaptation Research for Chinese Agriculture

Yinlong XU<sup>1\*</sup>, Dawei ZHENG<sup>2</sup>, Chunchun MENG<sup>1</sup>, Lei ZHANG<sup>1</sup>,  
Yasushi ISHIGOOKA<sup>3</sup>, Hsiaoping Chien<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China

<sup>2</sup>China Agricultural University, China

<sup>3</sup>National Institute for Agro-Environmental Sciences, Japan

<sup>4</sup>Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan

### Abstract

In this paper, we firstly introduced how to calibrate the high-resolution (~50km in horizon) climate scenarios of climate model's original outputs in China with mesh climatological database generated using the interpolation method of Moving Least Squares (MLS), then introduce how to identify the priority adaptation issues based on the risk assessment with the help of the calibrated high-resolution climate scenarios. The clarified agricultural adaptation issues address how to utilize the agro-climatic resources and agricultural water resources in the high-efficiency ways, how to adjust the strategy and measures to reduce the agro-meteorological and biological disasters, and moreover how to adjust the cropping systems, grassland and livestock systems, and the agricultural ecosystem in coherence with the altered climate conditions. Nine typical adaptation examples in China were selected for case studies to summarize the incremental and transformational adaptation pathways. The perspectives on the future adaptation actions in China are proposed, especially with the emphasis on the application of System Approach methodology to unearth the theoretical mechanism of agricultural adaptation to climate change, and how to formulate the guideline for the monitoring and evaluation of implementation of adaptation actions.

### Introduction

Anthropogenic climate change poses great threats to human beings, agriculture and natural ecosystems. While coping with human-induced climate change, measures should be taken not only on the level of mitigation but also on the level of adaptation. It is essential for us to understand the risks of future climate for trade-off decisions on mitigation and adaptation.

Greenhouse gases (GHGs) emission scenarios from the present to the end of the 21st century have been developed, typically as the GHGs emissions assumptions in the *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES)<sup>[1]</sup> and *Representative Concentration Pathways* (RCPs)<sup>[2]</sup>. Then the predicted atmospheric GHGs concentrations were fed into global climate models (GCMs) to project the future trends in climate change. These generated climate scenarios were adopted as input to the impact models to assess the risk to key sectors, e.g., climate change risks to agriculture. For the assessment of agricultural impacts of climate change, the resolution of the grid in the GCM model (on the scale of approximately hundreds of kilometers in horizon) is not precise enough to meet the requirements in regional and local levels. Downscaling techniques are employed to convert the GCM coarse resolution scenarios to a higher resolution. The PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies)<sup>[3]</sup> modeling system, which is developed in the UK Hadley Climate Centre, was introduced in China for dynamic downscaling. However, how capable it is for the PRECIS modeling system, there would be a bias between the simulation and the observed climate, causing uncertainties in the future impact assessments. In the following context, we firstly demonstrate how to use the mesh climatological database<sup>[4]</sup> to calibrate the model's simulation for the baseline (1961–1990) and how to apply the calibration methodology to future climate scenarios for future risk analysis in section 1, then introduce the research advances on the critical issues regarding China's agricultural adaptation to climate change based on the risk assessments in section 2, and finally discuss the shortcomings of the present agricultural adaptation research and what are the future trends in section 3.

### 1 Calibration of the Baseline Climate Simulation

The simulation domain for PRECIS has been demonstrated in reference [5]. All analyses regarding the risk assessment presented in this paper is based on climate scenarios under the SRES A1B GHGs emissions assumption. The bias of the original output of model simulation minus the observed climate is shown in Figure 1a and b. The bias in temperature simulation ranges from  $-3$  to  $3^{\circ}\text{C}$ , which could be nearly equal to the amplitude of global warming at the end of the 21st century in the RCP8.5 scenario<sup>[6]</sup>. Meanwhile, the bias of precipitation can reach  $-0.3$  mm/day to  $0.2$  mm/day, which means that the bias of annual precipitation could be  $\sim 100$  mm. If the original outputs of climate scenarios are applied directly to the crop model, big deviations would be caused for the agricultural impacts assessment. Calibrated climate scenarios in Figure 2a and 2b indicate that the bias is greatly reduced.

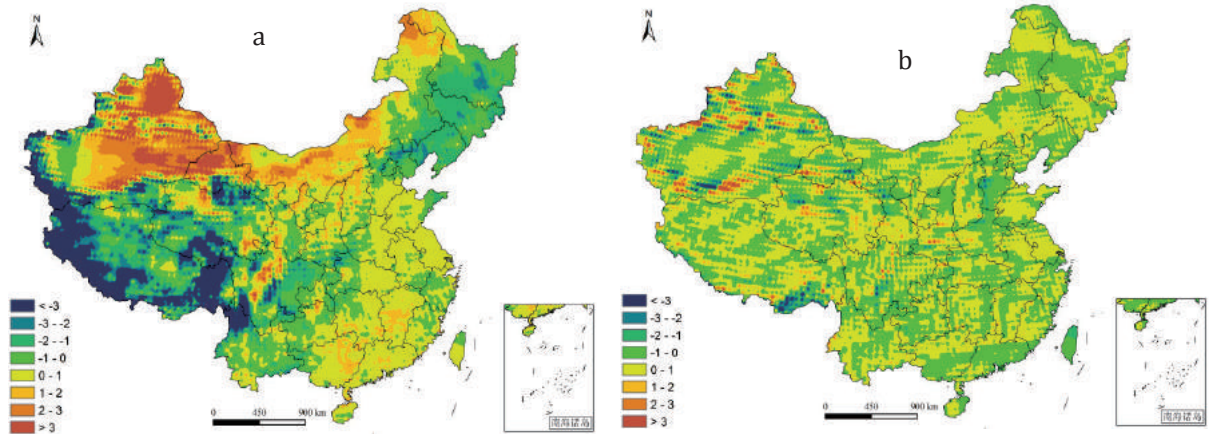


Figure 1 Comparison of the model's original outputs and the calibrated results for temperature (a) the bias of original model's outputs of temperature minus the observed values in baseline period (1961-1990); (b) calibrated model's outputs of temperature with MLS-generated mesh climatological datasets minus the observed values in baseline (Unit:  $^{\circ}\text{C}$ )

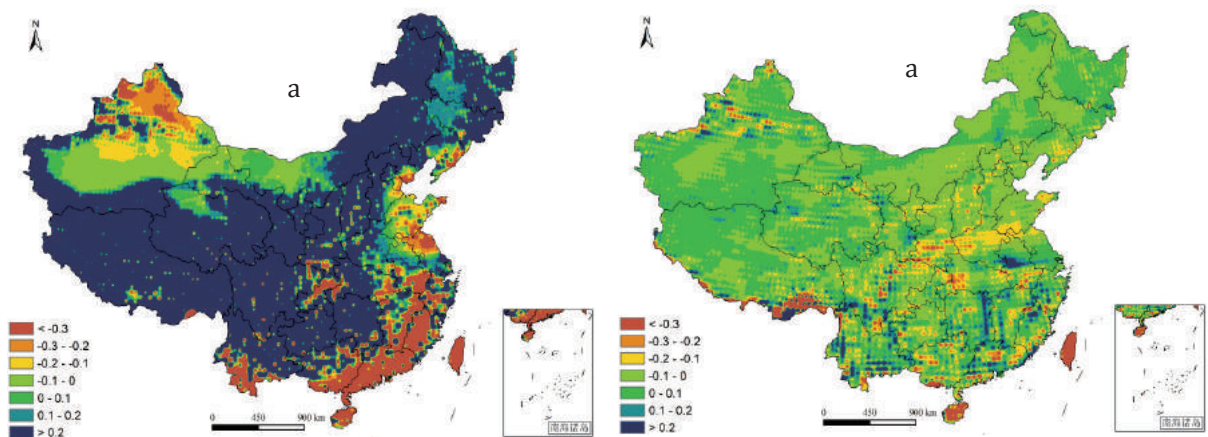


Figure 2 Comparison of the model's original outputs and the calibrated results for precipitation (a) the bias of original model's outputs of precipitation minus the observed values in baseline period of 1961-1990; (b) calibrated model's outputs of precipitation with MLS-generated mesh climatological datasets minus the observed values in baseline (Unit: mm/day)

## 2 Priority Adaptation Issues in Agriculture

The calibrated climate scenarios were adopted for agricultural risk assessment of future climate change. Adaptation issues were clarified based on the risk mapping. Systematic analyses had been done in China to identify the priority adaptation issues in agriculture. This section summarizes the advances in the layers of background, utilization of agro-climatic resources and agricultural water resources, reduction of agro-meteorological disasters and biological disasters, adjustments of cropping systems and grassland & livestock as well as agricultural ecosystem, and the case studies and perspectives on future work <sup>[7]</sup>.

### **Background**

Changes in the average trend and extreme climate events were initially analyzed based on the recorded climate in the past decades and projections of future climate until the end of the 21st century under GHGs emission scenarios, then the impacts of climate change on Chinese agriculture is estimated for the bio-physical component. Subsequently, the present vulnerability and future risks of Chinese agriculture to climate change considering the socio-economic factors were assessed, and the effects of the adopted adaptation measures for reducing the vulnerability and risks were evaluated. Moreover, future challenges and potential opportunities for Chinese agriculture to adapt to climate change were envisaged.

### **Utilization of Agro-climatic Resources**

First, the features of China's agro-climatic resources under climate change were summarized, including heat, radiation, and water resources. Changes in the productive potential of main crops under climate change in different areas were assessed, especially focusing on changes in the multi-cropping index, suitable planting boundaries of winter wheat, double and triple rice, summer maize, and tropical crops.

### **Agricultural Water Resources**

Impacts of climate change on China's agricultural water resources can be sorted into direct and indirect impacts. Direct impact occurs due to changes in climatic factors, while the indirect impact is quite complex, involving the freshwater ecosystem, management, technology, and the regionalized distribution as well as the interaction with the crop layouts. All these factors were put together to clarify the priority adaptation issues for agricultural water resources.

### **Agro-meteorological Disasters**

The frequency, intensity, and damage extent of agro-meteorological disasters were presented with new features due to the enhanced occurrence of extreme climate events and unreasonable human actions along with the development of social economy. The principle

for clarifying the priority adaptation issues is combining the factors of crop, climate and human activities together, and always adjusting the disaster reduction countermeasures according to the new features of agro-meteorological disasters.

#### **Agricultural Diseases, Pests and Weeds**

Many new features in crop disease, pests and weeds arise from climate change. These include the following: advances in initial and outbreak periods of disease and pest, increased number, generations and extended range of pests, prolonged damage periods and increased damage areas, aggravated harm degrees due to the outbreak of the former less important diseases, pests, and weeds, etc. Besides the use of pesticides, monitoring, planning, and controlling the biological invasion, and other biological measures should be considered in the comprehensive adaptation actions.

#### **Adjustment of Cropping System Structure**

According to the definition in the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) report, adaptation is a process of adjustment to actual or expected climate and its effects [8]. Adjustment of the cropping system structure is an essential component for Chinese agriculture to adapt to the climate change, but it is also a quite complex issue. We simplified our summary of the issues to include the following: increase in cropping index, changes in intercropping and proportions for cropping patterns, northward expansion and transformation of layout for crop planting, and adoption of late-matured, stress-resistant (drought, chill, heat waves, etc.) crop varieties for the crop variety layout.

#### **Grassland and Livestock**

The adaptation should address the following factors: changes in the phenophase of grassland, reduction of biomass, loss of grassland biodiversity, direct impacts of climatic variables on livestock, desertification of grassland, snow disasters and chilling damage, drought, cold rains in spring, grassland fires, pests, rodents, and harmful weeds, etc. Specific adaptive features in China were highlighted for off-site fattening of livestock, and combination of farming and animal husbandry in the agriculture-pasture eco-tone.

#### **Agro-ecosystem**

The challenges facing adaptation of the agricultural ecosystem include the following: alteration of nutrients of cereal food due to the elevated CO<sub>2</sub> concentration, impacts on food production and quality due to soil and water deterioration, changes in the temporal and spatial distribution and structure of the agricultural ecosystem, enhanced soil erosion, desertification, agricultural pollution, and loss of agricultural biodiversity.

### **Case Studies**

Typical examples of autonomous adaptation actions already accomplished in China were selected for case studies. These include frost prevention for winter wheat and water-preservation in North China Plain, adjustment of the crop varieties layout in Northeast China, rain harvesting for drought-resistant crop planting in the Loess Plateau, shift of cotton production from North China Plain to Xinjiang, selenium sand melon planting in Ningxia in Northwest China, adjustment of planting structures in the hilly region of Sichuan Province in Southwest China, agricultural development in Tibet River Valley, and northward expansion of tropical crops. Based on these case studies, the features and criteria for incremental and transformational adaptation actions were summarized.

### **Perspectives on Agricultural Adaptation**

Summarizing the abovementioned analyses, a list of priority adaptation issues of Chinese agriculture was formulated, and the putative bottleneck is proposed to be the theoretical mechanism for undertaking of the effective adaptation actions. Therefore, a systematic adaptation methodology should proceed to lead theoretical innovation, and then provide guidelines for the monitoring and evaluation of adaptation actions. Methods for strengthening the decision-making for adaptation and enhancing the risk management for agricultural adaptation are also proposed.

### **3 Discussion and Looking Forward**

In the present paper, advances in agricultural adaptation research are introduced. An initial step for the work is risk assessment, which is based on the simulated high-resolution climate scenarios with calibration using the mesh climatological database generated with the MLS method. Our work mainly focuses on cereal crops, grassland and livestock, and agro-ecosystems. We propose for the priority adaptation issues mainly to address the following aspects: utilization of agro-climatic resources and agricultural water resources, reduction of agro-meteorological and biological disasters, adjustments of cropping systems, grassland and livestock, agricultural ecosystem. The work still lacks in terms of analysis of cash crop, horticulture, aquaculture, agricultural eco-services such as eco-tour, and the tertiary industry for market, insurance, food processing, storage, transportation, and consumption. The research is also needed to strengthen on the evaluation of the cost-effectiveness of adaptation measures, and subsequently to promote wider and more effective adaptation actions for Chinese agriculture.

## References

- 1 Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., et al. (2000) *Special report on emissions scenarios: A special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change*. New York: Cambridge University Press, pp. 1-599.
- 2 Taylor K. E., Stouffer R. J., Meehl G. A. (2011) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull Amer Meteor Soc.*, 93 pp. 485-498.
- 3 Jones R. G., Noguer M., Hassell D. C., et al. (2004) Generating high resolution climate change scenarios using *PRECIS [M]*. U. K. Met office Hadley Centre. pp. 59.
- 4 Xu, Y., Y. Fu, Y. Zhang, Y. Zi (2006a) Generating a High-resolution Mesh Climatological Database with Ground-based Observations in China. *In: Proceedings of the Workshop on Japan-China Collaborative Research Project: Development of Early-Warning Systems for Mitigating the Risk Caused by Climate Disasters through Technical Enhancement of Resource Monitoring and Crop-Mode Simulation. JIRCAS Working Report No. 50, ISSN 1341-710X, pp. 69-73.*
- 5 Xu Y., Zhang Y., Lin E., et al. (2006b) Analyses on the climate change responses over China under SRES B2 Scenario using PRECIS. *Chin. Sci. Bull.* 51 (18) pp. 2260-2267.
- 6 IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1535.
- 7 Xu Y., Zheng D., Liu X., et al. (2014) *Studies on Critical Issues of Agricultural Adaptation to Climate Change in China* (in Chinese). China Meteorological Press. Beijing. pp. 198.
- 8 IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y.O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.1132.

## Sino-Japanese collaborations benefit China's crop monitoring system

Wu Wenbin<sup>1</sup>, Zhou Qingbo<sup>1</sup>, Yang Peng<sup>1</sup>, Liu Jia<sup>1</sup>, Chen Youqi<sup>1</sup>, Zou Jinqiu<sup>1</sup>, Shi Zhongchao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China

<sup>2</sup> Department of Restoration Ecology and Built Environment, Faculty of Environmental Studies, Tokyo City University, Japan

### Abstract

Remotely sensed data has played an important role in agricultural monitoring across space and time. This paper reviews ten years of collaboration studies in agricultural remote sensing between IARRP and JIRCAS. This successful collaboration has made great contributions to the development of China Agricultural Remote Sensing Monitoring System (CHARMS) with the support of the Chinese Ministry of Agriculture. The monitoring system has been in operation and running since 2002. To date, CHARMS has been applied for mapping of crop planting areas, monitoring of crop growth, estimation of crop yields, monitoring of natural disasters, supporting of precision and facility agriculture. However, the CHARMS system is still confronted with great challenges. Advancing algorithms of agronomic parameters and soil quality for satellite data are favored in future research, especially to improve the performance of remote sensing monitoring in the fragmented landscapes. In addition, the thematic series of products in terms of land cover, crop allocation, crop growth and production are required to be addressed in association with other data sources at multiple spatial scales.

### 1 Overview of IARRP-JIRCAS collaborations in agricultural remote sensing

Information on crop acreage, spatial distribution, and growth conditions is critical for governments at multiple levels to make decisions so as to ensure national food security, particularly for countries like China with a large population and limited land resources (Shi *et al.* 2014). Since 1972, when the first Landsat satellite launched, remote sensing has been developing rapidly and has been widely used to collect agriculture and agronomy information over time and space. Based on this information, stakeholders can spatially identify the areas with large variations in production and productivity and make appropriate decisions in response to these changes (Atzberger 2013; Tang *et al.* 2015).

The application of remote sensing technology in China started in the field of geology with very obvious social and economic benefits, which subsequently drove its application to other fields. In the late 1980s, due to the urgent demand from the agricultural sector and the advancement of remote sensing technology, satellite images were used by some agricultural scientists for resource surveys, production estimation and disaster monitoring. At that time, technology innovation, model construction and system development largely lagged behind the application needs. It was critical to

develop the monitoring methodology as well to improve the research capacity through joint research and talents training. With this goal, the Institute of Agricultural Resources and Regional Planning (IARRP), Chinese Academy of Agricultural Sciences, and Japan International Research Center for Agricultural Sciences initiated their collaborative research in 1999. The ten-year long collaboration comprised two stages: 1999–2003 and 2004–2008. The aim of the first collaboration period was to develop a method for monitoring major crops in China using remote sensing and geographic information system (GIS) technology. The second period built on the research of the first stage and expanded to develop the method for agro-environmental assessment. In both stages, there was frequent staff exchange between IARRP and JIACAS. Several symposiums were also co-organized. This close collaboration has generated several books, proceedings and journal articles. There was no doubt that the IARRP-JIRCAS collaboration in agricultural remote sensing would definitely contribute to the development of the agricultural monitoring system and provide strong spatial data support for the agriculture sector.

## 2 Development of crop monitoring system and its application

Crops in China are grown in complex and diverse landscapes and commonly mixed with other vegetation. Based on IARRP-JIRCAS collaboration achievements, the IARRP established the China Agricultural Remote Sensing Monitoring System (CHARMS) in 1998 with the support of the Agriculture Remote Sensing Application Center of the Ministry of Agriculture to effectively and efficiently monitor crop conditions at a regional level by combining remote sensors, in situ observation stations, and wireless sensor networks (Tang *et al.* 2010). Using data generated by this system, discriminative crop diagnostic techniques incorporating complex quantitative inversion algorithms were developed and deployed nationwide to gather data on major crop and agro-environmental variables for assessment and analysis. The system has been in operation since 2002, providing rapid and reliable agricultural information to support important decisions regarding the management of crops throughout China. However, foreign satellite data has been the main source for CHARMS since its establishment, resulting in huge costs for the long-term domestic application. The launch of the China GF series satellite in 2013 enabled the substitution of foreign satellite data with Chinese satellite data for CHARMS. GF satellite data gradually became the essential data source owing to its superb spatial resolution, scanning width and revisit period in agricultural remote sensing monitoring.

### 1) Crop distribution mapping

Monitoring of crop distribution and planting areas is the basic task in CHARMS (Hu *et al.* 2015). Three different levels of requirements exist for the monitoring of crop planting areas using high-resolution data: crop inventory survey for the entire country, monitoring of the dynamic changes in the crop area in the entire country, and early identification of the crop area for crop growth monitoring. The time and accuracy required for monitoring of these three aspects are different. The crop inventory survey requires the satellite data to spatially cover the entire crop cultivation area or at least the main

crop production area. In terms of the time requirement, there needs to be at least one-time phase in the crop growing season during which the target crop can be identified. The current minimum mapping unit is approximately  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ , which cannot meet the requirements when satellite data are used to monitor the area in South China where plots are fragmented (Liu *et al.* 2014). The highest requirement for dynamic monitoring of the crop area in the entire country is full coverage, which cannot be satisfied in most cases. The frame of spatial sampling is used to randomly select the satellite images for the targeted region, and then the extrapolation method is performed to obtain information on the target crop in entire monitoring areas. Regardless of the method used, it is necessary to obtain images of the same coverage area in two periods – the current year and the previous year – so as to calculate the dynamic changes in the area (whether the area increases or decreases). The minimum mapping unit for this aspect is also approximately  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ . This likewise cannot meet the requirements when satellite data are used to monitor areas in China with a complex planting structure (e.g., areas where crops are sown with drills, different types of crops are sown together, and plots are fragmented). Monitoring the crop growth conditions requires early identification of the crop area; the information related to the crop spatial distribution should generally be obtained within one month of sprouting. The current minimum mapping unit is approximately  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$  (Peng *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2015).

The 2 m/8 m resolution data collected by the GF-1 satellite can be used to perform crop inventory survey and dynamic monitoring of crop acreage in the entire country. If a revisit cycle of 42 days and the duration of the growth period of early rice (100 days, the shortest among the crops) are used for the calculation, 2.5 relevant periods of data can be collected. After removing the invalid data due to cloud coverage and the early and late periods of the crop, at least one period of data collection within the growth period of early rice can be acquired. If the duration of the growth period of winter wheat (240 days, the longest among the crops) is used for the calculation, six periods of data collection can be acquired. After removing the invalid data (e.g., cloud cover data and the data collected during the early (the sowing period), middle (the wintering period), and late periods, during which it is difficult to distinguish winter wheat from other crops), at least two periods of data collection can be acquired. Furthermore, the 16 m resolution data collected by the GF-1 satellite can be used to perform early identification of the crop area (Wang *et al.* 2015). The 16 m resolution data have a revisit cycle of 5 days. If this revisit cycle is used for the calculation, nine periods of early-period data collection of the crop can be acquired. After removing the invalid data (e.g., the data collected during the period after sowing and before sprouting, during which the crop cannot be identified, as well as the cloud cover data, etc.), two to three periods of early-period data collection of the crop can be acquired. These data are expected to be able to meet the requirements for monitoring the crop growth conditions and for performing early identification of the crop area.

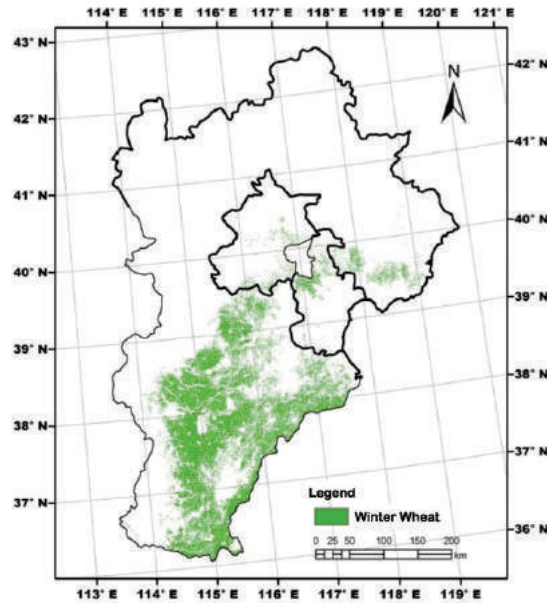


Fig. 1 Extraction of plating areas of winter wheat in Jing-Jin-Ji region in 2014 using GF-1 16 m data

## 2) Crop growth monitoring

Currently, the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data are used as the data source for monitoring crop growth conditions in CHARMS (Zhou *et al.* 2005). Acquisition is conducted once every 14 days for all of China, with the spatial resolution of 250 m. A total of nine crops are routinely monitored, including winter wheat, spring wheat, summer maize, spring maize, early rice, late rice, one-season rice, soybeans, and cotton. The main shortcoming is that the monitoring period is relatively long. The correlation between the growth condition index and crop yield needs to be improved, the number of economic and sugar crops that are monitored needs to be increased, and a higher accuracy of the early crop identification needs to be achieved (Huang *et al.* 2010). It is expected that these gaps may be eliminated or mitigated when the EOS/MODIS data are replaced by the 16 m GF-1 data for crop growth monitoring. The monitoring temporal frequency can be shortened from 14 days to 10 days and the accuracy of the early identification of crops can reach 16 m, which is an obvious improvement in comparison with existing resolution of 25

0 m. In addition, the observation capability of growth sensitivity of different crops also increases. Consequently, the accuracy of the growth condition index and the correlation between crop growth and crop yield can be increased. With improvement of the spatial resolution and spectral sensitivity, the capacity to identify economic crops (e.g., peanuts, rapeseed, etc.) and sugar crops (e.g., sugar cane, etc.) is also improved, which in turn makes it possible to monitor the growth conditions of these crops.

## 3) Natural disasters monitoring

Several types of natural disasters including droughts, floods, accumulated snow, diseases and pests frequently occur in China's agricultural sector. Currently, the routine operational monitoring of

droughts, floods and accumulated snow are in effect, but the real-time emergency monitoring services are not being conducted. The monitoring of plant diseases, pests and freezing is still in the research stage and has not been put into operation. The GF satellite can be used to partially solve the issues with disaster monitoring. The increase in spatial resolution of GF-1 visible bands is significantly useful for improving the accuracy of drought index and water bodies identification, such that the accuracy of monitoring droughts and floods can be improved. Moreover, the 16 m resolution data also helps deliver an early accurate identification of crop areas, which makes it consequently possible to perform a precise evaluation on the affected area and production loss caused by droughts and floods in small regions. For snow disasters, however, due to the lack of a 1.63 – 1.65  $\mu\text{m}$  snow-sensitive channel, the snow monitoring capacity of the GF-1 satellite will not be significantly improved. It can be used to evaluate the snow-affected area over a small region. Similar to the snow disaster case, the monitoring capacity of the GF-1 satellite for plant diseases, pests, and freezing will not be significantly improved due to the lack of an accumulation of multi-year data and sensitive bands, although it will be possible to use these data to evaluate the affected area in a small region based on information on the level of impact of the disaster.

#### 4) Crop yield estimation

Remote-sensing based crop yield estimation in CHARMS is normally conducted with two different methods: a statistical model based on vegetation indexes such as NDVI and EVI, and a mechanism model based on the photosynthetic efficiency of crops (Yang *et al.* 2008). The former method can be completely replaced by the GF-1 data, which can facilitate to obtain a good yield index that is consistent with the crop growth conditions. Nevertheless, the vegetation index-based model has a relatively poor stability and applicability when it is used to monitor crop yields in different areas at different growth times. Therefore, it is necessary to modify the model based on the time and location at which it is used to monitor the crop yield. The mechanism model based on photosynthetic efficiency needs to use remote sensing data to calculate numerous parameters such as the photosynthetically active radiation (PAR), net primary productivity (NPP), fraction of PAR (fPAR), and ratio of the dry weight of the yield to the dry weight of the crop. Although this model can best illustrate the effects of crop growth conditions on yields at different growth stages, it is only used to monitor the crop yield in some provinces and regions due to its relatively large number of parameters (Huang *et al.* 2015). As the GF-1 satellite cannot provide data for calculating the PAR due to its current spectral band settings, other satellite data has to be included. Therefore, the GF-1 satellite data can only be partially used in this crop yield model.

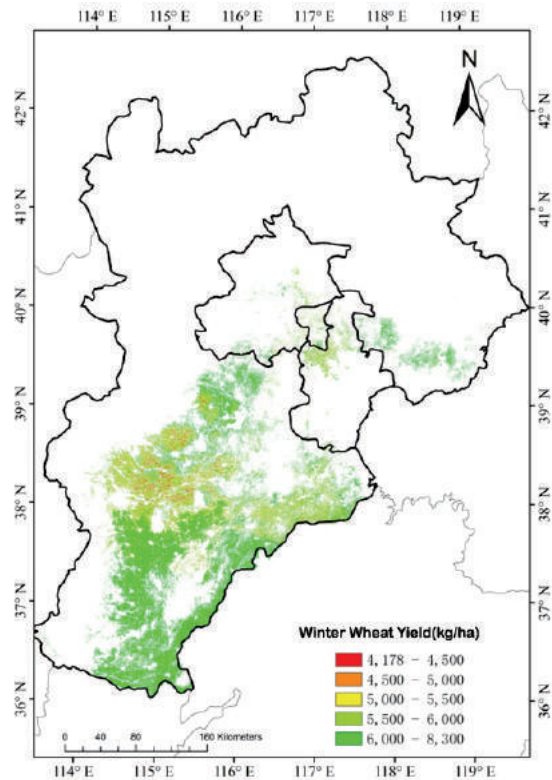


Fig. 2 Estimation of winter wheat yields in Jing-Jin-Ji region in 2014 using GF-1 16 m data

### 3 Conclusion

Requirements for objective information will largely increase in the future due to expected changes in the agricultural sector. Agricultural remote sensing monitoring systems should thus be able to provide timely information on crop production, growth status and yield over large areas and at low costs. Such information needs to be provided as early as possible during the growing season and updated periodically throughout the season until harvest. However, some great challenges remain to be addressed in crop monitoring by using remote sensing at regional levels. For instance, crop area extraction is the main application field of remote sensing agriculture monitoring, yet the classification methods are still to be fully investigated (Qiu *et al.* 2015; Waldner *et al.* 2015). The algorithms of agronomic parameters related to crop growth conditions and soil moisture content are still lacking, which is the research focus of the future application of remote sensing in agriculture (Potgieter *et al.* 2013). The remote sensing data, when combined with ground measurement data, can be used to monitor the nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, etc.) in farmland soil as well as the spatial variation of crop growth conditions, which can support the management of precision agricultural production. Moreover, with the increase in spatial resolution, accurate estimation of crop yields in small areas will become an important application of remote sensing data. Remote sensing can help analyze yield gaps and monitor related agricultural practices. However, simple vegetation index (VI) -based approaches are often not sufficient as they can be used only for a specific area, and the crop growth model also

contains some uncertainty in parameterization and calibration. The integration of individual models seems to be the future development trend as well as a great challenge in crop yield estimation using remote sensing data (Huang *et al.* 2015). All of these features require more in-depth and innovative studies so as to build a consolidated base for the operational monitoring systems for diverse decision making.

## References

- 1 Atzberger C. (2013) Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, 5, 949-981.
- 2 Huang J, Ma H, Su W, Zhang X, Huang Y, Fan J, Wu W. (2015) Jointly Assimilating MODIS LAI and ET Products Into the SWAP Model for Winter Wheat Yield Estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8, 4060-4071.
- 3 Huang J, Tian L, Liang S, Ma H, Becker-Reshef I, Huang Y, Su W, Zhang X, Zhu D, Wu W. (2015) Improving winter wheat yield estimation by assimilation of the leaf area index from Landsat TM and MODIS data into the WOFOST model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204, 106-121.
- 4 Huang Q, Tang H, Zhou Q, Wu W, Wang L, Zhang L. (2010) Remote-sensing based monitoring of planting structure and growth condition of major crops in Northeast China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 218-223 (in Chinese).
- 5 Hu Q, Wu W, Song Q, Yu Q, Yang P, Tang H. (2015) Recent progresses in research of crop patterns mapping by using remote sensing. *Scientia Agricultura Sinica*, 48, 1900-1914 (in Chinese).
- 6 Liu K, Liu S, Lu Z, Song Q, Liu Y, Zhang D, Wu W. (2014) Extraction on cropping structure based high spatial resolution remote sensing data. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 35, 21-26 (in Chinese).
- 7 Peng D, Huete A, Huang J, Wang F, Sun H. (2011) Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 13-23.
- 8 Potgieter A.B, Lawson K, Huete A.R. (2013) Determining crop acreage estimates for specific winter crops using shape attributes from sequential MODIS imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, 254-263.
- 9 Qiu B, Li W, Tang Z, Chen C, Qi W. (2015) Mapping paddy rice areas based on vegetation phenology and surface moisture conditions. *Ecological Indicators*, 56, 79-86.
- 10 Shi Y, Ji S, Shao X, Tang H, Wu W, Yang P, Zhang Y, Shibasaki R. (2014) Framework of SAGI agriculture remote sensing and its perspectives in supporting national food security. *Journal of Integrative Agriculture*, 13, 1443-1450.
- 11 Tang H, Wu W, Yang P, Zhou Q, Chen Z. (2010) Recent progresses in monitoring crop spatial

- patterns by using remote sensing technologies. *Scientia Agricultura Sinica*, 43, 2879-2888 (in Chinese).
- 12 Tang H, Wu W, Yu Q, Xia T, Yang P, Li Z. (2015) Key research priorities for agricultural land system studies. *Scientia Agricultura Sinica*, 48, 900-910 (in Chinese).
  - 13 Waldner F, Sepulcre Canto G, Defourny P. (2015) Automated annual cropland mapping using knowledge-based temporal features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 110, 1-13.
  - 14 Wang L, Liu J, Yang F, Fu C, Teng F, Gao J. (2015) Early recognition of winter wheat area based on GF-1 satellite. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31, 194-201 (in Chinese).
  - 15 Yang P, Wu W, Zhou Q, Zha Y. (2008) Research progress in crop yield estimation model based on spectral reflectance data. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 24, 262-268 (in Chinese).
  - 16 Zhang G, Xiao X, Dong J, Kou W, Jin C, Qin Y, Zhou Y, Wang J, Angelo Menarguez M, Biradar C. (2015) Mapping paddy rice planting areas through time series analysis of MODIS land surface temperature and vegetation index data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 106, 157-171.
  - 17 Zhou Q, Liu J, Wang L, Deng H. (2005) Current situation and prospect analysis of the application of EOS-MODIS satellite data in Agriculture. *Journal of Library and Information Sciences in Agriculture*, 17, 202-205 (in Chinese).

## 衛星データを用いた土地利用に関する研究 －中国農業科学院農業資源与農業区画研との共同研究－

内田 諭

JIRCAS

### Abstract

Technology of observing ground surface features using satellite borne sensors has been rapidly developed since 1970s for public purposes. Characterization of state of land use especially agricultural land use is one of expected target of application because it might be difficult to obtain reliable information for wide area by only ground level survey. Under this circumstance, Institute of Natural Resources and Regional Planning (INRRP) of Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS) and JIRCAS started the collaborative research project adopting this technology in 1998 and continued until 2008. During the period, it was objected to develop a method to estimate sown area of staple crops in major producing areas, i.e. winter wheat in the Huang-Huai-Hai Plain and rice in the Heilongjiang Province. In either case study, it was revealed that high temporal resolution satellite data with wide spatial coverage was capable to monitor the sown area with considerable accuracy by means of introducing sub-pixel estimation techniques. The project also contributed the capacity building for young researchers of INRRP, who presently become leading researchers of this field in China, by providing opportunity to study in Japan.

### 1 はじめに

土地利用は、特定の地点では変化がほとんどない場合もあるが、広がりを持った空間の中の事象として捉えると、時間と共に変化していることが一般的である。農業的土地利用という観点から見ると、ある作物の作付域は年々変化するが、こうした状況を把握することにより、土地・水等の資源が持続性を持って利用されているか、また、食料生産が需要に応じたものであるか、等を分析することができる。一方で、土地利用の状況は空間的に不均質であり、地上での計測や観察により広域をカバーすることには限界がある。そこで、地球観測衛星データを活用することが作付把握の手段の1つとして考えられるようになった。ことに、食料作物の一大生産・消費国である中国においては、この技術に対する期待は大きく、中国農業科学院においても、1990年代に衛星データの活用を推進する機運がある中で、国際農研との共同研究の枠組みの中に当該技術を利用した課題が設定された。筆者は、国際農研側の担当者として共同研究に携わったが、本稿において共同研究の概要と成果について紹介する。また、成果の一部については、参考文献に示された書籍として公表した。

### 2 共同研究の概要

国際農研と中国研究機関との間の共同研究について、以前は個別のテーマ毎に取り組んで

いたものが、多分野の研究者が参画して包括的な目的を持つ総合プロの形式を取ることとなり、1998年より総合プロ「中国における主要食料資源の持続的生産及び高度利用技術の開発」が開始された。当プロの1課題として、「地理情報システムを用いた農業環境変動の評価技術の開発」が設定され、筆者が担当することとなった。本課題では、衛星リモートセンシングデータを活用した主要作物の作付分布とその変動を広域的に把握するための技術開発を目指した。プロジェクト開始時、中国農業科学院において、農業資源与農業区間研究所（区画研）を中心に衛星情報や地理情報の農業分野への活用、特に主要作物の作付・生産の実態を把握するための研究開発の環境整備が進められている最中にあり、研究者の外国への留学、若手研究員の採用、衛星受信システムの導入等が行われていた。

当期プロジェクトでは、対象として黄淮海平原における冬小麦作付を選定した。黄淮海平原の北部には北京が含まれるが、同地域では冬小麦と夏作のトウモロコシの組合せが代表的作付パターンである。小麦は、中国において最も重要な食用作物の1つである一方、作付されている地域では都市化等の影響による土地利用転換や水不足による作付面積への影響が認められたが、年々の作付・生産動向を客観的かつ迅速に把握する手段が当時は確立されていなかった。そこで、衛星データを活用した技術開発が期待される中、本プロジェクトでは、冬小麦作付域の判別手法や多時期のデータを用いた土地利用動態の解析手法の開発を行うこととなった。

上述プロジェクトは2003年に終了したが、引き続き2004年より総合プロ「中国食料の生産と市場の変動に対応する安定供給システムの開発」が開始され、この中で衛星データ利用技術の高度化を図る課題を区画研と共同で取り組むこととなった。当プロジェクトでは、前期開発技術をさらに進めるとともに、対象を黒竜江省における水稻作付に拡張した。黒竜江省は水稻栽培の北限に当たる冷涼な気象条件下であり、冷害の発生の危険度が高いものの、良質米の産地として近年水稻栽培面積を拡大してきた地域であった。プロジェクト全体としては、冷害に対する早期警戒に資するシステムを開発することが目的とされていたが、その中で基盤となる水稻作付地の空間的な分布と経年変化に関する情報が必要であり、そのための衛星データを活用した技術開発を行うこととなった。

両期を通じた共同研究の実施に当たり、若手研究員の能力開発が重点的活動項目の1つとなったため、関連するワークショップの開催、若手研究員の日本への招へい等を実施した。表1は、共同研究員招へい事業により日本に招へいした若手研究員とその研究課題を記したものである。招へい期間中、国内学会への参加、また、他招へい研究員・国内関係研究者等との交流を行い、研究能力の向上に加え、研究ネットワークの進展につながる活動となった。

表1 共同研究員招へい実績

共同研究員名	期間	研究課題
Liu Jia	Jul.22 - Oct.19, 1999	Land Use/Cover Change Analysis in the Suburban Agricultural Area of Beijing Using Multi-temporal Landsat TM Data and GIS
Chen Zhongxin	Sep.4 - Dec.1, 2000	Estimating Winter Wheat Acreage Using Remotely Sensed Imagery with Sub-pixel Classification Algorithm

Yang Peng	Sep.26 - Dec.8, 2001	The Use of Linear Spectral Unmixing Model for Improving Estimation Accuracy of Winter Wheat Acreage
Wu Wenbin	Aug.8 - Oct.28, 2005	Study on Winter Wheat Sown Area Change Detection Using Multi-temporal NDVI Data Derived from Landsat TM Images
Zou Jinqiu	Oct.24 - Dec.21, 2005	Study on the Method of Extracting Winter Wheat Sown Area with Terra/MODIS and its Accuracy Analysis
He Yingbin	Sep.25 - Dec.15, 2006	Study on Effect of Cold Damage on Rice Yield Based on TERRA/MODIS and TM

### 3 衛星データを活用した主要作物作付状況把握技術の開発

#### 1) 黄淮海平原における冬小麦作付

黄淮海平原とは、中国華北地域に広がる沖積平野であり、食料作物の一大生産地帯となっており、ここでは、晩秋に播種し春季の後半に収穫する冬小麦と夏季に作付けられるトウモロコシの二毛作が一般的である。小麦は、中国において食料作物として重要な作物であるが、黄淮海平原では近年都市的土地利用の拡大や水不足による耕作制限等の事情により、作付面積は変化してきている。そこで、空間分解能が 30m である Landsat/TM/ETM+ データから冬小麦作付域の判別が可能であるか、地表被覆状況の通年の変化を調べたところ、4 月から 5 月の間では冬小麦による植生活動が他の土地利用に比べて顕著に活発であり、この時期のデータによる土地被覆分類によって冬小麦作付域を容易に抽出できることが判明した。

作付面積精度の検証のため、北京市順義区における冬小麦作付域の区全体に対する面積率を統計値と比較したものが図 1 である。統計値では、1995 年から 1999 年の間の変化がないが、これは前年の値を引用している可能性があり、観測時点で即時に結果が得られることを含めて衛星データ活用の有効性が認められた。また、複数年次の衛星データ情報を重ね合わせることで、作付域の変化を詳細に捉えることも可能であった。図 2 は、2000 年、

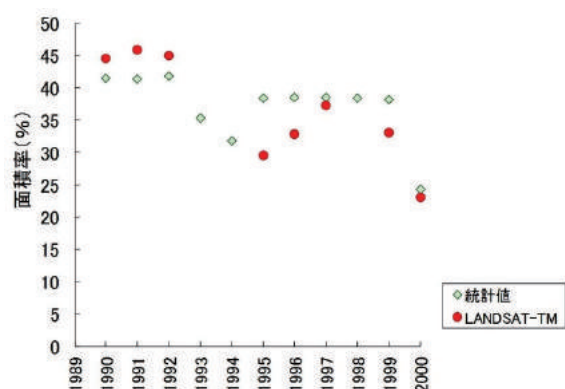


図 1 衛星から得られた冬小麦作付面積率と統計値との比較（北京市順義区）

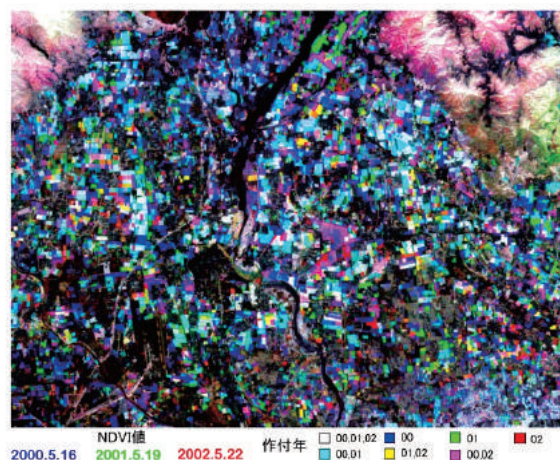


図 2 多年次植生指数カラー合成図による順義区における冬小麦作付域の変化

2001 年、2002 年の植生指数をカラー合成した画像である。この間に冬小麦作付域が大きく減少したが、図中水色が 2001 年から非作付地、青色が 2002 年から非作付地となった圃場であり、区内全域においてこの間に作付域が縮小してきた状況が明瞭に示された。

上記の Landsat データによる解析では、1 筆毎の作付状況を捉えることが可能であったが、黄淮海平原のような広域を対象とした場合には、最適な時期のデータが得られないといったデータの欠損が発生する。そこで、空間分解能が約 1 km と粗くなるが、観測幅が広く高頻度で観測する NOAA/AVHRR データを用い、5 月中旬と 6 月中旬の 2 時点の植生指数値の変化から画素内冬小麦作付面積率を広域に隙間なく推定する手法を開発した。

図 3 は、県区別の冬小麦作付面積率を表したものである。作付面積率が高い県区が Y 字状に存在するが、分岐より北部の西側の部分は平野上部の山麓地帯、東側の部分は黄河左岸に当たり、いずれも地下水が豊富な栽培適地であるが、これらの間には不適地が存在していることが明瞭に示された。図 4 は、作付面積率と 1998 年から 2003 年の間の変化傾向から類型化したものであるが、適地の周辺部や大都市近郊で減少傾向が強かった地域があることが判る。また、前述の順義区は、減少傾向が顕著な類型であったことが確認できた。

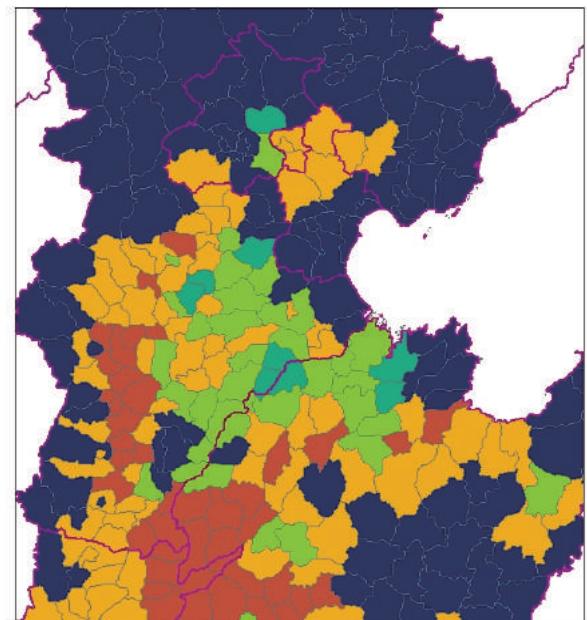
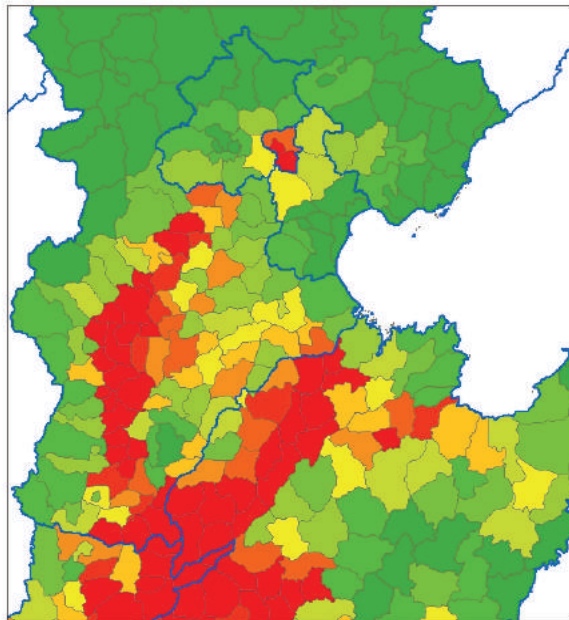


図 3 衛星データによる黄淮海平原における冬小麦作付面積率分布（県区単位）

図 4 1998 年～2003 年の期間の変化による冬小麦作付地域の類型化

## 2) 黒竜江省における水稻作付

中国東北部に位置する黒竜江省は、高緯度のため冷涼な気候帯に位置するが食料作物の重要な生産地域でもある。1980年代後半以降、コメの作付面積が急速に増加してきているが(図5)、これは良質米の生産地として水田開発が進められてきたからであった。一方で、コメの生育可能期間は限られ、冷害発生の危険性があり、また、利用可能な水資源も豊富ではないことがこの地域の特性でもあった。そこで、気象・立地条件に適応できる気象災害早期警戒システムの開発が必要であったが、水田開発の速度が速く、共同研究開始時に

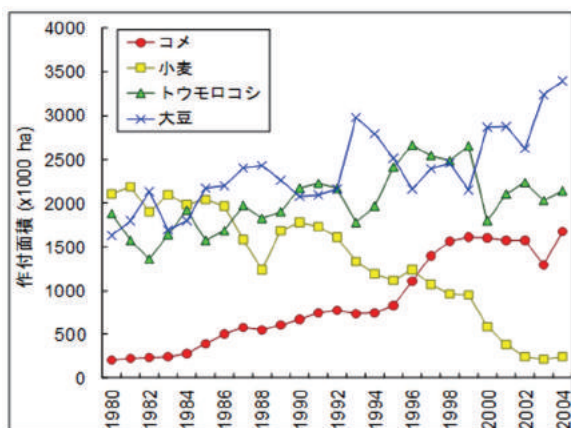


図5 黒竜江省における主要作物作付面積の推移

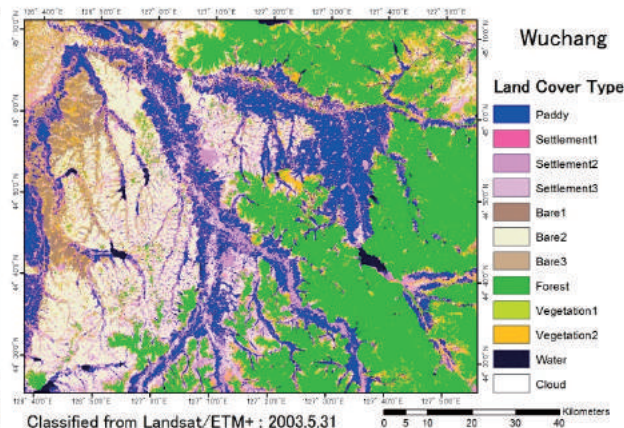


図6 水稻移植期の衛星データを用いた土地被覆分類図(五常県)

は、その分布を迅速かつ的確に把握するための手段は確立されていなかった。

図6は、五常県を対象とする水稻移植期に観測された Landsat データによる土地被覆分類図であり、この時期に湛水状態である水田の判別は十分に可能であった。しかし、46万平方キロに及ぶ省全域を対象とした分布を得るためには観測幅が広く高頻度で観測する衛星データが必要であり、空間分解能が 250m である MODIS データを利用することとしたが、上述の黄淮海平原のケースと同様、面積算定精度を向上させるため画素内面積率を推定する手法を開発した。本手法は、水稻移植期には、他の畑作地は裸地状になることを前提に推定するものであり、黒竜江省と同様の冷涼な気象条件下の他地域にも適用できるものと考えられた。

図7は、MODIS データから得られた黒竜江省における水田分布を示すものである。水稻作付域は年々変化しているが、この図は 2006 年と 2007 年の作付域を重ね、1 回以上作付があった場所(画素内面積率 50%以上)を表している。水田分布をみると、東部の三江平原に広く分布するが、ここでの標高は 60~70m であった。その他では、山麓部の谷筋沿いの地帯に広がるが、その標高は 100~200m であり、これらから水へのアクセスが良いということが重要な立地要因の 1 つと考えられた。ただし、元々のコメ生産地域は山麓部の方であり、東部の三江平原での水田開発は近年に急速に進められたものであった。こうした状況についても、MODIS データから得られる水稻作付面積の 2003 年から 2007 年の間の変化により明瞭に示すことができた(図8)。

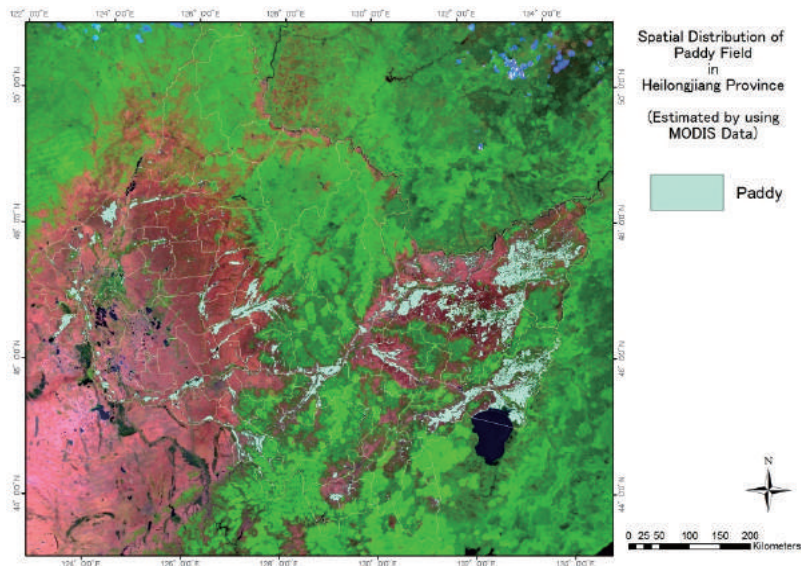


図7 MODIS データより抽出された黒竜江省における  
水田分布

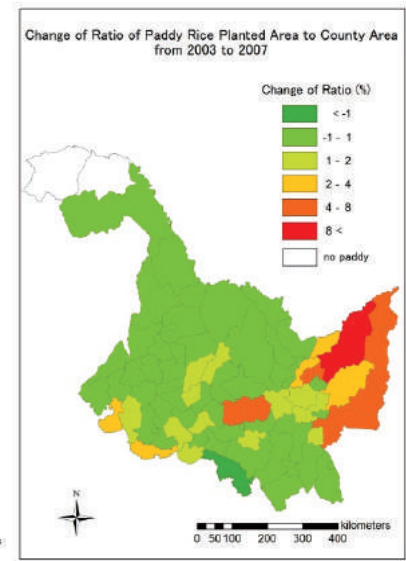


図8 県別水稲作付面積率の2003  
年から2007年の変化

#### 4 おわりに

衛星データ解析の技術開発に関連する共同研究課題は2008年に終了したが、その後も研究者間ではワークショップや会議を通じて情報交換を行ってきた。また、招へいを契機に日本で学位を取得したものも存在し、本共同研究がプロジェクトの目標に対して研究開発の面で貢献しただけでなく、人材育成の点でも有意義であった。さらに、かつての若手研究者は、現在では中核研究者や研究管理者となり、後進の指導にも当たっている。そして区画研は、現在では農業リモートセンシング研究の中国における一大拠点となり、主要作物の作付・生産状況に関するモニタリング情報を提供し、食料生産供給の安定化に大きく貢献する機関となった。このことは、国際農研と中国農業科学院との長年に渡る共同研究の重要な成果でもあり、筆者はその一端を担えたことで、関係各位に感謝したい。

#### 参考文献

- 1 Uchida, S., Y. Chen and G. Saito (2002): Application of Remote Sensing Technology for the Management of Agricultural Resources. *China Agricultural Science and Technology Press*, 268p. (ISBN 7-80167-349-2)
- 2 Uchida, S. (2005): Development of a Method to Analyze Agro-environmental Changes in the Typical Foodcrop Production Area Using Geographic Information System (GIS). *JIRCAS Working Report No.42*, Development of Sustainable Production and Utilization of Major Food Resources in China, Ed. O. Koyama, pp.19-32.
- 3 Uchida, S. (2006): Development of Rapid Mapping Method of Paddy Fields Using Satellite Data Applied to Heilongjiang Province in China. *JIRCAS Working Report No.50*, Development of Early-Warning Systems for Mitigating the Risk Caused by Climate Disasters through Technological Enhancement of Resource Monitoring and Crop-Model Simulation, Ed. S. Uchida and O. Koyama, pp.1-8.

# 農業経済と農村社会発展研究

## 中国農業の発展と当面する課題 — 日中農業政策の比較研究 —

池上彰英  
明治大学

### Abstract

Firstly, we analyzed China's agricultural development in last 20 years. Secondly, we pointed out three problems with which China's agriculture is confronted. (1) The steady increase in costs of agricultural production. (2) The rise of prices of domestic farm products and the increase in imports of foreign agricultural products. (3) The decrease in or stagnation of production of some agricultural products. Thirdly, it was pointed out that agricultural policies of Japan and China have heterogeneity that originated in time lag of the entry into the GATT/WTO, the difference of land ownership system and existence or nonexistence of agricultural cooperatives, though agricultural policies of two countries also have strong homogeneity. Finally, we indicate that three research themes are very important as agricultural economics research cooperation scheme of Japan and China. They are (1) the research on the agricultural management structural reform, (2) the research on the appropriate agricultural protection strategy and (3) the research of the means of improving farmers' income.

### 1 本報告の課題

JIRCAS と中国農業科学院との共同研究が行われた 20 年間、日本の農業はほぼ停滞状況にあったが、中国農業の発展は目覚ましかった。糧食<sup>1</sup>をはじめとする多くの農産物が増産を続け、国民の食生活の向上をもたらした。農家所得も大幅に増大し、農民と都市住民との所得格差は縮小した。本報告の第一の課題は、最近 20 年間の中国農業の発展動向について整理することにある。なお、この作業においては、2003～2004 年頃を転機として中国農業のパフォーマンスに大きな変化があることに注目したい。

20 年間の中国農業の成果は非常に大きかったが、現在の中国農業がいくつかの深刻な問題に直面していることも事実である。中国農業が直面する問題は、日本農業が過去に経験した問題や当面する問題とも共通する点が多い。本報告の第二の課題は、中国農業が直面する課題について整理することにある。

日中両国の農業が直面する問題には類似性があるので、農業政策にも共通な点が多い。しかしながら、両国の経済発展段階の違いや、基本的な農業制度の違いにより、両国の農業政策に違いが見られることも事実である。本報告の第三の課題は、両国の農業政策の同質性と異質性について、比較検討することにある。

最後に、以上の分析を踏まえて、今後の日中農業経済研究協力の課題について、私見を述べたい。

---

<sup>1</sup> 中国の「糧食」は、穀物のほかに豆類とイモ類（サツマイモとジャガイモのみ）を含むが、大部分は穀物である。イモ類生産量は 5 キロを糧食生産量 1 キロに換算する。

## 2 20年間の中国農業発展

図1によれば、中国の糧食生産は1996～1999年の大豊作の後、2000～2003年には大減産したが、2004年から2015年まで12年連続で増産した。この間、とくにトウモロコシの増産幅が大きかった。これは、主食作物である米や小麦の需要が伸び悩む一方、飼料穀物でありデンプン、異性化糖、アルコール等の加工原料としても使われるトウモロコシの需要が大きく増大したことに関係している。問題は、2004年以降の糧食増産が主に価格の上昇によってもたらされたと考えられることである（ただし糧食の実質生産者価格指数は2015年以降低下）。この間、農産物全体の生産者価格指数も大きく上昇している。

図2は、名目国内総生産（GDP）に占める第一次産業の割合（所得比率）、就業者総数に占める第一次産業就業者の割合（就業者比率）、第一次産業所得比率／第一次産業就業者比率として求めた、全就業者の平均所得に対する第一次産業就業者の平均所得の比率（相対所得）の推移を示したものである。それによれば、GDPに占める第一次産業の割合は、1996年から2006年までの10年間に急速に低下したが、その後の10年間は微減にとどまっている（1996年19.3%、2006年10.6%、2016年8.6%）。他方、第一次産業就業者の割合は、2003年以降急速に低下したので、第一次産業の相対所得は2006年の24.9%から2015年の31.2%まで緩やかに上昇した（ただし2016年以降再び低下）。第一次産業就業者は2003年以降、絶対数でも急速に減少しており、製造業やサービス産業のみならず、農業部門においても雇用賃金の上昇がみられる。中国は、すでに労働過剰経済から労働不足経済への転換期にある。農業においても、基幹的労働力の不足は深刻であり、「誰が農業をするのか」（「誰来種地」）が重要な政策課題となっている。

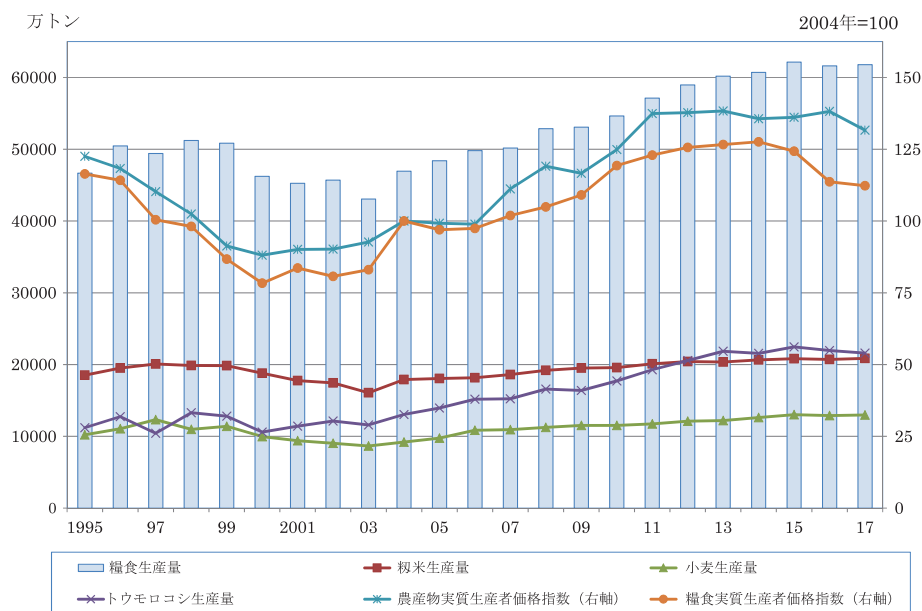


図1 糧食の生産量と実質生産者価格指数

注：農産物（糧食）実質生産者価格指数は、農産物（糧食）生産者価格指数を農村消費者物価指数でデフレートして、2004年を100とする指数で表した。

出所：『中国統計年鑑2017』、『中国統計摘要2018』ほかより作成。

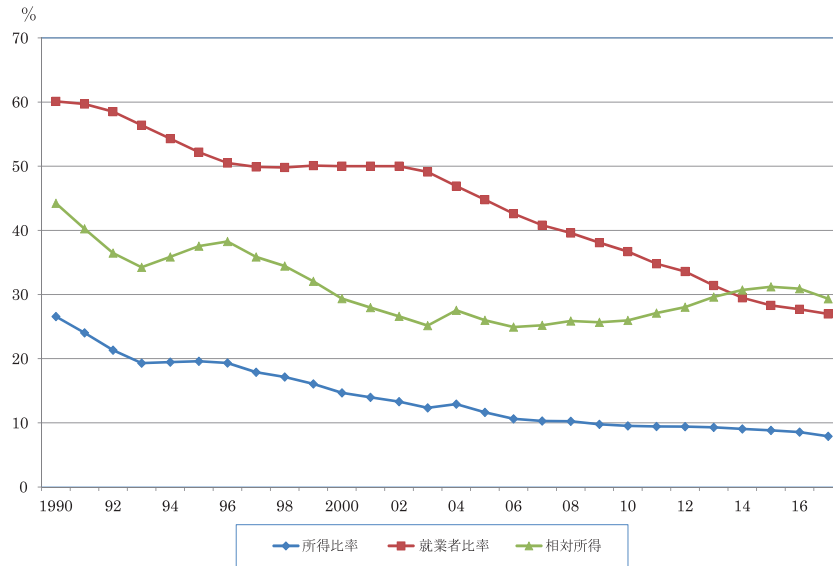


図2 国民経済に占める第一次産業の割合

出所：『中国統計年鑑 2017』、『中国統計摘要 2018』より作成。

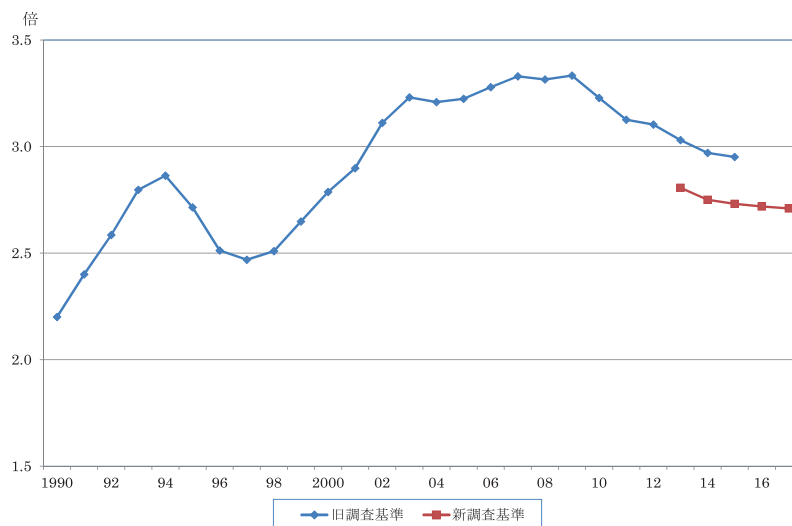


図3 農村住民と都市住民との所得格差

注：2013年より調査基準が変更された。旧調査基準の2013～2015年のデータは、新調査基準によるデータを2012年までの旧調査基準により読み替えたもの。

出所：『中国統計年鑑 2017』各年版、『中国統計摘要 2018』より作成。

図3は、農村世帯1人当たり名目所得を1とするとときの、都市世帯1人当たり名目所得を示したものである。それによれば、農村住民と都市住民との所得格差は、1998年から2003年まで急激に拡大した後、2004年から2009年まではほぼ横ばいで推移し、2010年以降は縮小している。ただし、新調査基準に基づく2014～2017年の所得格差は、2.75倍、2.73倍、2.72倍、2.71倍と推移しており、格差縮小のテンポは明らかに鈍化している。

### 3 中国農業が直面する課題

#### 1) 国内農産物価格の上昇と農産物輸入の増大

2004年以降の国内農産物価格の上昇により、中国の大部分の農産物の国内価格は国際価格より高くなってしまった。図4は、そのことを小麦を例にとって示した。

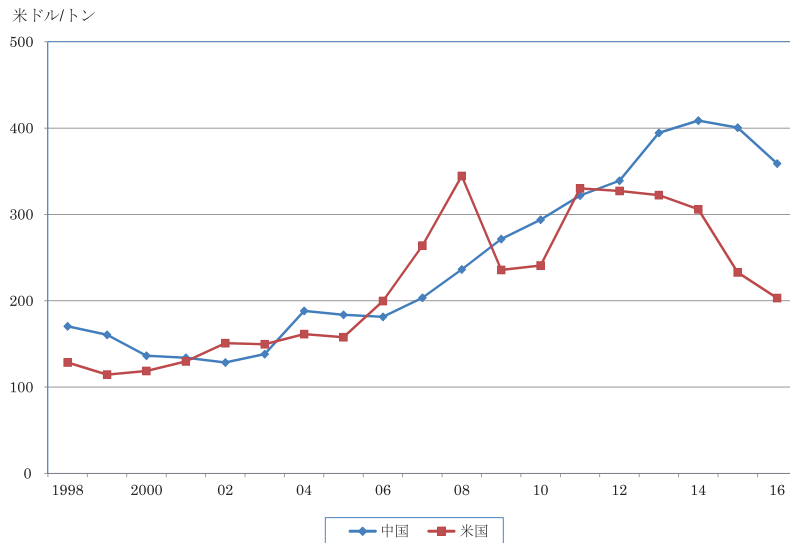


図4 小麦の内外価格

注：中国の価格は三等白小麦の全国主要卸売市場価格の平均。米国の価格はNo.2 ハード・レッド・ウィンターのメキシコ湾岸 FOB 価格。

出所：『中国農業発展報告 2017』（価格）、『中国統計年鑑 2017』（為替レート）より作成。

表1 農産物の品目別輸出入額と貿易特化係数

年	(単位: 億米ドル)											
	農産物全体			穀物			食用油糧種子			食用植物油		
	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数
2005	196.5	246.7	-0.11	15.3	14.1	0.04	9.6	79.9	-0.79	1.8	28.1	-0.88
2006	220.2	278.7	-0.12	11.7	8.4	0.16	8.7	79.3	-0.80	2.7	31.8	-0.84
2007	272.4	364.8	-0.15	22.0	5.4	0.61	10.8	120.3	-0.84	1.7	62.5	-0.95
2008	298.0	533.6	-0.28	7.9	7.3	0.03	14.1	228.8	-0.88	4.1	89.9	-0.91
2009	287.4	474.4	-0.25	7.4	9.0	-0.10	11.3	206.8	-0.90	1.6	66.7	-0.95
2010	355.4	660.1	-0.30	6.9	15.3	-0.38	11.8	265.4	-0.91	1.3	71.6	-0.96
2011	429.3	868.5	-0.34	8.1	20.4	-0.43	14.4	314.8	-0.91	2.1	90.1	-0.95
2012	442.7	1,044.8	-0.40	5.5	47.9	-0.79	17.0	376.9	-0.91	1.8	108.1	-0.97
2013	475.7	1,102.3	-0.40	7.0	51.0	-0.76	15.7	414.5	-0.93	2.0	89.5	-0.96
2014	502.6	1,133.5	-0.39	6.0	62.2	-0.82	14.3	445.1	-0.94	2.1	70.5	-0.94
2015	503.5	1,079.0	-0.36	4.4	94.0	-0.91	14.6	383.9	-0.93	1.9	59.9	-0.94
2016	522.5	1,022.0	-0.32	5.0	57.1	-0.84	14.2	370.4	-0.93	1.6	50.5	-0.94
2017	543.8	1,145.1	-0.36	8.0	64.9	-0.78	16.4	430.2	-0.93	2.4	56.8	-0.92
年	綿花			野菜			果物			畜産物		
	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数
2005	0.1	32.2	-0.99	44.8	0.8	0.96	20.4	6.6	0.51	36.0	42.3	-0.08
2006	0.3	49.2	-0.99	54.3	0.9	0.97	24.8	7.6	0.53	37.2	45.5	-0.10
2007	0.4	35.4	-0.98	62.1	1.1	0.97	37.5	9.6	0.59	40.5	64.7	-0.23
2008	0.4	35.3	-0.98	64.4	1.1	0.97	42.3	11.9	0.56	44.1	77.3	-0.27
2009	0.2	22.1	-0.98	68.8	1.8	0.95	38.4	16.5	0.40	39.1	66.0	-0.26
2010	0.1	58.5	-1.00	99.9	2.8	0.95	43.6	20.3	0.36	47.5	96.6	-0.34
2011	0.8	96.8	-0.98	117.5	3.3	0.95	55.2	31.1	0.28	59.9	133.9	-0.38
2012	0.4	120.1	-0.99	99.7	4.2	0.92	61.9	37.6	0.24	64.4	149.0	-0.40
2013	0.2	87.2	-1.00	115.9	4.2	0.93	63.2	41.5	0.21	65.2	195.1	-0.50
2014	0.3	51.6	-0.99	125.0	5.1	0.92	61.8	51.2	0.09	68.4	221.7	-0.53
2015	0.5	27.2	-0.96	132.7	5.4	0.92	68.9	58.7	0.08	58.9	204.5	-0.55
2016	0.2	17.8	-0.98	147.2	5.3	0.93	71.4	58.1	0.10	56.4	234.0	-0.61
2017	n.a.	23.6	n.a.	155.2	5.5	0.93	70.8	62.6	0.06	63.6	256.2	-0.60

注：(1) 貿易特化係数＝（輸出額－輸入額）／（輸出額＋輸入額）。

(2) 食用油糧種子は大豆を含む。

出所：『中国農産品貿易発展報告 2006～2017』、農業部国際合作司「2017年1-12月我国農産品進出口」より作成。

表1は、主要な農産物について、近年の輸出入額および（輸出額－輸入額）／（輸出額＋輸入額）として定義される貿易特化係数をみたものである。貿易特化係数は+1から-1の間の値をとり、+1に近いほど国際競争力が強く、-1に近いほど国際競争力が弱いと考えられる。貿易特化係数から国際競争力を判断すると、野菜には非常に強い競争力があるが、食用油糧種子、食用植物油、綿花などには全く競争力がない。穀物は2008年以降、急速に競争力が低下している（2016年以降若干改善）。果物は、現在も輸出超過ではあるが、貿易特化係数は大きく低下している。畜産物は急激に輸入額が増大しており、貿易特化係数も悪化しつつある。畜産物のうち食品類は、乳製品に全く競争力がなく、肉類についても急速に競争力を低下させつつある。

中国の農産物の主要な輸出先は、米国と東南アジア諸国連合（ASEAN）を除けば、日本や韓国など中国以上に農産物生産費の高い国、あるいはそもそも農業という産業を持たない香港などである（なお米国に対しては大幅な入超、ASEANに対しても小幅な入超）。つまり中国は、たまたま周辺に自国以上に工業化が進み農業競争力の弱い地域があったために、現在でもそれなりの金額の農産物輸出を行うことができているが、世界的視野で考えるならば、すでに完全に農業の国際競争力を喪失している。そもそも土地資源に恵まれない東アジア国家である中国において、大幅な賃金上昇が起これば、農産物輸入の増大を防ぐことはきわめて難しいのである。

## 2) 農業生産費の上昇

近年の中国における農産物輸入増の主な原因は国内農産物価格の上昇にあり、国内自給が困難な大豆など一部の農産物を除けば、必ずしも供給不足によるものではない。そして、農産物価格の上昇をもたらした最大の要因は、農産物生産費の上昇である。

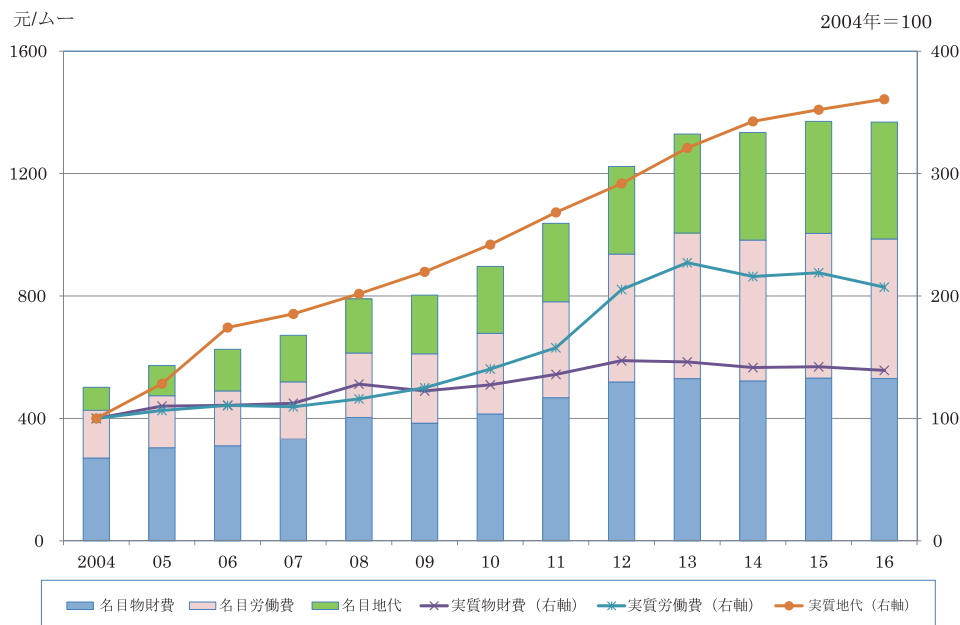


図5 ジャポニカ稲の生産費（全国平均）

出所：『全国農産品成本収益資料彙編』各年版より作成。

中国の農業生産費調査が地代の項目を設けたのは2004年が初めてである。図5は、2004年以降のジャポニカ稲の生産費の推移を見たものであるが、2004年から2013年まで大きく

上昇している（2014 年以降はほぼ横ばい）。2013 年頃までの農業生産費上昇の特徴として、地代と労働費の伸びが大きかったことを指摘できる。地代の大部分を占める「自営地租金」は、日本の自作地地代に相当する機会費用概念であるが、「流転地地代」（借地地代）の高騰により、計算上は増大する。労働費は、投下労働時間の短縮にもかかわらず、雇用労賃および自家労働評価（機会費用概念）の上昇により増大した。労賃上昇は今後も続くと思われるので、労働費を引き下げるためには、機械化等の方法により労働時間を減らすことが肝要であろう。

いうまでもなく、日本の多くの農産物の生産費は中国より高い。日本でも農業生産費を引き下げる努力がなされていないわけではないが、農業所得を高めるための方策としては、どちらかというと高級化、ブランド化や、加工・流通分野への進出（「六次産業化」）等により付加価値を高める道が選ばれることが多い。

### 3) 農業生産の伸び悩み

表 2 から、主要農産物の生産動向を見ると、2010 年代以降生産量が減少する農産物や停滞する農産物が多く、順調に生産量を増やしている農産物は、ほぼ野菜と果物に限られる。農業生産の減少や停滞の原因には 3 つの可能性がある。①需要の減退ないし伸び悩みに対応した生産の減少や停滞、②国際競争力の低下による輸入の増大（国内農産物に対する需要の減少）、③国内生産力（供給力）の低下に伴う生産の減少。

表 2 主要農産物の生産動向

(1995年 = 100)										
年	粳米	小麦	トウモロコシ	大豆	油糧作物	糖料作物	綿花	野菜	果物	肉類
1995	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2000	101	97	95	114	131	96	93	199	148	131
2005	106	95	124	121	137	119	120	248	210	151
2010	106	113	158	112	144	151	125	286	305	173
2011	109	115	172	107	147	158	138	298	334	174
2012	110	118	184	97	153	170	143	310	358	183
2013	110	119	195	89	156	173	132	322	374	186
2014	111	123	193	90	156	168	130	333	394	190
2015	112	127	201	87	157	157	118	344	415	188
2016	112	126	196	96	161	155	111	350	430	186
2017	113	127	193	108	166	158	115	n.a.	n.a.	187

注：(1) 各年の生産量を、1995 年を 100 とする指数で表した。

(2) 油糧作物は大豆を除く。

(3) 野菜は果実的野菜（スイカ、メロン、イチゴなど）を含む。

出所：『中国農業統計資料』各年版、『中国統計年鑑 2017』、『中国統計摘要 2018』などより作成。

日本の場合、①需要の減退に対応した生産減少は、米やイモ類で見られる程度であり、多くの農産物の生産減少は②または③の要因によるものである。日本では、1990 年代以降それまで増産を続けていた野菜や畜産物の生産量が減少を開始するが、これは主に農業労働力の減少や高齢化に伴う③国内生産力の低下によるものである。

#### 4 日中農業政策の比較

日中の農業政策には類似点も多いが、異質な点も少なくない。違いは、主に経済発展段階（もしくは経済発展した時期）の違い、および基本的な農業制度の違いに起因すると考えられる。

##### 1) GATT/WTO 加盟時期の違い

日本の GATT 加盟は 1955 年であり、中国の WTO 加盟は 2001 年である。GATT ウルグアイラウンド農業交渉（1986～1993 年）において、大幅な農業保護の削減が合意され、1995 年に WTO が成立するが、それまでは輸入数量制限や高関税による国境保護、価格支持等の国内農業保護、輸出補助金などが各国政府の意向により自由に行われていた。日本は、そのような体制の下で経済発展し、国内農業を手厚く保護してきた。そのため日本は、1995 年の WTO 成立後に、本格的な農業保護の削減に乗り出すことになる。

これに対して、中国はウルグアイラウンド農業合意（この内容を成文化したのが WTO 農業協定）の成立後に WTO に加盟したので、当初から実施できる農業保護の上限はきわめて限定されたものであった。中国政府は、2008 年から穀物の最低買付価格を大幅に引き上げるなど、価格支持政策を強めたが、わずか 6 年後の 2014 年にはその政策の見直しを開始されている。中国の場合、そもそもの国境保護水準（関税率）が低く定められているので、国内農産物価格の引き上げは、容易に海外農産物の輸入増大をもたらす。そのため、過度の農業保護を行うことが制度的に困難であり、市場指向的で国際開放的な農業政策を取らざるを得ない。結果的にそのことが、国内農業の足腰を強くすることにつながっている可能性がある。

##### 2) 土地所有制度の違い

周知の通り、日本の農地は私有であり、中国の農地は集団所有制（「集体所有制」）である。日本では農地法の規定により、企業等（農民でない者）の農地所有は原則として禁止されている。また、近年大幅に緩和されているが、もともとは借地権が強く、農地の貸し借りも進まなかった。そのため、日本では規模拡大や企業の農業参入等の農業経営構造の変革が進みにくく、現在でも零細兼業農家が広範に存在している。そのような状況で、農業就業者の超高齢化が進んでおり、今後は担い手のいない農地が大量に出現する可能性が強いが、土地私有という所有権の壁があり、行政の介入も難しい。離農、離村した土地持ち非農家の農地管理の負担も重い。

これに対して、中国は農地が集団所有制であり、さらに元の請負経営権を請負権と経営権に分けたこと（所有権、請負権、経営権の三権分離）で、農地経営権の流動化が比較的容易に行える。そのため、日本よりはるかに速いスピードで大規模経営の成立が進んでおり、企業の農業参入も広範に進んでいる。離農、離村した農家は、請負経営権を集団に返還することで、農地管理の煩わしさから容易にのがれることもできる（その分、農村集団の農地管理能力を高く保つことが必要となる）。農地の集団所有制は、農業経営構造改革を進めるうえでも、将来的な超高齢社会における農地管理をきちんとしたものにするうえでも、農地の私有制よりも有利なシステムといえる。

### 3) 農協の有無

日本の総合農協システムが、零細農家の農産物販売や金融サービスへのアクセスにおいて、大きな貢献をしていることは、今さら指摘するまでもない。ただし、日本の総合農協システムの形成には長い歴史的背景と、制度的に総合農協を保護、優先してきた政府の政策があり、その維持コストは必ずしも低いものではない。

中国には、日本の総合農協に相当する、農産物流通や農業金融において圧倒的な実力とシェアを有する経済組織は存在しない。そのため、流通過程においては、企業や「經紀人」(産地仲買人)など商人の力が強く、多様な流通ルートが併存して、激しい市場競争を行っている。こうした流通システムの効率性や公平性については、今後の研究を待たなければならないであろう。

## 5 おわりにー今後の日中農業経済研究協力の課題ー

「人多地少」という資源賦存の点でも、農業が比較劣位産業であるという点でも、日本と中国の共通性は強い。他方、上述したように、基本的な土地所有制度や農産物流通システム、農村金融制度等の点では、両国の異質性は強い。

両国が協力できる農業経済研究のテーマは多いが、とくに以下の課題が重要だと考えている。

### 1) 農業経営構造改革に関する研究

両国農業にとって「誰が農業をするか」(「誰来種地」)という担い手問題と、「どのように農業をするか」(「如何種地」)という農業生産性向上策は、当面する最も重要な政策課題であろう。両国には土地制度等の違いもあるが、農業経営構造の実態や必要とされる政策に共通する点も少なくないはずである。この分野において、日本の農業経済学界は豊富な研究蓄積があり、両国で全面的な研究協力を行うことが有意義だと考えられる。

### 2) 農業保護政策手法に関する研究

両国にとって農業は比較劣位産業であるが、食料の安定供給や農業の多面的機能といった重要な役割を担っており、いかなる手段を用いても発展させていかななければならない産業である。WTO体制という国際制約の下で、効率的で国際的にも受容される農業保護政策手法を探求することは、両国の農業経済学界にとってきわめて重要な研究課題だと考えられる。

### 3) 農業生産の付加価値を高め、農家所得を向上させるための研究

農業経済学者の重要な社会的責務として、農民の所得向上への貢献がある。そのための、具体的で実践的な研究は両国の農業経済学界でも盛んに行われており、研究交流を深めることにより効率化を図ることが期待される。また、この研究課題に関連して、高所得段階における消費者の食料需要の変化を正しく把握する研究の重要性も指摘したい。

## 中国の生態循環農業の発展とその研究展望

尹昌斌

農業資源与農業区劃研究所、CAAS

### Abstract

Circular agriculture (CA) refers to the circular use of agricultural waste and the conservation of resources, which has attracted increasing attention in China in recent years. In this paper, policies of CA were discussed, and the implementing projects, methods and future researches were summarized as well. In general, as a development guide for CA, current policies on CA were ineffectively executed by the government. Lots of projects of CA have been tested and verified in demonstration areas in China, but some of these projects did not lead to widespread implementation. Based on regional natural conditions, industry types, resources endowment, etc., various successful models of CA are formed in China. The technology and operational mechanism of CA are expected to be further studied in the future, which are helpful in promoting cleaner agricultural production.

### 1 はじめに

近年、中国は農業・農村発展事業で大きな成果を挙げた。しかしながら、「投入物-生産-生産物-廃棄物」という線形経済が主導する農業発展モデルは、農業発展が資源の枯渇、エネルギーの不足、生態系の破壊、環境の衰退といった問題に直面する事態を招いた。生態循環農業は、循環経済の理念に準ずる新たな生産方式であり、資源の高効率かつ循環可能な利用を中核とし、「リデュース (Reduce)、リユース (Reuse)、リサイクル (Recycle)」を原則とする。また、「農業資源-農業産品-農業廃棄物の再利用」という循環メカニズムの構築により、農業産業チェーンを延長させ、人口・資源・環境の調和が取れた協調発展を実現させ、農業産業における「両低一高」(低資源消耗、低廃棄物排出、高エネルギー効率)(尹昌斌ら、2008；高旺盛ら、2007)を達成する。生態循環農業を発展することは、農業の発展方式が外延式から内包式に転換する必然的な要求であり、農業における資源の枯渇問題と環境の衰退問題を解決する現実的な選択肢でもある。現在、生態循環農業の研究と実践は、多くの国にとって農業の持続可能な発展を積極的に探索するための重要な発展モデルであり、中国の農業領域でもホットトピックとなっている。

諸外国の生態循環農業の発展は中国より早い。例としては、アメリカの精密農業 (Bongiovanni et al., 2004)、イギリスの永続農業 (Smith, 2006)、ドイツのグリーンエネルギー農業 (Zanden, 1991)、イスラエルの節水農業 (Fishelson, 1994)、日本の菱鎮循環農業 (King, 1911)などがあり、いずれも先進国による完全な生態循環農業の発展モデルであり、顕著たる生態的利益と経済的利益をもたらしている (何瓊ら、2017)。中国では、20 世紀 90 年代から、生態循環農業に関する思想を導入し始め (張建、2009；劉金泉、1990)、生態循環農業の理論と実践モデルについて幅広い研究を展開していた (孫波ら、2018；趙立欣ら、2017；翁伯琦ら、2017)。理論上では、「3R」原則、「4R」原則が打ち出された (高旺盛、2010；

Xuan et al., 2011、尹昌斌ら、2013)。実践上では、庭園式循環経済モデル（徐文輝ら、2010）、中国南方の稲と鴨、稲と魚（エビ）の共作モデル（曹湊貴ら、2017；胡亮亮ら、2015）、中国北方の「四位一体」農業モデル（王晓荣ら、2009）、メタンガスを中心とする「家畜・家禽-メタンガス-栽培」の生態循環農業モデル（段娜ら、2015）、有機肥料の加工を中心とする「家畜・家禽-有機肥料-栽培」の生態循環農業モデル（呂娜ら、2018）などが打ち出され、企業（農家）を中核とする内部の小循環と、企業間の産業チェーンの中循環、地域内の大循環が形成されてきた。人々の知識レベルが高まるとともに、生態循環農業は、単なる農業経済の発展における新理念だけに留まらず、実践上では発展パターンもしくは技術パラダイムにもなった。したがって、本研究は、現在中国における生態循環農業の発展に関する政策・措置を重点として整理し、参考可能・普及可能・持続可能な生態循環農業の典型的な地域技術モデルをまとめ、将来の生態循環農業の研究の重点分野と方向性を展望し、中国または世界の生態循環農業の発展に導く参考になることを目標としている。

## 2 現代農業と生態循環農業への認識

### 1) 現代農業の発展傾向—農業のグリーンエコロジー化

農業のグリーンエコロジーは未来の現代農業の発展傾向である。その種類は、以下四つの農業モデルに分けられている。1つ目は生産効率型の集約農業である。資源を集約する経営方式で生産し、農地の機械化レベルを向上させ、投入を増加し、農業の新技術と改良品種を導入することにより、規模効益と経済利益を得る。二つ目は資源節約型の生態循環農業である。節約・排出削減・農家の増収を目的とし、農牧の連携、栽培と養殖の循環により、廃棄物の複数回の循環利用を実現させ、農業生産技術のパラダイムの改革とイノベーションを推し進める、「廃棄物ゼロ農業」という物質循環利用システムを形成させる。三つ目は環境にやさしい生態農業である。伝統農業の精髓を利用し、農業における六次産業を融合させ、基盤整備により、経済成長と環境・資源の保全を両立させ、比較的に高い経済・生態・社会効果を得て、「公害ゼロ農業」という新たな生産方式・理念を形成させる。四つ目は産品安全型のグリーン農業である。現代化した施設とグリーン生産技術を駆使し、農業環境保全と農産物の質と安全性に重点を置き、品質管理を徹底し、高効率かつ安心・安全な「残留農薬ゼロ農産物」の供給システムを形成させる。

### 2) 生態循環農業への認識

生態循環農業は、循環経済理念に準ずる新たな生産方式であり、資源の節約と高効率の利用を果たす農業の経済成長の一種の方式である。また、産業チェーン拡大型の農業空間開拓の道であり、環境にやさしく住みやすい農村建設の新理念でもある。同様に、生態循環農業は「3R」原則に準じ、すなわち「リデュース（Reduce）、リユース（Reuse）、リサイクル（Recycle）」を原則とする。その中に、「リデュース」は、農業資源投入の節約や精密農業の普及を通じて投入の減量化を意味する。「リユース」は、農業物質の多重多層利用により利用可能な物質の全量利用を目指す。「リサイクル」は、農業廃水や栄養物質の再利用である。生態循環農業は、グリーン発展・循環発展・低炭素の理念に基づき、現代農業を発展させるのである。農業清潔生産の実施により、農村廃棄物を資源化し、農業資源の循環利用を促進する。生態循環農業の本質的な特徴は、資源の節約と産業チェーンの拡大であり、栽培業・

養殖業・加工業・農産品消費及びバイオマス産業などにおいて、物質の循環・エネルギー交換・価値増殖により、農業における第一次、第二次、第三次産業の連結と融合を形成させる。

生態循環農業を発展させるには、現代農業を優先的に発展させるべく、すなわち農業の工業化、農業に新しい科学技術の導入、現代的な生産管理など、現代の科学・文化の知識で農民の質を向上させるべきである。同時に、日増しに成長している環境保全の需要に応じ、高生産能力・高品質・高効率の農業生産システムを構築し、顕著たる効率と収益をもたらせ、社会効果と生態効果を両立できる持続可能な農業生産システムに転換させ、環境にやさしい社会と安全な生態を実現させる。

### 3 中国生態循環農業の発展に関する政策措置と行動

近年、国務院、農業農村部などの関連部署は、生態循環農業の推進に関する政策措置を打ち出している。2004年に、循環経済は初めて中国国民経済と社会発展計画報告に提起された。2005年に、「循環経済の発展の加速に関する若干意見」（国発〔2005〕22号）が公表され、「大いに循環経済を発展させ、資源節約型と環境にやさしい社会を建設する」と政府が提唱した。2013年に、中国国務院は「循環経済発展戦略及び近期行動計画」（国発〔2013〕5号）を公表し、農業分野で資源の利用・節約化の加速、生産過程の清潔化、産業チェーンの循環化、廃棄物処理の資源化などを推進し、循環型農業システムを構築するよう要求した。2016年に、国家发展改革委員会は「農業循環経済の発展の加速に関する指導意見」（発改環資〔2016〕203号）を公表し、農業資源利用効率の向上と農村生態環境の改善を目標とし、農業循環経済の発展を加速させるよう要求した。ここ十数年以来、中央一号文書は継続的に生態循環農業に関心を寄せていた。2006年に、中央一号文書は初めて、資源の節約と環境保全に関する農業技術を開発すると提唱した。2007年から2016年にまでの中央一号文書はすべて生態循環農業の発展を強調してきた。2017年の中央一号文書では、高効率な生態循環の耕種・養殖が結合するモデルを普及させ、家畜・家禽の糞尿を集中的に処理し、化学肥料の代替可能な有機肥料の普及を積極的に行い、農業の清潔生産を推進し、農業におけるコスト削減・効果の向上を促進する。

同時に、よりよく政策措置を実施するため、各部署は相応に計画指導規定と行動のガイドラインや措置を制定した。2015年に、農業農村部は、「全国農業持続可能な発展計画（2015-2030年）」を公表し、2020年までに基本的に地域内の農業資源の循環利用を実現させ、2030年までに基本的に農業廃棄物のゼロ排出を実現させる。2016年に、国務院は「全国農業現代化計画（2016-2020年）」を公表し、2020年までに、全国的に食糧作物・経済作物・飼料作物を統括し、農業・林業・畜産業・漁業を連結させ、栽培・養殖・加工を一体化させ、第一次、第二次、第三次産業を融合させる現代農業産業システムを構築し、また家畜・家禽の糞尿、作物残渣、農業用マルチの資源化を実現できるよう努力する。2017年に、農業農村部は、「栽培・養殖が連結する循環農業示範工程の建設計画（2017-2020年）」を公表し、2020年までに、300の栽培・養殖が連結する生態循環農業発展のモデル県を設置し、作物残渣と家畜・家禽の糞尿の総合利用を基本的実現させるよう要求した。近年、国家发展改革委員会は、一連の生態循環農業の発展と農業清潔生産に関するプロジェクトを設立し、環境保全部門・財政部門も「奨励により整備を促す」方案を打ち出し、生態循環農業の発展を推進した。2007年から、科学技術部は相次いで「農地循環高効率生産モデルのコア技術の研究と集成

示範」と「生態循環農業科学技術工程」の二つの科学技術サポートプロジェクトを実施した。農業農村部は、2007年に「生態循環農業促進行動」を打ち出し、生態循環農業試験市プロジェクトを展開し、また2015年から全国の100の県において「食糧作物から飼料作物への転換」という試験を開始し、栽培・養殖の結合、農業・畜産業の融合を推進した。それから、同部は2015年から農業総合開発地域の生態循環農業プロジェクトを開始し、2020年までに300の生態循環農業プロジェクトを建設する予定である。最後に、同部は2017年に家畜・家禽の糞尿の資源化利用行動、東北地区作物残渣処理行動、果物・野菜・お茶の有機肥料が化学肥料を代替する行動、農業用マルチフィルムの回収行動、長江を重点とする水生生物の保護行動などを展開してきた。

全体的に見ると、ここ数年中国が打ち出した政策計画は、主に指導・ガイドに留まり、強制的な執行力に欠けている。農業農村部、国家発展改革委員会などの部門は、生態循環農業示範、栽培・養殖の結合、農業・畜産業の融合、化学肥料から有機肥料への転換、農村環境の治理、農業用マルチフィルムの回収利用プロジェクトなどといった、大量の生態循環農業プロジェクトを打ち出している。しかしながら、その多くが実施期間に役割を果たせるものであるにもかかわらず、僅か一部のプロジェクトでしか継続的に持続可能な稼働を維持できていないのである。一部の維持できたプロジェクトは、科学技術とプロジェクトのメカニズムを駆使していたのである。そのため、このような参考可能・普及可能・持続可能な生態循環農業の典型的な技術モデルをまとめることは、生態循環農業のプロジェクトをその土地の事情に応じて普及させ、応用させるのに有利である。

#### 4 中国の生態循環農業の典型的な地域技術モデル

##### 1) 西北乾燥地農業地域モデル—甘肅省金昌市金川区のケース

この地域は中国における典型的な乾地農業区であり、乾燥した気候、少ない降水量、農業用水資源の欠乏、深刻なプラスチック汚染問題など、同地域の農業の持続可能な発展を制約するボトルネックとなっている。甘肅省にある大多数の農作地域は、年間降水量が200-450mmであり、1ムーあたりの平均水資源量は450m<sup>3</sup>足らずであり、中国全国平均値の四分の一に至っていない。地下水の過剰用水のため、この地域の地下水位は1980年代の10mから、現在の60mあまりに下がった。水資源の利用は、環境の負荷能力をはるかに超えたのである。過去の20年間に、甘肅省金川区における農業用マルチフィルムの使用量は約1.2万トンで、農地に残留しているフィルムの累計量は約3600トンで、1ムーあたりの平均残留量は17.1kgである。その結果、深刻な土壌凝結になり、土壌透過性と種の発芽率が低下し、農産物の産出と品質の向上に重大な影響を及ぼした。

モデル村は、節水・環境保全型生態循環農業の発展要求に従い、農地の節水と廃棄されたマルチフィルムの回収を重点として事業を展開した。栽培・養殖の結合、栽培・養殖・加工が一体化した発展戦略で、資源の利用率を上げ、環境への汚染を減らし、農業の持続可能な発展を実現させた。このモデルの中心は、農地の節水技術、マルチフィルム回収再利用技術、栽培・養殖が結合した清潔生産技術の運用である。循環モデルにおいては、生態果樹園区、施設農業デモ区、高標準農地デモ区、一定規模の養殖区、買付け加工区など五つの機能区があり、栽培区の農作物の作物残渣は飼料に加工され、規模化した養殖区に供給され、また規模化養殖区の家畜糞尿がメタン発酵により、栽培区の有機肥料にもなる。栽培区・養殖区が

生産したとうもろこし、食用ひまわり、唐辛子、肉製品は加工・貯蔵を経て、それらを販売する市場にドッキングし、「栽培－作物残渣加工－養殖－有機肥料加工－栽培」という生態循環農業の産業チェーンを形成させる。

その結果、モデル村の水資源の利用率が顕著に上がり、マルチフィルムの残留量が明らかに下がり、栽培・養殖の循環がもたらした効益は明確であった。施設農業における水・肥料の一体化技術は、デモンストレーションに用いた累計面積が2400ムー、節約した水の量が50万 $\text{m}^3$ 、節水率が36.4%である。生態果樹園のフィルム内点滴灌漑技術は、デモンストレーションに用いた累計面積が12000ムー、節約した水の量が300万 $\text{m}^3$ 、節水率が23.1%である。大面積農地農業の散水灌漑技術は、累計示範面積が400ムー、節約した水の量が3.2万 $\text{m}^3$ 、節水率が12.5%である。大面積農地農業の全フィルムカバー地の畝間灌水技術は、デモの累計面積が2.4万ムー、節約した水の量が240万 $\text{m}^3$ 、節水率が12.1%である。それから、村は5000ムーの低圧パイプ灌漑施設を建設し、累計節水量が40万 $\text{m}^3$ に達した。また、小型残留フィルム回収設備12台と、大型残留フィルム連合作業回収設備1台を導入し、100ムーの「フィルム両用」デモ区を設立し、廃棄フィルムの回収率を75%以上に高めた。「五位一体」のメタンガス池の建設により、養殖業における飼料の節約率は10%～15%、節水率は70%、化学肥料・農薬の節約率は85%以上である。

## 2) 南方水網地域モデル—湖北省鄂州市のケース

この地域は、中国の典型的な水網区であり、水資源が豊富である。長期にわたり形成してきた粗放型農業生産方式は、深刻な水域富栄養化と大きな非特定汚染源負荷をもたらし、中国南方地域社会・経済の発展を制約する重要なボトルネックになった。2014年、湖北省農業源COD排出量は44.8万トン、農業源アンモニア性窒素の排出量は4.4万トンである。省全体の農地の1ムーあたりの化学肥料使用量は26.8kgであり、全国の平均使用量より4.9kgも多い。省全体の有機肥料資源栄養総量は150万トンにもかかわらず、実際の利用率は40%に至っていない。その中、家畜・家禽の糞尿の還田率は約50%である。推計によると、鄂州市は、1年間の各種の農作物作物残渣、捨てられた果物・野菜の量は58万トンであり、直接還田したのは22.3万トンで、全体の38.5%を占める。何も処理せずに廃棄されたのは1.2万トンであり、全体の2.1%を占める。同市は、窒素肥料の季節的な使用率は僅か約35%であり、リン酸肥料の季節的な使用率は20%未満であり、先進国の60%という高い利用率と比べ、大きな差がある。

モデル村は、「一控兩減三基本」<sup>1)</sup>の要求に基づき、農地・水資源・肥料・農薬などの資源の節約技術を普及させ、水田の総合利用（栽培・養殖）、水循環養殖、生態溝渠<sup>2)</sup>などの水資源循環利用型技術を発展し、グリーン栽培業とグリーン養殖業を結合させ、「資源－産品－廃棄物－再生資源」の生態循環農業方式を形成させる。この循環モデルは、水田稲作を基礎とし、水田の中に1年を通し、アメリカザリガニ（中国語では、俗に言う「小龍蝦」、以下同様）を養殖し、水田の光熱・水・生物資源を十分に利用し、稲と小龍蝦の相利共生を実現さ

<sup>1)</sup> 一控兩減三基本：農業用水の全体量をコントロールし、化学肥料と農薬の投入を減少させ、畜産による汚染、マルチの回収、作物残渣を燃やすことを根本的に解決するための基本方針を指す。

<sup>2)</sup> 生態溝渠：灌漑用水路に水を濾過できる植物や動物を取り入れること。

せ、水田生態系の栽培業と養殖業を結合し、限られた水田の生態空間の中に、公害ゼロ・安全・良質の米と小龍蝦を生産する。この生態農業技術は、栽培・養殖を結合させ、コストを削減し、効益を増加し、最大限に水田の産出率を向上させ、小龍蝦・米の生産量が同時に増加し、品質もともにアップする目的を達成する。これは、中国南方稲作地域における、米産出料と生態系効益を得るための、重要な栽培・養殖循環技術モデルである。

この地域は、稲・小龍蝦の共作と水環境の治理により、明確な効果を得て、化学肥料・農薬の使用量を削減し、土壌と水域の質を改善し、農業の増益・農村の美化・農民の増収を実現させた。この循環モデルは、グリーンな予防・抑制技術と作物残渣還田などの技術措置により、大幅に農薬と化学肥料の使用量を削減し、特に水田の化学肥料使用量を30%以上、農薬使用量を70%以上削減することができる。同時に、小龍蝦は水田の土壌を柔らかくし、雑草と害虫の卵を排除することができ、その排泄物は稲の成長に栄養を与える。また、水田は小龍蝦が生息する場所であり、十分な水・餌を提供することができる。稲と小龍蝦の相利共生は、1ムーあたりの米の平均産出を624.7kgに、小龍蝦の平均産出を124.5kgに上げ、1ムーあたりの平均生産額は5546.6元、純利益は2978.2元である。それに、単に稲を栽培する水田と比べ、1ムーあたりの平均収入を2000元以上増やすことができる。

### 3) 西南生態脆弱地域モデル—貴州省貴陽市のケース

この地域は、中国のカルスト地形であり、典型的な生態脆弱区である。山が高く、傾斜面が険しく、農地の土層が薄く、土壌浸食と地質災害が頻発し、農業における非特定汚染源負荷が大きい。これらの問題は、同地域の農業の持続可能な発展を制約するボトルネックとなっている。貴州省は、92.5%の面積は山岳と丘陵であり、空間の分布から見ると、省全体の土壌浸食の状況は、西北部が東南部より深刻である。流域から見ると、長江流域が珠江流域より深刻である。2013年、貴州省内の長江流域の土壌浸食の面積は全体の31.2%であり、珠江流域は30.3%である。2013年、貴州省の化学肥料使用量は99.5トンであり、2005年より28.6%増加した。農薬の使用量は1.4万トン、2008年より5.2%増加した。一部の中小規模の養殖場及び広域養殖地区では、家畜の積載量が大き過ぎで、大量の排泄物が有効に処理されず、勝手に放置されまたは近くの溝渠や農地に捨てられ、雨の侵食により河川や湖に流され、農業の非特定汚染源負荷が大きくなった。

モデル郷は、「一控二減三基本」の要求に従い、水土保持を重視し、土壌測定配合肥料技術、水・肥料一体化技術、農業用マルチフィルムの応用・回収技術、病虫害グリーン防止・抑制技術、輪作・間作における緑肥使用技術、傾斜地における農地の土壌浸食の防止・抑制技術、栽培・養殖が結合するメタンガス工程技術などを駆使し、水・肥料を節約する管理措置を実施し、農業の非特定汚染源と農薬残留量をコントロールした。循環モデルでは、規模化した養殖場からの糞尿を発酵させ、メタンガスを生産しながら、バイオガス残渣・消化液を生産し、それによって良質な有機肥料を開発し、生態茶畑・果樹園・農地作物の生産に使用し、また果樹（茶樹）の株と株の間に、食糧作物・経済作物・野菜・瓜類・生薬・緑肥などを栽培する。それによって、地面のカバー率を上昇させ、土壌浸食を防止し、それから作物の作物残渣をサイレージ作りに使用し、アンモニア化・発酵を経て、養殖の飼料に充てる。モデル郷は、「家畜・家禽—メタンガス池—栽培（食糧・材木・果樹・茶樹）」の複合的生態循環モデルを形成させ、栽培業を伝統的な食糧の一元構造から、食糧作物・経済作物・飼料

作物の三元構造に転換させた。

この地域モデルを通じて、モデル郷は、農業生態環境が著しく改善し、農民の収入が増加した。横傾斜地における等高線栽培モデルを使用し、果樹・茶樹を栽培し、土壤浸食の抑制を図った。バイオガス残渣・消化液の使用により、化学肥料の使用を減少させ、土壤と農産物の品質を向上させた。物理・生物・化学・農芸の四つ防止・抑制措置を通じて、果物・お茶の農薬残留量の各指標数値を下げ、農産物の质量安全を実現させた。生態プロジェクトの実施が成功を収めたため、2013年に、モデル郷生態茶畑が生産した「緑宝石」(エメラルド)はドイツに輸出され、2014年に、アメリカにも輸出され、スターバックスコーヒーの傘下にあるティバーナに採用され、2015年にロシアなどの海外市場にも進出した。一方、茶葉・生態・植物保護・環境などの分野の専門家を招き、茶の生産農家に技術や環境などのノウハウなどトレーニングを行うなど実施し、茶農家の技術や環境意識を高め、増収にも貢献した。

#### 4) 黄土高原果樹園清潔型模式—山西省臨汾市のケース

この地域は、中国の黄土高原に位置しており、主な環境問題には、農業水資源の不足、農業環境の悪化、生態機能の衰退などがあり、同地域の農業の持続可能な発展を制約するボトルネックとなっている。モデル郷も同様に降水量が少なく、灌漑水源の欠乏が非常に深刻であり、自然条件の厳しさは主要産品であるリンゴの品質と生産量に影響している。果樹の産出量を増加するため、農家は過剰に化学肥料を使用していた。しかしながら、有機肥料は十分に補充しておらず、そのため、一部の果樹園は衰退の趨勢に陥った。また、農薬と化学肥料の濫用、家畜・家禽の糞尿の勝手な放置、果樹の茎・葉の燃焼により、土壤凝結・河川と地下水の汚染・大気汚染・資源利用率低下などの問題が際立っている。

モデル郷は近年、農家単位で、果樹園を基礎とし、農家用メタンガス池・生態養殖・果樹園における牧草栽培・雨を収集する水倉・果樹園点滴灌漑施設からなる農家用農村生態プロジェクトを構築していた。また太陽光エネルギーを用いて、新型高効率メタンガス池を利用した栽培・養殖の有効結合発展モデルを形成させた。同時に、黒フィルムによる土壤水分の保持・果樹の間に牧草の栽培を行い、雨を収集する水倉・高架微型散水を設置し、節水・水土保持を図り、土壤を改良し、干ばつ・水資源不足の問題を解決した。また、生態果樹園清潔生産及び果樹廃棄物の資源化利用を目標とし、「果樹廃棄物—バイオマスの乾留—石炭・ガス・液化ガスへの転化—農業で乾留産品の使用」という生態農業モデルを構築した。バイオマス乾留技術を駆使し、廃棄された果樹の茎・葉を、木酢液と木タールという二種の天然農業用化学品代替物と、生物石炭と乾留ガスという二種の清潔・再生可能なエネルギーに転換させた。木酢液と木タールは、公害ゼロの純生物製剤として、果樹の成長促進・殺菌消毒・駆虫・土壤改良といった機能を持っており、有効に化学肥料と農薬の使用量を減少できる。これらの措置により、モデル郷は果樹業における廃棄バイオマスの総合循環利用という現代的農業清潔生産の新しいモデルを形成させた。

このモデルを通じて、モデル郷のリンゴ「一村一品」専門村の農民たちの科学技術応用レベルが向上され、科学技術の貢献率が高められ、リンゴの生産量が10%以上に上がった。また、県全体の果物農家に示範的な役割も果たし、30万ムーのリンゴ園の有機・標準化生産に転換した。県全体のリンゴ産業は大きな発展を遂げた。同時に、農村の家畜・家禽の糞尿と、生産・生活ゴミを利用し、発酵させ、メタンガスを生産し、農村部のエネルギー産業への投

資を減らすだけでなく、生態環境を浄化し、農民の生活を改善することができた。バイオガス残渣・消化液は、果樹の有機肥料の来源になり、それによって農薬・化学肥料の使用も少なくなり、果実・土壌への汚染も軽減され、生態効益は明らかである。

以上四つの地域の生態循環農業モデルの紹介から、生態農業・循環農業を発展する必要性が分かってきた。問題を解決するには科学技術は不可欠である。今後の生態循環農業も科学技術の進歩に依存しており、資源節約型農業生産技術・製品の開発、肥料・農薬・水資源・農地・エネルギーの節約技術の普及を通じて、資源の利用効率を高め、生態環境を改善するべきである。

## 5 中国の生態循環農業の研究展望

中国の農業資源は不透明であり、特に農地の質と農地汚染、家畜・家禽糞尿の汚染、作物残渣の資源化利用、農業用マルチによるプラスチック汚染などに関する研究の進展が遅い。農業環境の有効な汚染防止・抑制は発足したばかりで、地域農業における非特定汚染源負荷の軽減に向ける技術措置も欠いており、農業資源環境保護技術の研究強化は喫緊の課題となっている。同時に、農業資源市場化配置メカニズムはまだ設立されておらず、奨励システムは完全ではなく、栽培・養殖の発展はアンバランスであり、農業廃棄物の資源化の程度は低い。また、農業生態保障メカニズムは健全ではなく、農業汚染の責任は明確ではなく、管理システムはなく、汚染に対する処罰は軽い。最後に、全面的に経済社会の価値を反映する農業資源の定価メカニズムと、利益補償メカニズム、奨励・処罰メカニズムは健全ではなく、生態循環農業の発展に関する制度・体系は健全化に迫っている。

### 1) 生態循環農業の発展に関する技術開発・研究

#### (1) 農業資源の高効率利用

まず、栽培・養殖の節水・飼料節約技術を発展すべきである。主に、作物節水生理の調節・コントロール技術、新型雨水収集施設・設備及び高効率利用技術、水資源・肥料一体化技術及びコア設備、水土測定・灌漑技術及び設備、地域別規模化した高効率節水灌漑及び水資源管理方法などの技術を研究・開発すべきである。次に、肥料の削減技術と効果増大技術を健全すべきである。水溶肥料・液体肥料・生物肥料・高効率緩効性肥料・同歩栄養肥料に重点を置いて研究・開発し、肥料の削減と効果増大の目標を達成する。最後に、農業廃棄物の循環利用技術を革新すべきである。有機肥料・糞尿肥料・メタンガス池肥料の高効率利用技術とコア設備を研究・開発し、放牧の家畜の栄養を改善し、健康な牧場と人工牧場の建設を加速し、草原の生態回復・放牧の利用技術と、農牧区の資源共済、動植物の高効率生産技術を研究・開発するべきである。

#### (2) 農業生態環境

まず、汚染された農地の生態修復と安全生産技術の研究・開発に力をいれるべきである。また、高効率・低毒性・低残留の農薬と、生物農薬と先進的な農薬機械を研究・開発するべきである。それから、農作物作物残渣の高効率資源化利用技術、廃棄マルチの機械回収利用技術と生分解性マルチ技術、家畜・家禽糞尿と病死した家畜・家禽の収集・処理・利用における機械化・減量化・無害化・資源化処理技術など、非特定汚染源のコントロール技術を強めるべきである。最後に、農村環境総合治理と、農地生態景觀構築技術など、住みやすい農

村環境総合治理技術を改善すべきである。

### (3) 農作物耕作・栽培管理

まず、栽培制度と枠組モデルを最適化すべきである。主要農作物の良質高産出量品種の付属栽培技術を展開し、農作物の光・熱・水・栄養などの資源の配置を最適化し、グリーン高産出量高効率の栽培モデルとを構築すべく、「間作」と「輪作休耕」など農地を休養させる生態栽培モデルと技術、食糧・飼料兼備型栽培モデルの耕作技術を開発すべきである。また、作物の持続可能な高産出量・高効率の耕作・栽培理論を健全化させるべきである。農作物成長観測と精密栽培技術、主要産出区の土壌肥培と耕作技術、農作物異変の過程及びその損失減少・効果増大の調節・コントロール技術、周年均衡産出増加技術、コスト節約・環境保護・産出増加技術など、研究及び産品の研究・開発を推し進めるべきである。最後に、集約化・精密化・簡素化した生産管理技術をレベルアップさせるべきである。機械化・情報化の生産管理にふさわしい、高産出量・高効率・持続可能な作物耕作栽培技術体系の構築を早めるべきである。

### (4) 家畜・家禽・水産物の養殖

まず、規模化した健康養殖技術を発展すべきである。家畜・家禽・水産物の健康養殖モデル、新型加工工芸及びその付属養殖設備を研究・開発すべきである。それから、新型飼料とその生産技術をレベルアップさせるべきである。高効率・安全・環境にやさしい飼料と飼料添加物を研究・開発し、飼料・動物用医薬品の品質安全監督・管理システムを健全化させるべきである。最後に、養殖スマート化管理技術を向上させるべきである。高効率の局部環境に対する精密調節・コントロール、大気（水域）の品質調節・コントロールと汚染物の排出削減、場区の環境浄化、生理と環境の情報のスマート収集、工程防疫、病死した家畜・家禽・水産物の無害化处理、糞尿の資源化利用など、コア技術の工程装備、スマート化した産品を開発するべきである。

## 2) 生態循環農業の発展に関する制度改革

### (1) 法律と基準・規則の設計

まず、生態循環農業の法律体系を健全化すべきである。農薬・肥料・飼料・動物用医薬品などの農業投入品の管理と廃棄物の処理に関する法整備の必要があり、その実行可能性を高めるべきである。それから、国の循環経済促進法、作物残渣焼却禁止と综合利用管理法、家畜・家禽養殖污染防治・整備管理法を健全すべく、生態循環農業の技術基準、規則などの設計を推進すべきである。また、栽培、家畜・家禽養殖、水産物養殖による汚染物排出基準の制度設定を早め、従来の生態循環農業の成熟技術を標準化・規範化させ、応用の規模と範囲を拡大し、普及させるべきである。

### (2) 補償制度の刷新

一つ目は、最終製品の補償制度を設けるべきである。作物残渣還田、高効率・低毒性・低残留農薬、現代的農薬機械、グリーンな防止・コントロール用の産品、有機肥料の使用増加、高標準フィルムへの補償の金額を上げるべきである。資源保護・生態治理・持続可能な発展という目標を巡って、従来の補償制度を健全化させ、最終製品の補償制度を実現させるべきである。二つ目は、政府が牽引し、市場が主導し、多方面が参与する産業化発展メカニズムを建設すべきである。投入を増加し、財政調節の手段を健全し、農林循環経済の重点プロジ

ェクトと示範工程に多元化なる信用貸付を提供した金融機構を奨励し、抵当・担保の範囲を広げ、融資方式を革新し、農業汚染の第三方治理機構への支援を増加し、PPPモードを導入するべきである。

### (3) 監督・管理の模索

その一、管理・保護の責任を明確にすべきである。農業循環経済の責任制を設立し、分業を明確にし、生態循環農業のインフラ施設の管理・保護の責任者が経営主体者であることを明確にし、施設の管理・保護を強めるよう経営主体者を促し、生態循環農業の発展を確保すべきである。その二、監督・審査を強化すべきである。農業循環経済の評価指標体系と評価審査制度を設立し、生態循環農業を評価・審査し、またその結果を優遇政策と関連させるべきである。それから、生態循環農業の監督・検査を徹底し、それを地方政府の業績評価の重要内容の1つとし、業績評価と責任追及制度を設立し、農業循環経済の規範化・標準化した発展を推進するべきである。

「豊かな自然は金銀ほどの価値がある」。これは、中国の生態循環農業の発展の最終的目標である。一方、企業経営者にとっては、「自然」を「金銀」に変えれば、すなわち環境効益を経済効益に転換させるには、制度・メカニズム・技術革新など面で模索し続ける必要がある。将来、生態循環農業の主な発展方向は、清潔化・グリーン化の理念を活かし、農業産業チェーンを伸ばし、新たな農業技術革命に頼り、新たな生態循環農業の発展制度・体系を設立し、現在の現代農業発展の過程に存在する資源環境問題を解決し、農業のグリーン化・生態化を推進し、農業を生産効益型の集約農業・資源節約型の生態循環農業・環境にやさしい生態農業・産品が安全であるグリーン農業を目標とし、農業を発展させていくべきである。

### 参考文献：

- 1 曹湊貴, 江洋, 汪金平, 袁鵬麗, 陳松文, 2017:「稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略」,『中国生態農業学報』, No.9, pp.1245-1253.
- 2 段娜, 林聡, 劉曉東, 聞世常, 張曉軍, 2015:「以沼氣為紐帶的生態村循環系統能值分析」,『農業工程学報』, No.S1, pp.261-268.
- 3 高旺盛, 2010:「堅持走中国特色的循環農業科技創新之路」,『農業現代化研究』, No.2, pp.129-133.
- 4 高旺盛, 陳源泉, 梁龍, 2007:「論發展循環農業的基本原理与技术体系」,『農業現代化研究』, No.6, pp.731-734.
- 5 何琮, 楊敏麗, 2017:「基于国外循環農業理念对發展中国特色生態農業經濟的啓示」,『世界農業』, No.2, pp.21-25.
- 6 胡亮亮, 唐建軍, 張劍, 任偉征, 郭梁, Matthias Halwart, 李可心, 朱澤聞, 錢銀龍, 吳敏芳, 陳欣, 2015:「稻-魚系統的發展与未来思考」,『中国生態農業学報』, No.3, pp.268-275.
- 7 劉金泉, 1990:「保农促工・兴工富县・聚財建农——良性循環經濟發展戰略初探」,『国土与自然資源研究』, No.1, pp.17-19.
- 8 呂娜, 朱立志, 2018:「生態循環農業的發展模式及利益联结研究——基于河南省漯河市的案例分析」,『中国農業資源与区劃』, No.4, pp.83-89.

- 9 孙波, 梁音, 徐仁扣, 彭新华, 王興祥, 周静, 李忠佩, 赵学强, 2018:「紅壤退化与修復長期研究促進東南丘陵区生態循環農業發展」,『中国科学院院刊』, No.7, pp.746-757.
- 10 王晓荣, 郭文娟, 張琪, 2009:「陝北農戶“四位一体”生態農業循環經濟模式实例分析」,『水土保持通報』, No.3, pp.37-39.
- 11 翁伯琦, 王義祥, 王煌平, 罗涛, 廖剑华, 林代炎, 2017:「福建省農業廢棄物多級循環模式優化与集成応用研究進展」,『中国農業科技導報』, No.12, pp.91-103.
- 12 徐文輝, 趙維姪, 2010:「浙江新農村庭院經濟發展模式和樹種選擇」,『江蘇農業科学』, No.1, pp.388-390.
- 13 尹昌斌, 周颖, 2008:「循環農業發展的基本理論及展望」,『中国生態農業學報』, No.6, pp.1552-1556.
- 14 尹昌斌, 周颖, 劉利花, 2013:「我国循環農業發展理論与实践」,『中国生態農業學報』, No.1, pp.47-53.
- 15 張建, 2009:「農業循環經濟理論的探討」,『貴州農業科学』, No.2, pp.141-144.
- 16 趙立欣, 孟海波, 沈玉君, 丁京涛, 張曦, 2017:「中国北方平原地区種養循環農業現狀調研与發展分析」,『農業工程學報』, No.18, pp.1-10.
- 17 Bongiovanni R., Lowenberg-Deboer J., 2004, "Precision agriculture and sustainability.", *Precision Agriculture*, Vol. 5, No. 4, PP 359-387.
- 18 Fishelson G., 1994, "The allocation and marginal value product of water in Israeli agriculture.", In: Isaac J., Shuval H. eds. PP 427-440.
- 19 King, F. H. (1911). *Farmers of forty centuries; or, permanent agriculture in China, Korea and Japan*. Harcourt.
- 20 Smith, A. (2006). Green niches in sustainable development: the case of organic food in the United Kingdom. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 24(3), 439-458.
- 21 Xuan, L. I., Baotong, D. E. N. G., & Hua, Y. E. (2011). The research based on the 3-R principle of agro-circular economy model-the Erhai lake basin as an example. *Energy Procedia*, 5, 1399-1404.
- 22 Zanden, J. V. (1991). The first green revolution: the growth of production and productivity in European agriculture, 1870 - 1914. *The Economic History Review*, 44(2), 215-239.

## 北京生態農場の生産行動分析

李寧輝・李麗原・楊東群

中国農業科学院農業経済与発展研究所

### Abstract

This article analyzes the development of ecological farm in Beijing based on the survey of 14 ecological farms. It is shown that most of the farms are financially supported by government finance and funds in their establishment in order to support the development of ecological agriculture. The main products produced in most farms are vegetables with livestock as sideline, and half farms have no authorized certification of non-pollution, green, or organic products because of high cost and/or credibility, which is unfavorable to the development of ecological farm. The universal problem of ecological farms in Beijing is that the scale of production of most farms is too small. In other words, the development of ecological agriculture in China is somehow out of line with the market demand. More attention should be paid to some key issues such as production management models, operation philosophy, etc., in order to meet the market conditions and behaviors, as well as the demand of ecological environment.

### 1 生態系農業発展の歴史過程

経済の発展と国民生活クオリティーの向上により、高品質で、安全で、栄養豊富な食べ物に対する人々のニーズが増加している。このような高品質で、安全で、栄養豊富な食べ物の生産にはよい農業生態環境が必要である。このような社会ニーズに答えるため、生態系農業生産という新しい生産形態が徐々に生まれ、発展し成長してきた。

生態系農業という概念は 1971 年アメリカのミズーリ大学土壌学者のウィリアム氏が土壌学の視点から提出した概念であり、彼の認識では土壌腐植質によって優れた土壌条件が作られ、そこで健康な作物を作ることができる。少量の施肥は作物の栄養を促進し、環境汚染を起こす心配もない。化学農薬を使つてはいけない理由として、農薬は特定の濃度に達しないと効果がないため、その時点で環境汚染を引き起こす可能性がある。1976 年、イギリスサセックス大学の農学家ワシントンは自らヨーロッパの有機農場で実践調査とテストを実行した。1981 年に生態系農業に対する新しい見解を提出し、彼女の観点によると「生態系農業とは生態の観点から自己維持できる、経済的に可能で、そして環境等多くの方面において大きな、長時間にわたる且つ受け取れない変化を起さない小型農業システムを指し、具体的な措置としてはできるだけ有機肥料を使用し、自然の状態で作物の生産や養殖などを行い、できるだけ多くの再生可能資源を外部から低投入するが、農業機械の使用を拒まない農業のことである。

1970-80 年代から、世界大部分の国の研究者たちは生態系農業に対し探索と実践を行い、生態系農業は世界的に認められるようになった。一部の研究者によると、アメリカの生態

系農業、有機農業、ヨーロッパの生物農業、生物動力農業、低投入農業等、そして日本の自然農業など、いずれも特徴と実践において本質的な違いがなく、生態系農業と称されることができる。

1980年代始め、生態系農業の理念は中国に入り、すぐに学术界から注目され、同時に理論研究と実践活動が展開され、中国の特色に適した生態系農業システムが生まれ、成長し続けている。ここで生態系農業システムの関連研究内容を、主に生態系農業に対する認識、発展モデルと技術の要点を説明する。

第一、生態系農業への認識。大多数の学者は中国での生態系農業の発展を賛成し提唱している。生態系農業は中国の農業現代化建設を促進でき、農業の持続可能な発展を実現し、さらに土地の砂漠化を改善でき、貧困の緩和や食品安全性の保障、自然資源の合理的な利用に貢献できると考えている。

第二、生態系農業のモデルと技術。実践した典型的なモデルと関連技術は十のモデルにまとめられる。具体的には、(1) 北地方「四位一体」生態モデルと関連技術；(2) 南地方「豚－メタン－果」生態モデルと関連技術；(3) 平原地域の農林牧複合生態モデルと関連技術；(4) 草地生態回復と持続的に利用できる生態モデルと関連技術；(5) 生態栽培モデルと関連技術；(6) 生態牧畜業生産モデルと関連技術；(7) 生態漁業モデルと関連技術；(8) 中山間小さい流域総合整備モデルと関連技術；(9) 施設生態系農業モデルと関連技術；(10) 観光生態系農業モデルと関連技術。

## 2 生態農場モデル

1960年代以来、イギリス、アメリカ、日本、フィリピンとインド等の国では相次いで典型的な生態農場が作られ、優れた総合効益が得られた。1970年代から中国でもいくつかの異なるパターンの試験的な生態農場が作られた。例えば、南部の広東珠江デルタ地域の桑基魚塘、蔗基魚塘、果基魚塘（伝統的な生態循環様式で、魚の養殖と桑、きびと果樹の循環生産、養殖池の畦に作物や木を植え、リープなどが餌となり、魚の糞は池の土壌の養分となり、植物の肥料となる）等があり、これらの農場は長期的な農業生産実践で作られた生態農場の雛形であり、生態学理論に基づき、自然条件を十分に生かし、ある特定地域内で作られた農業生産システムである。このシステムにおいて、土地や土壌条件に合わせた農業生産構造と生産物の合理的な配置を実現し、最小限な資源とエネルギーの投入で、最大限の生産物作りを行うなど、生態系のバランスと生産調整を実現する。

1975年以来、中国生態農場の農業生産モデルは徐々に国内の生産者に受け入れられ、迅速な発展を遂げてきた。いま中国で実施している生態系農業モデルは生態循環経済モデルとして、いくつかのパターンにまとめられる。その主なパターンは、(1) 稲魚共生の生態系農業モデル、「水田養殖として、稲と魚の共存と豊作」というパターンは各地で使われている；(2) 資源のマルチ循環利用の生態系農業モデルは、農作物の茎残渣－養豚－メタンガス－水田－農作物の茎といった一段階や二段階のバイオ転換循環利用構造を利用し、メタンガスを中心に動いている；(3) 水産養殖業をメインにした生態系農業は、主に河川や湖、低湿地、海岸沿いの干潟地域などで、立体養殖の形で食物連鎖を利用した作物－家禽－メタンガス－魚の循環系統が形成している；(4) 農、牧、漁が全面発展した生態系農業モデルは、稲の栽培を中心に、生態の動態平衡の保護と改善をメインに、汚染のない、或

いは低汚染の再生可能エネルギーの獲得と総合利用をメインに、農、林、牧副漁業と加工業の発展を促し、経済効益の最大化を求めつつ、生態環境の保護と改善を実現する。

### 3 北京生態農場の発展状況と課題

大都市の市場条件に恵まれていることから、北京の生態系農業の発展は中国でもトップクラスであり、これらの農場は伝統農業の長所を吸収し、現代的科学技術と結びつけ、さまざまな生態モデル、技術装備などの農業生産を行い、大きな成果を成遂げた。

北京生態系農業の発展状況をより深く知るために、2014年12月から2015年1月までに北京市14箇所の生態農場を対象にアンケート調査を行った。この14社の生態農場（付録参照）は、A 愛豊収家庭農場、B 分享收穫農場、C 鳳凰公社農場、D 平人農場、E 悟博苑農場、F 想田会社（農場）、G 北京永順課野菜栽培有限公司、H 美田陽光農場、I 諾亜農庄、J 三分地有機農場、K 德潤屋生態農場、L 北菜園農産品産銷專業合作社、M 沱沱公社有機農場、N 小毛驢市民農園である。

調査内容は会社の基本状況（設立に関する情報、人員状況、専門家の有無、栽培計画の策定と実施の責任者など）、生産、販売、市場等の情報（例：栽培或いは養殖工作のアウトソーシング状況、配送状況、クライアント数及び変化、主要クライアントの地域構成、販売方式及び市場シェア、配送方式、支払い方式、販売価額及季節の変動、主要栽培野菜品種及び栽培方式等々。またオーガニック肥料など肥料の状況、病虫害と対応措置など）、消費者とのつながり方、情報の伝達状況、消費者のニーズを把握する方法、認証状況（無公害、エコ、オーガニック）、今後の発展計画などきめ細かく聞き取り調査を実施した。

設立時期を見ると、E、K 農場は2004年に創立、F 農場は2006年に創立、C、M、N 農場は2008年に創立、D、I 農場は2010年に創立、A、G、H、J、L 農場は2011年に創立、B 農場は2012年に創立した。すべての農場は2004年以降の設立となる。

設立に最も重要なのは資金の問題で、多くの農場は財政或いは基金等の支持を得ていた。得られなかったのは二つの農場しかなかった。財政或いは基金とは、例えば農業機械補助金、有機肥料の補助金、税金減免措置、政府からのプロジェクト資金、ビニールハウス補助金等である。土地は村の集団所有地からの賃貸、或いは村が担保し、農家から借りた。14の農場の平均土地面積は22haであるが、差が大きく、一番大きいI農場は100ha、一番小さいK農場は0.8haしかない。農場の従業員も同じように平均値は70人だが、一番多いG農場（会社）は300人で、一番少ないA農場は2人であった。人件費を抑えるため、すべての農場は臨時従業員や季節性の従業員を雇っている。財政或いは基金等の支持は農場の経営規模と関連し、規模が大きければ大きいほど、得られる支持も大きく、支持される範囲も広い。これも政府或いは社会が農場を支持し、大きく強くなってほしいという傾向を表している。

これらの農場の農業生産は基本的には有機野菜の栽培がメインで、養殖を兼業しているところもある。生産中使用される肥料は全部有機肥、堆肥等である。病虫害の防治方法としては殺虫灯、防虫板、防虫網、生物製剤等がある。雑草は全部人工除草方法を使用する。以上の内容で分かるように、これらの生産管理措施はどの生態農場でも取り入れるべきものである。

14の農場で、製品の認証を行っていないのは7つで（無公害、エコ、オーガニック）、

理由としては費用と信憑性が挙げられる。7つの農場は：A、B、D、E、H、K、N農場で、うちE農場はCSA及びPGS認証を目指している。その他の7つ認証された農場において、C農場はデメテル認証とEU認証、F農場は無公害認証、G農場（会社）は有機、エコと無公害認証全部持っている。I農場は数十の野菜品種の有機認証、J農場は有機認証を持っているが、エコと無公害認証はない。L農場の全品種は有機認証を持ち、M農場も有機認証を受けている。調査データによると、認証を受けていない農場は基本的に経営規模の小さい農場で、認証費用が高いため、認証を受けることが難しい。ある程度の規模と利益に達した農場だけ、製品認証を行う。認証を受けていない小規模農場でも市場のニーズに対応する努力を行う。

今後5年の経営規模に対する展望との質問に対し、7つの農場は現状維持と答え、農場内部の潜在力を発掘し、効率向上を図る。この7つの農場は、A、D、E、H、I、K、Nである。その他の7つの農場は経営規模を拡大したいとの回答であった。その主な理由として、需用者のニーズがあるためである。したがって、生態農場の生存と発展は、農場が実現できる生産能力と市場条件によって規定される。

今後の発展計画として、主に農場を大きく強くして、生産の細分化、エリアの美化、着実に生態循環農業を実施する。

しかし、北京生態農場の発展現状からは、ひとつの普遍的問題が読み取れる。すなわち農場規模が一般的に小さい。A農場は通常固定従業員2人、臨時従業員1人。C農場従業員数は22人。D農場は20人、そのうちアルバイトは2人。E農場は家庭労働力がメインで、臨時的に農村労働力を約8人雇う。J農場従業員人数は十数人で、長期的な従業員は10人、臨時従業員20-30人。K農場従業員人数は12人。M農場正式従業員人数は18名、ビニールハウス契約従業員は60名、季節の臨時従業員は40名ぐらい。規模が最も大きいのはG農場（会社）で、従業員300人以上、そのうち中高級農芸師2人、中級農芸師5人、技術を習得した労働者は68人である。

小さい経営規模は以下いくつかの面において問題が生じる。

1) 生産管理方式と経営理念が遅れる。このような経営規模が小さい農場は創立した際、ある程度家庭工場の生産性質を持ち、生産する製品は主に家庭で消費され、親戚と友人、知り合いが購入する。現代生態農場があるべき管理方式と経営理念を持っていない。

2) 中長期の経営発展計画がない。経営規模が小さい、市場競争力が弱いため、このような規模の小さい農場は未来の発展を考えると、自然の成り行きで、発展より生存を重視している。

3) 科学技術力が足りない。技術職がなく、発展ポテンシャルがなく、生態農場のこれからの発展に影響する。

4) 製品認証を行う経営力がないため、製品の市場競争力に影響する。 国民生活クオリティーの向上とともに、環境に優しい安全性の高い食品の市場ニーズがますます大きくなる。無公害野菜、無汚染果物、エコ食品はすでにその市場ポテンシャルを発揮し、生態系農業の経済価値は大幅に向上している。一方、現在中国の生態系農業の発展状況はまだ市場とかけ離れている。そのため、生態系農業発展のキーポイント、即ち生産管理方式、経営理念等と市場ニーズと発展の規則に合致し、社会発展による生態環境への要求や、問題の解決等を通じて、生態農場を発展させる。

附表、調査対象農場の基本状況

会社名称	所在地	会社成立 時間	財政或いは基金等からの 支持状況	従業員総人数、募集ルー ト、そのうち各部署の職能 及び従業員人数	現在の栽培面積及び土地の由来	認証状況（無公 害、エコ、オー ガニック）	今後の発展計画
A 愛豊収 家庭農場	順義区	2011 年	ない	固定従業員 2、臨時従業員 1、近くの村の住民。春と 秋など忙しい季節の 20 日 間ぐらいはさらに 2 人増え る。	村の集団農地 17 ムー。	ない	直営スーパーの経営 をめざし、ほかの農 場の製品も販売す る。農場の宿泊条件 の改善。
B 分享収 穫農場	順義区	2012 年	オーガニック肥料を購入 する時は政府からの手当 てがある。	人数は 20 人、ボランティア ア 2 人。毎年約 30-40 名の ボランティアが来る。位裁 培責任者一人、養殖責任者 一人、そのほかにカスターマ ーサービスマスター、食育 宣伝、マーケティング等の 担当者がいる。	順義基地栽培面積 40 ムー、そのうち ビニールハウス 26 個（400 平方メー トル/個）、現在 24 のビニールハウス は野菜の栽培（3 つがきのこ）、養豚 16 匹、鶏や烏骨鶏（林地 100 ム ー）。通州基地には 50 ムーの露地が ある。通州基地で養豚 30 匹。	ない、資金支持 があれば考える。	大きく強く。
C 鳳凰公 社農場	海淀区	2008 年	生物動力農業トレニン グを開催する時間連基金 を申請し、学生の資源に 使った。	22 人。農耕部 10 人、ほと んどが中高年で、栽培経験 のあるほかの地方から来た 農民。食育部 5 人、フロン ト 1 人、客室 1 人、セール ス部 2 人、接待部 1 人、技 術部 2 人（生物動力農業 1 人、農産品加工 1 人）。	30 ムー農地、すべて露地。ビニール ハウス 1 個、果樹の育苗に使用。果 樹園 38 ムー。	デメテル認証と EU 認証。	今後は 2 年に渡る 「鳳凰耕読書院」の 計画があり、生物動 力農業と国民管理の 要素、黄帝内経等と 結びつけた。トレ ニング対象は地元 帰ってきた青年、若 い農民たち。

D 平人農場	昌平区	2010 年	政府のイチゴ手当で 3 万 /50 メートル。	20 人、そのうちアルバイト 2 人。	レンタル農地 47 ムー、賃金 1500 元/ムー。サンルーム 6 個、冷房温室 4 個。	ない。費用と信頼性を考えて。	生産の細分化、園地の美化。畑の引取りと農家体験などの形式的の消費モデルを導入。
E 悟博苑農場	順義区	2004 年	ない	家庭労働力をメインにした経営モデルで、村からも臨時労働力を約 8 人雇っている。	順義の村の集団土地をレンタル。60%は露地、20%は冷房温室、栽培と養殖両方ある。	ない、CSA 及び PGS 認証を努力している。	農業技術を完成させ、着実に生態循環農業を進展させ、初級加工も適度に加える。
F 想田会社（農場）	延慶县	2006 年	農機手当で、免税政策、一部の乳牛テストプログラムがある。	人数 70 人以上。管理職 10 人以上。生産（野菜栽培 10 人、乳牛養殖 13 人）、配送、カスタマーサービス部門が三つ。配送部運転手 6 人、主管 1 人。	村で担保し、農家と農地レンタル契約を結び、750 元/ムー、17 年契約。農地を二つの部分に分け（露地 20 ムーと緑福隆の 3 つのビニールハウス、各ビニールハウスの面積は 3 ムー）、2013 年一部の露地（大約 10 ムー）が農業局に回収され、森林育成に使われた。	無公害認証。	
G 北京永順華野菜栽培有限公司	朝陽区	2011 年	植物保育ステーションから防虫板、青板、鉦物オイル、クジン菊属等が提供され、各レベルの政府プロジェクトから粉砕機、オゾン機（茎発酵し	従業員 300 人以上、そのうち高級農芸師 2 人、中級農芸師 5 人、技術工 68 人。	本部基地の栽培面積 268 ムー、サンルーム 26 個、20 メートルの連続日光温室二つ、冷房温室 10 個。	オーガニック、エコと無公害認証済み。	配送などほかの販売方式を考える。

			てから畑に戻される）等 が支給された。					
H 美田陽 光農場	順義区	2011 年	ローリングマシン、風口 を開くマシン、農業用小 型機械（耕地機）等の 50%~70%の手当てが提供 された。冷凍庫手当て。 温室補手当て、で一時的 に 6 万/個で支給される。	固定従業員 15 人（90 元/ 日）、忙しい季節はさらに 20 人のアルバイトを募集 し、1-2 个月（100 元左 右）働いてもらう。その他 の季節のアルバイトは十数 人ぐらい。	村の集団用地と村民の個人用地をレ ンタル。面積 120 ムー、そのうち露 地は 80 ムー、21 個のビニールハウ ス（600 平米/個）、冷房温室 6 個 （600 平米/個）。	認証していない し、するつもり もない。無料な ら考える。	今年は宣伝ではな く、クライアントの 維持、サービスの向 上などに力を入れ る。	
I 诺亜農 庄	平谷区	2010 年	オーガニック栽培の手当 てはないが、北京市が一 般野菜栽培向けの支持政 策、例えばビニールハウ ス手当て等を受けたこと がある。	従業員 250 人、管理職は農 業専攻の大学生と山東出身 の技術者、工人は地元の農 民。	土地面積 1500 ムー、三つに分け、栽 培面積 700 ムー、オーガニック認証 をもったのは 300 ムー、土地は流 転したもの。オーガニック認証をも らったのは露地 100 ムー、ビニール ハウス 200 個。	数十種類の野菜 はオーガニック 認証済み。	産能の安定、販売の 増加。会員集中地域 を重点に会員を發展 する。	
J 三分地 有機農場	順義区	2011 年	国家が支給したビニール ハウス手当て。そのほか にも土地、農機、農師手 当てなどがある。	従業員数十人、生産主管 1 人、グループ管理人 2 人、 固定従業員 10 人、臨時従 業員 20-30 人。養殖部 1 人、セールス部 2 人（カス タマーサービスを含む）。 配送車 2 台（1 台が冷蔵 車）、担当者 2 人。包装部 門 2-4 人。	2013 年年末から北務鎮の農地を 160 ムーレンタル（期間 30 年、賃金 50- 60 万/年）。24 個のビニールハウス、 各ビニールハウスの建築面積は 1.5 ム ー、栽培面積 1.2 ムー。露地 20 ムー 以上。現在使用されえいるのは 5 つ の野菜ビニールハウスと 3 つのイチ ゴビニールハウス。	オーガニック認 証済み。エコと 無公害認証はし ていない。	現在使われていない ビニールハウスがあ るので、今後の販売 モデルの改善、例え ば配送量、配送時間 等の調整を実施す る。	

K 徳潤屋 生態農場	昌平区	2004 年	香港のコミュニティから インタネーションシッププロジ ェクトの支持を受けた。	従業員 12 人、募集ルー トは北京、そのうち管理 者 1 人、カスタマーセンタ ー 2 人、栽培 6 人、包装 1 人、配達 2 人。	約 12 ムー、地元の農家から 29 年間 レンタルした。そのうち、露地面積 7 ムー。	ない	流れに従う。
L 北菜園 農産品産 銷專業合 作社	延慶県	2011 年	各級政府からの農業手当 て及び支持。	120 人、そのうちセールス 部（内勤部）5 人、事務所 （業務、セールス、カスタ マーセンター等）6 人。生 産部門は約 100 人、ほとん どは地元の村民。	総面積 400-500 ムー、300 以上のビニ ールハウス、一個のビニールハウス 約 400 平方メートル、4 部分に分けら れている。サンルーム、春秋ルーフ 等がある。土地は小豊营村の流転土 地。	すべての品種に おいてオーガニ ック認証を受け た。	
M 沱沱公 社有機農 場	平谷区	2008 年	野菜ビニールハウス支持 手当て及び当地政府の支 持、平谷区からは情報端 末モニターが支給され、 地域と直接ネットで接続 できる。	農場正式職工人数 18 名、 ビニールハウス固定社員 60 名、季節の臨時社員 40 名ぐらい。生産技術部、内 勤部とセールス部がある。 そのうち技術主管 1 名、技 術員 3 名。従業員の地元 率：外省の割合は 1:2。	総面積 1050 ムー、そのうち施設面積 300 ムー以上、露地 700 ムー。春秋ル ーフ 32 個、面積はそれぞれ 2.5 ム ー。レンガ製サンルーム 62 個、面積 それぞれ 0.6 ムー。伝統的温室 30 個、面積それぞれ 1.2 ムー。露地は野 菜（200 ムー）のほか、雑穀やピーナ ッツなどを栽培している。養殖面積 は 60 ムーぐらい。	オーガニック認 証済み。	做生鮮業界のトップ となり、今後連合農 場として発展させる 可能性が大きい。規 範化建設に力を入れ る。
N 小毛驢 市民農園	海淀区	2008 年	当初は海淀区政府支持の 下で成立した、資金支持 と土地支持（3 年賃金無 料）を含む。	現在の従業員人数は、畑仕 事 20 人（長期固定、地元 村民、40-60 歳の女性がメ イン）；事務室 30-35 人、 そのうち宣伝部 5 人（はが きなどの宣伝材料作り、民	小毛驢は後沙涧村で 230 ムーの面積 を有し、20 個の低層小型冷房温室 （200 平方メートル）以外は全部露地 （80 ムー）。5-6 キロ離れた柳林村に はレンタル畑 150 ムー（実際の栽培 面積は 70 ムー）、6 個ビニールハウ	認証していない。	教育を重視し、影響 を拡大。

				芸品作り）；会員部 5 人（レンタル業務と配送業務）；栽培部技術員 2 人；財務 2 人。内勤部 4 人；厨房 4 人；養殖部 5 人。その他の支部柳林村に 5 人。	ス（全部サニタールーム、1 ムー地/個、現在使用しているのは 4 つ）。		
--	--	--	--	---	--------------------------------------	--	--

## 中国の食料安全保障と気候変動に関する JIRCAS との共同研究

陳永福<sup>1</sup>・韓昕儒<sup>2</sup>・錢小平<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 中国農業大学経済管理学院、<sup>2</sup> 中国農業科学院農業経済与発展研究所、<sup>3</sup> JIRCAS

### Abstract

Research on China's food outlook and the impacts of climate change on China's agriculture was carried out by collaboration between China Agricultural University and JIRCAS over the past 20 years. On one side, the simulated results of China's food balance projected to 2030 show that China's net grain import will reach 128 million tons, and net oilseeds import, and net livestock and aquatic products will reach 84.24 million tons and 8.93 million tons, respectively. It is important to reshape China's food security strategy for policy makers. On the other side, the climate change impacts on maize yields are quantified using statistical models with panel data from 3731 farmers' observations across nine sample villages in Hebei Province of China. The impacts of climate change and the simulated impacts on maize yields based on scenarios of Representative Concentration Pathways 2.6, 4.5, 6.0, and 8.5 from the global climate models of Model for Interdisciplinary Research on Climate version 5 (MIROC5) and Meteorological Research Institute Coupled General Circulation Model version 3 (MRICGCM3) were then calculated, analyzed, and explained. Based on scenarios in the 2050s, the biggest loss for maize yields per hectare for the full sample accounts for about one-tenth of the mean maize yield from 2004 to 2010, and all of the villages are impacted. Hence, it is important to help farmers adopt an adaptation strategy to tackle the risk of loss for maize yields from climate change.

### 1 JIRCAS との共同研究

国際農林水産業研究センター（JIRCAS）との付き合いは私の指導教員の中川先生から JIRCAS のことを知ってから始まる。当時中国食料安全保障問題に関する論文を構想している段階で、中川先生から「JIRCAS にモデルの勉強をしてきたら」と言われ、先生の紹介で一週間モデルの勉強で JIRCAS に来て、大賀先生が忙しかったこともあり、小山先生からモデルを教わった。その関係で錢先生や中本先生など多くの JIRCAS の研究者と交流ができた。この勉強はのちの中国食料需給モデルの基礎を築いた。

帰国後、小山先生と錢先生の協力の基、JIRCAS で古家先生との共同研究の機会も得られた。その後 JIRCAS との共同研究プロジェクトに参加し錢先生との共同研究が継続し、研究課題の推進や大学院生の共同指導などを通じて一層共同研究が強化され、研究成果もあげられた。

共同研究は主に食料需給分析特に食料安全保障と気候変動に関するシミュレーション分析を中心に進めた。共同で『2030 年中国食料需給展望』と『世界コメの需給と予測』（図 1）を出版した。これらの分析は“International Food and Agricultural Policy Simulation Model”と

FAO の“World Food Model”から多くのヒントがあった。

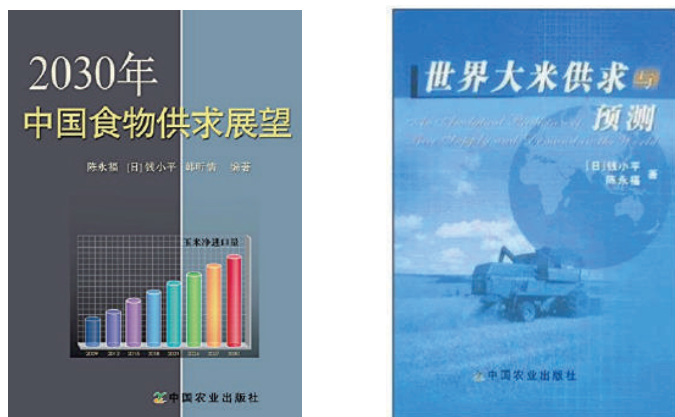


図1 共同出版物

著書以外に、人民元の値上げによる世界コメ市場への影響研究 (Chen, Y., Chien, H., Furuya, J., & Koyama, O., 2009<sup>[14]</sup>)、リカードモデルに基づく気候変動による中国農作物への影響研究 (Chen, Y., Wu, Z., Okamoto, K., Han, X., Ma, G., Chien, H. and Zhao, J., 2013<sup>[15]</sup>)、中国農村固定観測点データに基づく農業政策、気候要因と穀物生産の研究 (Yong-fu CHEN, Zhi-gang WU, Tie-hui ZHU, Lei YANG, Guo-ying MA, Hsiao-ping Chien, 2013<sup>[16]</sup>) など多くの論文を発表した。

JIRCAS との共同研究の中、人材育成の面から大学院生の教育にも活かされ、共同研究に大学院生も参加し、コメ市場、食料需給、日本の農業政策、トウモロコシと飼料の需給など多くの研究に関わり、論文も多く発表された。例えば、中国の飼料用食糧の需要量予測 (韓昕儒, 陳永福, 錢小平, 2014<sup>[5]</sup>)、中国豚肉の価格形成に関する研究 (陳永福, 馬国英, 吳蓓蓓, 錢小平, 2011<sup>[9]</sup>)、気候要因、中間投入とトウモロコシ単収の増加 (麻吉亮, 陳永福, 錢小平, 2012<sup>[7]</sup>)、QUAIDS 手法に基づく中国城鎮地域農民工の食料消費 (Xinru Han, Yongfu Chen, 2016<sup>[17]</sup>) と中国西部都市所得階層別豚肉需要の影響要因 (Jingjing Wang, Yongfu Chen, Zhihao Zheng, Wei Si, 2014<sup>[18]</sup>) と中国によるタイ米輸入拡大の要因分析と展望 (陳永福, 羅万純, 錢小平, 古家淳, 2007<sup>[11]</sup>) などがある。

## 2 主な内容共同研究成果

共同研究は中国との共同研究プロジェクトの枠組に組み込まれ、食料安全保障に関わる問題と日本の農業政策の中国に対する啓示に関する研究が行われた。

著書『2030年の中国食料需給展望』はある意味では JIRCAS との共同研究の総括である。中国食料需給モデル (China Food Demand and Supply Simulation Model, 略称 CAU-JIRCAS CFDSM) と、河北省のトウモロコシ需給モデル (Hebei's Maize Demand and Supply Simulation Model, 略称 CAU-JIRCAS HMDSSM) は共同研究によって構築された。

本の中ですでに公表されたモデルによるシミュレーションの成果の一部を抜粋してここで述べる。

中国食料需給モデル (CAU-JIRCAS CFDSM) の 2030 年予測では、2010 年をベースライ

ンにし、2011 から 2030 年までの予測となっている。対象品目は穀物（コメ、小麦、トウモロコシとその他の穀物）、油料と加工品（大豆は油料に含まれる）、畜産物（豚肉、牛肉、羊肉、家禽肉、家禽卵、乳製品）と水産物である。

(1) 2030 年まで中国の穀物供給は不足の局面にある。需給ギャップは 0.66-1.99 億トンで、中位予測では 1.28 億トン、自給率は 80.5%までに下がる。そのうち、トウモロコシは最も輸入が多く、2030 年に純輸入量は 0.72-1.60 億トンに達し、中位予測では 1.12 億トンになり、自給率は 67.7%まで下がる。穀物の需給構造からみても、全需要の中で食用需要の割合が大きく減少するに対し、工業用需要の比重は大幅に増加する。

(2) 仮にトウモロコシの工業加工用需要を生産量の 30%以下に制限するならば、2030 年の中国穀物貿易量の振れ幅は純輸入の 2128.2 万トンから純輸出の 2542.6 万トンまでとなり、中位予測では純輸出 269.8 万トンで、基本的に自給自足できる。そのうち、トウモロコシは純輸出になり、中位予測による純輸出量は 1838.2 万トンとなる。

(3) 油料作物と植物油の需給ギャップはさらに拡大し、粕類の生産量は基本的に国内需要に対応できる。中国における油料作物の純輸入量は 2030 年に 6605.7-9374.1 万トンに達し、中位予測では 8423.9 万トンである。植物油の需給ギャップは 888.1-1073.6 万トンで、中位予測による不足量は 1010.1 万トンで、粕類の純輸出量は 452.8-2039.1 万トンで、中位予測では 1496.0 万トンとなる。

(4) 2030 年の畜産物と水産物の生産量は基本的に国内需要に満たす方向で、貿易量のレンジは純輸出の 611.1 万トンから純輸入の 1698.6 万トンまでで、中位予測では純輸入の 893.4 万トンが予測された。そのうち、各シミュレーションにおいては牛肉と家禽肉の需給ギャップが存在し、供給不足となっている。仮に、畜産物と水産物の高位予測の純輸入量の場合、国内での飼料需要が減り、トウモロコシの純輸入量は 1 億トン以下になる可能性が高くなる。すなわち、畜産物と飼料用食糧の代替関係に輸入代替の不確実性が存在し、今後の食料安全保障政策の方向性と選択に大きく影響される。

以上の結論から分かるように、経済成長率、産業発展政策とその他の要因はトウモロコシの需給情勢を大きく左右することになる。大豆輸入量は 1 億トン近くなる状況の中、今後トウモロコシの需給変動に大きな不確実性があり、言い返せばトウモロコシの需給問題は中国の食料安全保障ないし世界の穀物市場にとって最も影響力の大きいファクターとなっている。

トウモロコシの主産地の一つである河北省での研究では、CAU-JIRCAS HMDSSM によるシミュレーションの結果を見ると、2030 年に河北省のトウモロコシ需給バランスは純移出 994.0 万トンから純移入 2846.0 万トンまでのレンジで振れる。まず、地下水と気候要因の単収への影響を考慮しない前提での予測では、2030 年の河北省トウモロコシ生産量は 3129.7 万トンに達し、工業用需要を制限しない条件で、2030 年の同省での需要量は 3252.2-4080.7 万トンに、うち中位経済成長案では需要量は 3633.6 万トンとなり、この状況では年間他の省からの移入量は 122.5-950.9 万トンが必要で、うち中位経済成長案では純移入量は 503.9 万トンとなる。仮にトウモロコシ加工用需要を制限する場合、2030 年の河北省のトウモロコシ移出量は 978.3-994.0 万トンとなる。次に、気候と環境要因の単収への影響を考慮する場合、2030 年の各仮定条件のシミュレーションとも供給不足に落ちる状況で、他の地域から移入する必要がある、その量は 161.9-2846.0 万トンとなる。従って、工業化と都市化の進

展によって、農業産業特に工業やエネルギー産業に近いトウモロコシ産業はこれまでにない構造変化が起きている。同時に、食糧主産地の生産は水資源と土地資源の制約をますます受けることになる。そのため、政府は情勢に応じて適切な産業政策調整を図る必要があり、これも食料安全保障を保つ重要な手段である。

全体と地域の二つの分析を総合すると、本書の政策提案としては食料安全保障を確保するための戦略と策略と食料供給チャンネルとの結合が必要で、有効な食料安全保障体系を構築するために、具体的には、

中国食料安全保障を確保するための戦略の視点から、国内農業生産を重要視し支持することだけではなく、国際食料市場と価格形成への関心や関与を強化すべきである。このためには国内の基幹研究部分と政府の関係部署が協力し、国際機関との協力で、国際食料供給応対警戒機能を持つ情報センターを設置し、国際食料市場の機能や運用方式、国際物流ネットワークを有効利用し、物流、エネルギーと食料戦略、国家の安全を融合する考えの上で、長期的な有効安全保障体系を構築する。

食料安全保障の策略を考えた場合、まず食料需要を国際的な視点を持つことが必要で、農業資源豊かな国々と農業協力を展開しウィンウィンの関係を築く。貿易や物流を盛んな地域を中心に、重点的に農業技術普及と農業基盤建設を強化する。これらは国際食料市場の安定と持続的に食料供給の確保を可能にし、安定的な物流も確保される。次に、畜産物の需要増加に対し、国内畜産物のサプライチェーンの確立、輸入飼料の確保等を通じて国内畜産産業の持続発展を果たし、農家の利益保護と国の戦略的な安全を保持する。

説明を加える必要があることは、上記のシミュレーション結果は、過去発生した状況をベースとして計測した結果で、注意すべきことはこれらの結果は一つの可能性を示し、警戒を促す意味とのことである。

著書以外に論文も発表され、共同で気候変動による河北トウモロコシへの影響評価（An assessment of climate change impacts on maize yields in Hebei Province of China<sup>[19]</sup>）もその1つであった。この研究の結果では、気温上昇による河北トウモロコシへの影響はマイナスで、降雨はプラスの影響を示した。緯度 39.832 度より低い村と経度 114.839 度より高い村の受ける温暖化の負の影響はより大きいことが分かった。2050 年のシミュレーション結果では、ベースラインと比べ河北のトウモロコシ単収は 1 割の減少の可能性を示した。従って、温暖化対応策として村レベルへの公共総合サービス支援システムの構築する必要があり、末端での対応力の向上が求められている。

### 3 未来への期待—協力と交流の強化と双方の研究進化

1997 年からの JIRCAS との共同研究は 20 年が過ぎ、今後の共同研究を以下のことで期待したい。

- ・共同研究の継続と双方にとってウィンウィンの関係を築く。
- ・研究領域を食料安全保障、グローバルな食料モデルの進展、栄養面での食料安全保障研究へと拡大する。
- ・中日農業政策面での研究の強化。
- ・新たなレベルの共同研究へと期待する。

## 参考文献

- 1 陳永福,韓昕儒,朱鉄輝,錢小平,蔡鑫,朱文博.中国食料需給分析及予測:基于貿易歴史、国際比較和模型模擬分析的視角[J].中国農業資源与区劃,2016,37(07):15-26. (中国食料需給分析と予測:貿易の歴史、国際比較とモデルによるシミュレーションの視点)
- 2 楊蕾,錢小平,陳永福,武志剛.河北省玉米供給反応研究——基于2003~2010年農家層面的動態面板分析[J].中国農業資源与区劃,2016,37(07):78-86. (河北省におけるトウモロコシの供給反応研究—2003~2010年の農家パネルデータに基づく分析)
- 3 蔡鑫,陳永福,韓昕儒,朱鉄輝,錢小平.日本農業支持政策的最新趨勢及啓示[J].中国農業資源与区劃,2016,37(07):45-53. (日本の農業支持政策の動向と中国への啓示)
- 4 韓昕儒,李国景,錢小平,陳永福.中国畜産品需給變動分析及展望[J].農業展望,2015,11(05):72-81. (中国畜産物需給變動分析と展望)
- 5 韓昕儒,陳永福,錢小平.中国目前飼料粮需求量究竟有多少[J].農業技術經濟,2014(08):60-68. (中国の飼料用食糧の需要量はいくら必要か)
- 6 王晶晶,錢小平,陳永福.我国生豚産業鏈價格伝達の非対称性研究——基于門限誤差修正模型の実証分析[J].農業技術經濟,2014(02):85-95. (我が国豚のバリューチェーンにおける價格伝達の非対称性研究—閾値誤差修正モデルによる実証分析)
- 7 麻吉亮,陳永福,錢小平.氣候因素、中間投入与玉米单收増長——基于河北農戸層面多水平模型の実証分析[J].中国農村經濟,2012(11):11-20. (氣候要因、中間投入とトウモロコシ単収の増加—河北省農家のマルチレベルモデルによる実証分析)
- 8 朱鉄輝,茹蕾,陳永福,馬国英,錢小平.利用政策性金融貸款实施農業基礎設施建設的理論与經驗探討[J].財政研究,2012(04):56-60. (政策金融による貸付を利用する農業基礎設施の建設に関する理論と經驗の検討)
- 9 陳永福,馬国英,吳蓓蓓,錢小平.中国生豚價格發現形成機制研究——基于区域間價格關係的實証分析[J].中国農業科学,2011,44(15):3279-3288. (中国豚肉價格の形成メカニズムに関する研究—地域間の價格關係性の實証分析)
- 10 陳永福,錢小平.中国对日食品出口影響因素分析——以日本農薬残留檢疫制度转变为例[J].農業技術經濟,2007(01):72-79. (中国食品の日本への輸出に関する影響要因分析—日本の農薬残留檢疫制度の変化を事例に)
- 11 陳永福,羅万純,錢小平,古家淳.中国扩大進口泰国大米的原因分析及展望[J].農業展望,2007(01):24-28. (中国におけるタイ米の輸入拡大の要因分析と展望)
- 12 陳永福,錢小平,羅万純.2005~2010年中国大米需給予測[J].新疆農墾經濟,2006(09):13-19. (2005-2010年中国のコメ需給予測)
- 13 Chen, Y., Chien, H., Furuya, J., & Koyama, O. The Impact of Renminbi Appreciation on the World Rice Market, Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ, 2009 43(4), 329-336.
- 14 Chen, Y., Wu, Z., Okamoto, K., Han, X., Ma, G., Chien, H. and Zhao, J.: The impacts of climate change on crops in China: A Ricardian analysis, Global and planetary change, 104: 61-74, 2013.
- 15 Yong-fu CHEN, Zhi-gang WU, Tie-hui ZHU, Lei YANG, Guo-ying MA, Hsiao-ping Chien, Agricultural Policy, Climate Factors and Grain Output: Evidence from Household Survey Data in Rural China, Journal of Integrative Agriculture, Volume 12, Issue 1, 2013, Pages 169-183

- 16 Xinru Han , Yongfu Chen. Food consumption of outgoing rural migrant workers in urban area of China: A QUAIDS approach. *China Agricultural Economic Review*, Volume: 8 Issue: 2, 2016
- 17 Jingjing Wang, Yongfu Chen, Zhihao Zheng, Wei Si. Determinants of pork demand by income class in urban western China. *China Agricultural Economic Review*, Volume: 6 Issue: 3, 2014
- 18 Yongfu Chena, Xinru Han, Wei Si, Zhigang Wu, Hsiaoping Chien, Katsuo Okamoto. An assessment of climate change impacts on maize yields in Hebei Province of China. *Science of The Total Environment*. Volumes 581–582, 1 March 2017, Pages 507-517.

# 黒竜江省の水稻生産発展の課題

矯江 宋麗絹

黒竜江省農業科学院 情報研究センター

## Abstract

Rice is an important crop in Heilongjiang Province, which has the largest Japonica rice producing area nationwide. The characteristics of production are high yield, large scale farming, mechanization and safety. Based on these situations, rice cultivation in Heilongjiang should be further developed. Considering the circumstances of Heilongjiang, we hope to support development of high-quality rice production areas as China's rice production adjustment policy.

## はじめに

全国のコメ生産が消費を上回る状況の中、コメの在庫が膨らみ、この新たな情勢に対し、作付面積を減少するため、国の保護買付価格が下げられ、さらに休耕輪作が進められている。これらの措置は黒竜江省の稲作生産に大きな影響を及ぼすことになると考えられる<sup>[1,2]</sup>。水稻は黒竜江省にとって生産収益性の優れた作物であり、今後の稲作発展の方向性を検討すべき問題である。

## 1 コメの生産状況

この 30 年間あまり黒竜江省のコメ生産面積は増加傾向である<sup>[3]</sup>。特に 2004 年から実施されている農業政策は農家所得の向上につながることで、生産が継続的に増え続けている。その後の 10 年間黒竜江省で 16.2 万 ha の面積増加があり、全国同期間水稻面積増加分の 83.8% を占める。全国的に水稻面積増加の最も多い地域である（表 1）。黒竜江省は中国の最も重要な稲作生産地帯となった。

表 1 黒竜江省水稻生産面積の増加 (万 ha)

年	黒竜江省	他の省の合計	全国合計
2004	158.8	2679.1	2837.9
2014	320.5	2710.5	3031.0
増量	161.7	31.4	193.1
増分シェア	83.8	16.2	100.0

2016 年全省の水稲作付面積は 320.3 万 ha で、省農作物の作付面積の 25.8% を占め、水稲はトウモロコシに次ぐ第二の作物である（図 1）。コメ生産量（粳）は 2255.3 万トン、食糧生産量の 38.2%となる。2017 年の作付面積は 322.3 万 ha で、全国のコメ作付面積の 10.7%を占める。コメ生産量 2300.8 万トン、全国コメ生産の 11.0%となっている。

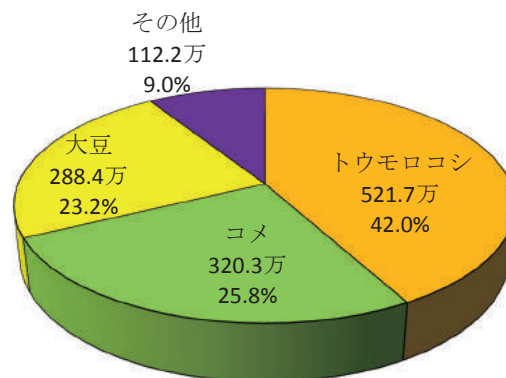


図1 2016年黒竜江省食糧作付面積  
データ：中国農業統計年鑑2017

## 2 水稲生産の特徴

全国水稲産地を見ても黒竜江省の稲作農家の経営規模が大きく、農業機械の利用率高く、水稲生産の機械化が進んでいる。全体的にインディカ種米の生産が多く、ジャポニカ種米の生産が少ないであるが、黒竜江省は中国のみならず世界規模で見ても希にみるジャポニカ米の大産地である。黒竜江省のコメ生産は以下の特徴を持っている。

1) 高い単収が維持されている。黒竜江省のコメ生育可能期間が限られているが、作付面積が増加し、単収も上がってきている。主要作物のトウモロコシ、コメ、大豆のうちコメの単収が最も高く、安定的に推移している（図 2）。2013 年から 2017 年の 5 年平均単収は 7036.8 kg/hm<sup>2</sup> で、トウモロコシより 16.0%高く、大豆の 3 倍以上である。全国の同時期のコメ単収と比較しても 4.4%と高い。その要因として干ばつや水害などの災害に見舞われることが少なかったと考えられる。一方近年コメの在庫が膨らむことで、水田から畑作への転換が求められることがあり、低湿地の水田が畑地に転換したことで、省全体の食糧生産能力の低下や干ばつや水害のリスクを招く恐れがあると考えられる。

2) 商品量が多い。粳の用途は主に食用米の加工である。黒竜江省の栽培面積は 31 省（市）の第 3 位であるが、単収が高いため、生産量は第 2 位である。黒竜江の人口は少なく、主食の特徴は「米面兼食」であり、現地のコメ消費は少なく、コメの商品化率は 80%を超え、流通商品米の数量は全国 1 位で、典型的な商品性生産地域である（表 2）。全国の商品米は主に南方稲区と東北稲区に集中し、黒竜江米の流通商品量は全国米流通量の約 1/3 を占め、最大の商品水稲の産地である。中国ジャポニカ米の栽培面積はコメ全体の約 30%を占

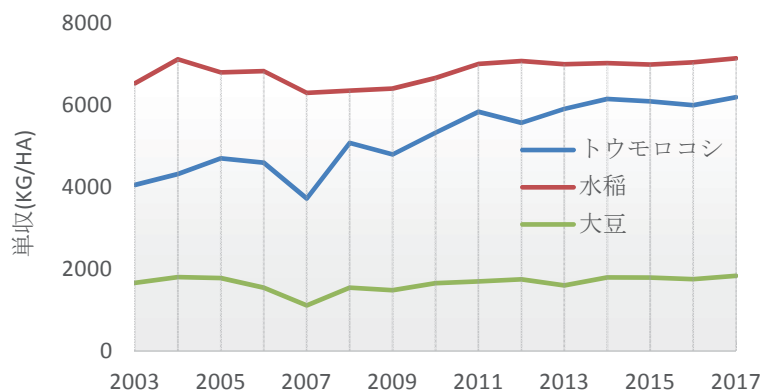


図2 黒竜江省食糧の単収  
データ：中国農業統計年鑑

め、黒竜江省のコメはすべてジャポニカ米であり、その商品量はジャポニカ米全商品量の2/3を超え、中国ないし世界最大のジャポニカ米産地である。このことから、黒竜江省のコメ生産は、全国の主食米の安全確保、特にジャポニカ米市場の需要にとって、重要な役割を果たしている。

3) 食品安全である。黒竜江省の水稲の大面积栽培の歴史は比較的短く、多くは肥沃な黒土地であり、化学肥料の使用量が少ない。冬の寒さは虫卵と病原菌の越冬を抑制し、作物の生育期間内に高温多湿になりにくいことから、病虫害の種類は少なく、危害も軽く、化学農薬の使用量も著しく少ない。耕地面積当たりでは、化学肥料と農薬の使用量はそれぞれ全国平均の67%と58%であり、南方稲作地域との差が大きい(表3)。化学農薬でも、80%以上は人に比較的危害の軽い除草剤で、人に危害が重い殺虫剤などは少ない。黒竜江省は人口密度が小さく、特に農村工業が遅れ、生活ゴミと工業汚染が少なく、水田灌漑用水が安全である。その中、70%の水田は飲用可能な地下水による灌漑でより安全で信頼できる。現在、議論されている遺伝子組換え作物等について、黒竜江省はすでに厳しい条例を打ち出した[5]。国の検査結果によると、これまでコメの生産過程や、粳から組み換え体は見つかっていない。これらのことは緑色米及び有機米の生産を保証している。

表2 2016年主要産地のコメ生産状況

順位	面積		粳生産量		一人当たり生産量		商品米	
	省名	万 ha	省名	万トン	省名	kg	省名	万トン
1	湖南	408.6	湖南	2602.3	黒竜江	403.7	黒竜江	1330.6
2	江西	331.6	黒竜江	2255.3	江西	298.0	湖南	811.5
3	黒竜江	320.3	江西	2012.6	湖南	259.4	江西	721.3
4	江蘇	229.5	江蘇	1931.4	湖北	195.7	湖北	330.8
5	安徽	226.6	湖北	1693.5	江蘇	164.2	吉林	305.0
6	湖北	213.1	四川	1558.2	吉林	162.7	江蘇	200.2
7	四川	199.0	安徽	1401.8	広西	159.8	遼寧	108.3
8	広西	196.0	広西	1137.3	安徽	153.9	広西	97.7
9	広東	188.9	広東	1087.1	四川	128.2	安徽	89.0
10	雲南	113.0	雲南	671.9	重慶	113.9	寧夏	15.5

データ：中国統計資料 2016

注：商品米は生産量から種子と自給用米を取り除いている。

表3 2016年ジャポニカ米生産資財投入

省名	農薬		化学肥料	
	(元/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
江蘇	1439.3	184.1	546.8	152.7
吉林	393.8	50.4	332.0	92.7
黒竜江	453.6	58.0	239.7	66.9
全国平均	781.8	100.0	358.1	100.0

注：全国農産品成本収益資料集 2017。化学肥料は純量に換算。農薬価格は全国統一価格と仮定する。

### 3 今後の方向性

黒竜江省の水稲の生産には、経営規模が大きいため田植え機などの機械設備が必要で、育苗と水田整備の投入コストは比較的大きく、年によって水田から畑地への転換は不適切である。現在、黒竜江省の生産構造調整は主に国家の食糧生産政策の影響を受ける。近年コメの在庫調整が進められているが、長期的な視点から以下の点を考慮すべきであろう。

(1) コメ生産の計画性。コメは我が国の最も重要な主食で、食糧安全保障に欠かせない作物である。コメの加工用途は少なく、長年の国の買付価格による買い取りを実施しており、在庫が膨らみ、在庫米を処理するための値下げは経済負担を大きくしている。また、肉・卵・乳などの消費量の増加に伴い、一人当たりのコメ消費量はすでに安定的に減少する傾向である。水稲の単収は安定的に推移しており、在庫、需要量の推計と生産計画を計画的に調整すべきである[6]。近年、干ばつ水不足区域、重金属汚染区域、天水田及び他の不適地から重点的に生産面積の調整を行うべきである。

(2) コメの輸入をコントロールする。WTO加盟後、穀物の輸入割当があるものの、国内生産が需要を上回る場合、輸入割当指標及び闇ルートによるコメの輸入管理を強化すべきである。一般的に高品質米など一部の需要を補うためのコメ輸入を認め、闇米や低価格米などの輸入を徹底的に取り締まるべく、国内コメ市場の安定を最優先に考慮すべきである。日本の輸入米に対するコントロール経験は、中国の参考となる。また、輸出に関しても、政府は黒竜江省に「産地企業の直接輸出権」を与えるべく、良質米を輸出し、コメの商品価値を高めるとともに、輸出による在庫への代替も可能である。

(3) 黒竜江省水稲生産への支持。松花江流域と国際河川の水資源はまだ多く開発利用されておらず、水利施設の整備によって、水稲生産を拡大させる潜在力がある。コメの多収型安定生産、今後の良質な安全米の需要増から、黒竜江省の水稲栽培面積を拡大させるべきである。これは国の食糧総合生産能力の向上と主食の安全確保にとって重要な意味を持つ。水稲は低湿地の開発利用から始まることから災害への耐性があり、災害リスクの軽減にも役に立つ作物である。同時に、水土流失の低減、黒土地の保護にも重要な意義を持つ。

(4) 「水畑転換田」を作る。水畑の転換畑は灌漑条件があり、水稲と畑作を転換できる固定標準化農地を指す。畑作を作る場合、灌水条件を破壊することはできない、次年度の水稲栽培に転換できることが必要である。これにより国の生産構造調整が可能となる。黒竜江省の春コムギの主な災害は6月の「干ばつ」であり、灌漑を満たせば、多収型の安定生産を実現できる。黒竜江省は強グルテン麦などの専用麦を発展し、華北冬麦区の用水圧力を軽減する

のにも重要な意義を持つ[7]。その他に大豆、トウモロコシ、野菜などの畑作物も水稻と輪作生産できる。地勢が高く、水害を起しにくい水田を、水畑転換田を建設する。

最後に、気候と耕地条件、そして今後の市場需要から見ると、黒竜江省はできるだけ水稻を発展させるべきである。ただし、国による在庫調整、不適地の水稻生産の圧縮など総合的な措置をとってから実現できることであり、今後のコメ需要の視点から黒竜江省の稲作発展にとって有用な政策を期待する。

参考文献：

- 1 關於小麦和稻谷最低買付價格執行預案的通知[E],国粮發〔2018〕99号：2018-05-18.
- 2 關於2018年耕地輪作休耕試點實施方案[E], 黒農委聯發〔2018〕53号：2018-04-13.
- 3 代滢芸.2017年黒竜江省水稻市場分析[J], 黒竜江糧食,2018(5):15-18.
- 4 中華人民共和國農業部.中国農業統計年鑑[S], 北京：中国農業出版社, 2000-2017.
- 5 關於進一步加強轉基因生物安全監管的通知[E], 黒政弁規[2018]17号:2018-03-16.
- 6 矯江.中国應該計画種植水稻, 糧食科技与經濟[J],2004(4):26-27.
- 7 矯江.關於建設水畑轉換田的建議[J], 黒竜江省專門家顧問委員会, 決策建議：2015-04-13

(本報告は2017年7月北京で開催されたシンポジウムでの報告と現在の情勢を踏まえて整理したものである)

## 農牧民のアイデアを活用した農業技術開発の可能性

中本和夫<sup>1</sup> 李麗原<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JIRCAS <sup>2</sup>農業経済与発展研究所、CAAS

### Abstract

In this report we have discussed the effectiveness of technology development by using the ideas sought from the farmers that they have no relationship with the stakeholders directly. We have shown three successful cases as technology development based-on the following non-stakeholders' ideas; (1) the idea was offered from a farmer living in rice producing area to the alkali-saline soil area in Heilongjiang province; that is to improve grassland on soil intercepted of capillarity by chaff as coarse layer., (2) the idea was obtained from the livestock sector as a vegetable cultivation system with multi-functionality in Inner Mongolia; that is to cultivate organic vegetables using heat generated by cow dung, (3) the idea was sought from the farmers living in semi-arid region to the famers producing rice; that is a labor saving application technique, which floating organic material is put into the paddy fields. This report concluded that it was effective for solving the complex regional issues to encourage the participation and creativity of the various farmers involving non-stakeholders.

### 1 非利害関係者の知恵を農業現場に活かす

JIRCAS-CAAS 農業科学技術研究協力の枠組みのもとで、報告者らは 13 年間、稲作、畜産、気象変動、環境問題等に関わる 4 つのプロジェクトに参加し、社会科学的な研究課題を担当してきた。そして、中国農業科学院を中心に、大学、各省農業科学院、農業普及センター等の関係者から多くの支援と協力を受けるとともに、多様な自然環境条件のもとで農業を営む農牧民達との交流を積極的に進めてきた。そして、研究課題を推進するに当たっては、農牧民から提出されたアイデアを低コスト化技術の開発に用いる、という問題に関心を持って取り組んできた。

現場の知恵を活かすアプローチとしては、これまで、参加型開発研究がよく知られてきた。すなわち、農村開発のプロセスに、専門家(研究者等)とともに現地の利害関係者(農民等)を参加させ、集合知を創造しつつ協調して問題解決に当たる手法である。しかし、ここで報告するアプローチは、技術開発のプロセスに関わるのは‘非専門家’であり、技術開発のアイデアを提出する主体は‘非利害関係者’であるという点で、従来の方法とは異なる。

ではなぜ、本報告においては、‘非専門家’と‘非利害関係者’なのか。その点に関しては、‘糞中種子利用による草地造成’に対する取り組みを例にして説明する。それは、内蒙古自治区の半乾燥地帯で、羊糞の保水性を利用して野生ネギ類を栽培するというアイデアであったが、そのアイデアを提出したのは、黒竜江省の農民(非利害関係者)であった。

### 2 糞中種子利用によるブランド羊産地の振興

糞中種子利用による草地造成法については、Harlan (1956) が紹介して以降、数多くの研

究が行われてきた。すなわちそれは、牧草種子を食べさせた羊を放牧し、種子が含まれた糞を排泄させることによって草地造成を行うという、省力的かつ低コスト型とされた技術であり、‘sheep method’とも呼ばれた。しかし研究が進む中、その方法は、必ずしも省力的かつ低コスト型技術ではないことが明らかになった。というのも、糞中の種子は、家畜の踏圧によって土中に埋め込まなければ発芽、定着できないため、放牧場所は事前にトラクタで耕耘しておく必要があった。また、草を生やしたい場所に家畜が排糞してくれるとは限らないため、人の手により、家畜を必要とする場所まで誘導しなければならなかった。さらには、牛、山羊、羊等、各家畜の消化管を牧草種子が通過する過程で、かなりの量が消化されてしまうことが判明したのである。

報告者らは、黒竜江省農業科学院の研究者から、2008年に初めて糞中種子の利用法について聞いた。彼は、‘sheep method’を知っていたわけではなく、農牧民達との交流の中でこの方法を知った、とのことであった。そこで我々も、その後の農村調査において、一方的に農民に質問するだけではなく、農牧民達の知識や経験に基づく情報に耳を傾けるよう努めた。その結果、‘sheep method’の再発見に関する情報とともに、アルカリ土壌の集積塩類層に亀裂を与えることで、裸地に草を定着させることができる等、荒廃地の草地化に役立つ多くの情報を得ることができた。

もし報告者らが草地利用分野の専門家であり、最初から‘sheep method’に関する情報を有していれば、既にその方法は検討され尽くされ、問題点も多いアプローチであるとして、おそらく農科院の研究者から話を聞いても、その内容をすぐに忘れたであろう。しかし報告者らは、その後も興味深いアイデアとして関心を持ち続け、内蒙古自治区を対象としたプロジェクトにおいて、糞中種子利用を羊肉の付加価値化技術として検討する機会を得た。

2014年、内蒙古自治区ソニド右旗（北緯：112°52'19"，東経：45°50'14"）において、農家の生計向上につながる循環型農業生産システムについて検討していた際、糞中種子を用いた草地造成技術について現地の農牧民に紹介した。すると一部の牧民が、糞中種子利用に対して強い関心を示した。半乾燥地で暮らす彼らは、家畜糞から植物が発芽することなど思いもよらないことであったが、以前から関心を持っていた問題にこの方法が適用できるのでは、と考えたのである。彼らは、2002年に草原法が制定されて以降、放牧から舎飼いへと羊の飼養法が移行していく中で、多根葱（*Allium polyrhizum Turcz.ex Regel*）や沙葱（*Allium Mongolicum Regel*）といった野生ネギ類を食べる機会が減り、そのことがソニドのブランド羊（図1）の肉質低下につながるのではないかと心配していたのである。

多年生植物である野生ネギ類は、発芽してしばらくの間は、根の伸長を優先させ、半乾燥



図1 ソニド右旗のブランド羊  
（撮影：2015年3月5日）

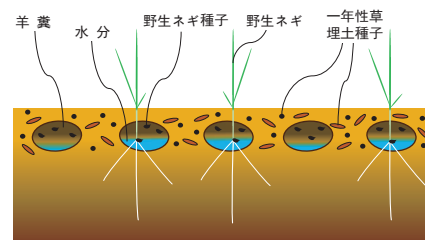


図2 糞中種子を利用した  
野生ネギ類の栽培

地域の環境に適応しようとする。それとは逆に、半乾燥地の一年生草種は、雨量の多い年にのみ発芽し、地上部の生長を優先させて短期間で次世代を残す生存戦略を採っている。そのため、灌水量によっては一年生草種の埋土種子も発芽させてしまい、野生ネギ類は日光を遮られて駆逐されてしまう。羊糞の保水力を利用すれば、栽培地への灌水量を最小限にすることができ、一年生草種の埋土種子の発芽を抑えることができる。そこで、現地の牧民らとともに、図2のような方法を考えた。

しかしこのアイデアは、半乾燥地を対象とした研究プロジェクトが2015年に終了したことにとともに、具現化の段階までに進めることができなかった。熱心に協力してくれたスノド右旗の羊農家達には申し訳ない気持ちがあり、もし半乾燥地で研究活動をする機会がまたあれば、再度検討したいと思っている。

### 3 もみ殻埋設によるアルカリ塩類土壌の改良

プロジェクト研究課題「中国の条件不利地域における低投入環境調和型経営システムの構築（実施期間：2009-2010年）」では、相対的に農業生産条件が劣っている黒竜江省のアルカリ塩類土壌地帯において、未利用地への飼料作の導入が農家経営に与える影響等を評価した。このとき用いた、もみ殻をアルカリ土壌の改良に使う、というアイデアは、アルカリ土壌地帯とは全く生産環境条件の異なる水田地帯の農家から出されたものである。

広大なアルカリ塩類土壌が存在する中国東北部に対して、これまでいくつかの土壌改良法が提案されてきた。例えば、Na型アルカリ土壌の改良には石膏（硫酸カルシウム、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）の投入が有効とされてきた。しかし、十分な改良効果を得るためには23t/haもの石膏を農地に投入する必要がある<sup>[1]</sup>、その供給元の工業地帯から稲作地帯までの輸送コストだけで、農地から得られる収益を超えてしまう可能性がある。その他、土層心土部分に粗砂の層を設置し、集積した塩類を根域外にリーチングするとともに、毛管現象を遮断し塩類の再上昇を防ぐ方法が考案されていた<sup>[4]</sup>。しかし、重量のある粗砂は石膏同様、輸送コストが膨大になるという問題以外に、建築資材としての需要が高いことから高価であり、土壌改良資材として用いるには問題があった。

より安価で扱いやすい資材を探索する過程で、もみ殻は疎水性が高く、土中に埋設して空気に触れなければ数年間腐らないことから、「もみ殻を土壌改良資材として用いる」というアイデアが、稲作農家との雑談の中で出た。このアイデアについて検討を進めると、もみ殻は、積み込みや土壌投入時の作業において、石膏や粗砂のように重機を必要としないこと、黒竜江省のアルカリ塩類土壌地帯と水稻生産地帯は、石膏の供給元である工業地帯に比べて距離的に近いこと等が明らかになっていった。また、生産された米は、一般的にもみの状態で出荷されるため、もみ殻は、精米加工場で大量に入手することができる。さらには、現地では焼却処分されることの多いもみ殻を、土壌改良材として草地に還元することは、環境保全型農業技術として有益であると考えられた。

このアイデアを具現化するため、黒竜江省蘭西県（北緯: 46°32'17", 東経: 125°28'24"）において、アルファルファによる草地化試験を実施した。現地では高価な輸入アルファルファキューブを使用する酪農家も多く、試験が成功すれば牧草生産者の生計向上にも大きく貢献すると思われた。試験区の土壌 pH は、0-10cm で pH8.3、10-40cm では pH9.08-9.12 の強いアルカリ性を示すとともに、アルカリ塩類土壌特有の透水性の悪さから、アルファルファ栽培には適さない土壌であった。そこで、2009 年 11 月に、地表面にもみ殻を 10cm 厚に敷き詰め、その後、土層反転プラウによって地下 40-50cm の位置にもみ殻を埋設した（図 3）。そして翌年 4 月には、肥料として硫安 100kg hm<sup>-2</sup>、過リン酸石灰 1000kg hm<sup>-2</sup> を散布し整地した後、根粒菌被覆種子を 15 kg hm<sup>-2</sup> 播種した。



図 3 プラウによるもみ殻埋設作業  
（撮影：2009 年 11 月 15 日）



図 4 サンプルングによる収量調査  
（撮影：2011 年 8 月 15 日）

2011 年は 6 月と 8 月、2012 年は 7 月と 9 月に、年 2 回刈り取りを行い（図 4）、もみ殻を埋設した試験区の収量は、プラウ耕のみのコントロール区に比べ 33.2%増収し、平均で 7803.9 kg hm<sup>-2</sup> の収量が得られた。もみ殻は軽量なため運搬や埋設作業が楽で、かつ入手も容易であることから、低コスト型草地化技術のための資材として有効である。また、埋設したもみ殻は、8 年を経過した現在（2017 年）においても、土中で分解せずその形状を保っている。なお、この草地化技術に関する詳しい情報は、雑誌<sup>[2]</sup>に報告しているので、そちらを参照していただきたい。

#### 4 牛糞の発酵熱を利用した野菜栽培システム

プロジェクト研究課題「農牧交錯地域における循環型生産技術の開発と評価（実施期間：2011-2015 年）」においては、半乾燥地帯農民の生計向上に向けた野菜栽培システムの評価を行った。研究対象地であった内蒙古自治区ソンド右旗において、野菜栽培振興を進める際に問題となったのは、水資源の制約以外に、春先に苗が低温障害を受けることであった。現地は 4 月中旬まで凍土期間であるが、放射冷却があり、かつ風の強い日には、地表付近の熱が水の気化とともに奪われ、5 月でも土壌が凍結する。

ソンド右旗は畜産地帯であるが、自給的菜園を作っている畜産農家も多く、彼らと積極的に交流することによって、半乾燥地帯における野菜栽培のコツを伝授してもらった。その過程で、（彼らが実際に行っていたわけではないが）「畜糞の発酵熱を野菜栽培に利用する」というアイデアが出てきた。その後、既存の成果<sup>[3][8]</sup>や日本の「踏み込み温床（江戸時代から行われていたと言われる、発酵熱を利用した野菜の早出し技術）」等の検討を通じ、畜糞の発酵熱利用を基本として、半乾燥地帯に適した野菜栽培システムを構築することになった。

栽培する野菜は、半乾燥地に適し、かつ市場性も高いと判断されたミニカボチャとし、現地の野菜農家等の意見を取り入れながら、ミニカボチャに適した栽培システムの検討を進めた。最終的には、図5のような栽培システムを作り、牛糞の発酵熱利用にとどまらず、現地において野菜栽培振興の障害となっている複数

の問題に対処できるように工夫した。

例えば、牛糞の発酵熱が蓄えられるよう、栽培システム後方に牛糞を80cmの高さまで堆積するが(図6)、図5中で「防風」とあるように、春先の砂嵐が吹く方向を背にシステムを設置することで、発芽間もない苗を強風から守ることができる。また、「防虫」とあるのは、ネキリムシ(現地では「砂漠螟虫」と呼ばれる)への対策である。現地では、このネキリムシが数年に一度大発生し、野菜類に深刻な被害を及ぼす。そのため、ミニカボチャの播種床とする直径110mmの塩ビ管継ぎ手を2-3cm地上に出し、ネキリムシが苗に近づけないようにした。

ミニカボチャは、中秋節(旧暦8月15日)、あるいは国慶節(10月1日)前に出荷できるよう、播種床である塩ビ管継ぎ手をハウス用ビニールとともに地下に埋設し、地温を十分確保した上で5月上旬に播種した。灌水については、水がそのままミニカボチャに灌水されるルートAと水が堆積した牛糞内を一旦通過する灌水ルートBの2系統を設けた。通常はボールバルブAのみを開けておくが、追肥が必要と判断したときにはボールバルブBを開き、発酵牛糞内の肥料分がミニカボチャに供給できるようにした。さらに、この栽培システムは節水という面からも優れており、現地のピボット灌漑による飼料用トウモロコシ栽培に比べ、栽培期間中の面積当たり灌水量は約22%に抑えられた。

出荷に関しては、農民の多くは自家用車を持たないことから、収穫物は高速バスの預け荷物として北京に送った。消費者には、実際にミニカボチャを試食してもらい、支払い意思額等を回答してもらったが、その結果、ミニカボチャの導入は農民の生計向上に大きく貢献することが明らかになった。また、防風林を設置し、地力のある圃場を有している農家に対しては、図7のような、植物残渣をマルチとして利用する、簡易型の栽培システムを紹介し、プロジェクト後半年には実際にこの方法を農家に試してもらいながら、システムの問題点等を明らかにした。なお、牛糞発酵熱を利用した栽培システムの構

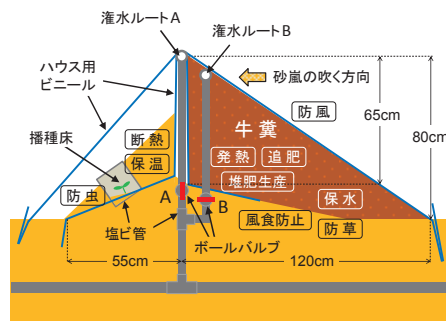


図5 牛糞発酵熱を利用した野菜栽培システム



図6 システム後方に牛糞を堆積

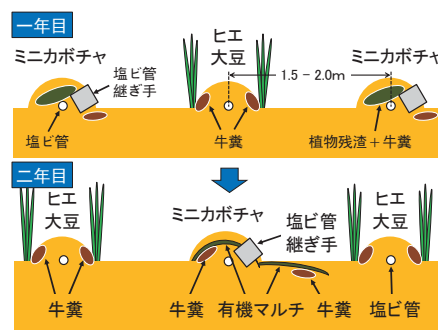


図7 簡易型栽培システム

造や農家の期待収益に関する具体的数値等については、雑誌<sup>[6]</sup>ならびに特許情報<sup>[9]</sup>として公表されているので、そちらを参照していただきたい。

## 5 浮力を有する畜糞を利用した有機米栽培技術

現在進行中のプロジェクト内の研究課題「主穀作物市場におけるブランディング戦略の解明（実施期間：2016-2020年）」では、黒竜江省で仮想的ブランド米を栽培し、それを北京の消費者に試食してもらいながら、ブランディングの経済的価値を計測することになっている。‘浮力を有する畜糞を水稻作に利用する’というアイデアは、内蒙古の農牧民達から集められたもので、現在、仮想的ブランド米の栽培に、そのアイデアが利用できないかを検討しているところである。

現在のプロジェクトが始まる前年（2015年）、半乾燥地帯における野菜作振興のため、羊糞を使った液肥作りを試みた。しかし、羊糞は水に沈まず、大部分が水面上に堆く積み上がったまま発酵せず液肥作りは失敗した。そのとき、作業を手伝っていた農民から、「水田だったら良かったのに…」という言葉が発せられた。現地では、野菜の追肥に羊糞を使うことがあるが、未発酵の羊糞を畑に散布すると、羊糞は水に浮かぶため、灌水のたびに流されてしまう。彼は、この特性が野菜畑ではマイナスに働くが、水田であれば追肥を省力的に行えるのではないかと考えたのである。そこで、現地の農牧民とともに、羊糞が水に浮くことをプラス面から検討していったが、その特性は水稻への施肥にとどまらず、複数の効果が期待できることが明らかになっていった。

表面に傷がなく、よく乾燥した羊糞であれば、1ヶ月以上水面に浮いたままであるが、投入直後から水は赤黒く濁り始め、徐々に肥料成分が水中に放出される<sup>[7]</sup>。そして、水面を浮遊する羊糞、それ自体とそこから発生する濁りとによって太陽光が遮られるとともに、放出される有機酸によって水田雑草の生長が抑えられる可能性が指摘された。さらに、投入された羊糞は稲の栽培期間中に水田面で発酵し、翌年春の耕起とともに堆肥として鋤込まれ、地力増進に貢献することも指摘された。すなわち、羊糞を水田内に流し込むだけで、堆肥投入、肥料施用、雑草抑制が同時に可能となることが期待された。

このアイデアを具現化するために、黒竜江省農科院の水稻栽培および土壌肥料の専門家と議論を進めつつ、ポット試験を行ったが、羊糞から溶け出す肥料成分だけでは水稻の生長には足りないことが判明した。そこで、図8に示すように、稲わらに米ぬかや大豆かす等を加えた有機ペレットを別途作成し、羊糞とともに流し込むことによって、肥料分の不足は補えると結論した。ただし、有機物の肥効は数年間にわたり持続するため、羊糞投入によって水田内の肥料分やミネラル分が蓄積されていった場合には、有機ペレットに加える有機肥料の量を減らす、あるいは稲わらのみで作った有機ペレットの混合比率を増やして羊糞の投入量を減らす等し、土中の養分バランスをとることが必要である。

調査で知り合った水稻農家、そして水稻関係の専門家も、羊糞が1ヶ月以上水に浮くことを知っていた者はおらず、ただ流し込むだけで有機栽培に移行することができ、高付加価値化によって生計向上を実現できる可能性があるなど、思いもよらぬことであった。しかし、さらに検討を進める中で、稲作地帯から最も近い年間降雨量 500-600mm の地域から入手した羊糞は、短時間で水中に沈んでしまい、期待した効果が発揮されないことが明らかになった。また、効果が確認された年間降雨量 200-300mm の半乾燥地帯から羊糞を運ぶとなると、輸送コストが

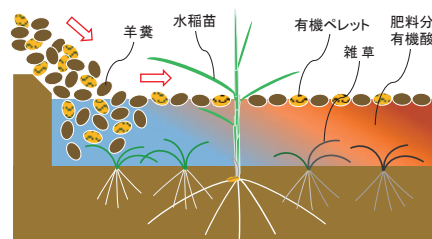


図8 羊糞を用いた有機稲作

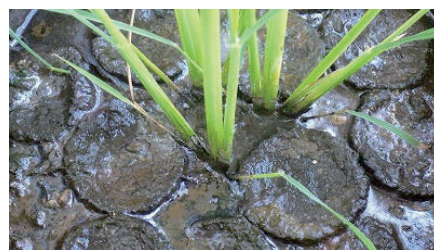


図9 浮力を有する牛糞薄片

水稻経営を圧迫するとともに、長距離を輸送する過程で、堆積した羊糞が自然発火する可能性があることが判明した。そこで現在は、稲作地帯近くに立地する酪農家から牛糞を入手し、羊糞を使った場合と同様の効果が発揮される資材（牛糞薄片）作りを進めている（図9）。

黒竜江省は、酪農飼養頭数第2位の省であるが、冬は氷点下 15-25℃にまで気温が低下するため、冬期間の加温を前提としたメタン発酵の費用対効果は極めて低い。また、水稻収穫から次年度の田植えまでの期間は微生物の活動が停滞するため、水稻残渣の堆肥化も加温施設内でなければ不可能である。そのため、有機資源の不法投棄や野焼きが行われるとともに、その循環的利用が進んでいなかった。現在進めている牛糞薄片作りにおいては、厳冬の低温条件も利用しつつ、有機資源利用の低コスト化と農業生産におけるゼロエミッション化を目指し、中国側技術研究者とともに検討を進めているところである。

## 6 非利害関係者からのアイデアと環境保全型農業

非利害関係者である農牧民から提出されたアイデアは、環境保全型農業システムの構築にとっても有効である可能性が高い。というのも、非利害関係者は、他の農業地帯や他の農業経営部門で行われている生産の現状には疎く、そこで使用されている工業製品由来の農業生産用資材に関する知識もほとんど持ち合わせていない。そのため、身近に存在する有機資源等を使ってアイデアを考え出すが、それが意図せずして、食の安全性に直結する有機農業生産システム、あるいは環境負荷を軽減する環境保全型農業システムの構築につながる場合も多い。環境負荷軽減に貢献していることを証明するためのデータ収集、分析までは行

っていないが、以下では温室効果ガス削減という視点から、その可能性も含めて各技術を見てみたい。

まず、‘もみ殻埋設によるアルカリ塩類土壌の改良’では、土中のもみ殻が長期間腐らないことによって、炭素貯留効果が発揮される。一方、大量の炭酸塩類を含むアルカリ土壌地帯は、それ自体を巨大な炭素貯留庫と見なすこともできる。もみ殻埋設による方法は、炭酸塩類の化学的性質を改変せず（二酸化炭素を発生させず）、塩類の土壌中における分布状態のみを変化させ、炭素貯留と農業生産を両立させることができる。次に、‘牛糞の発酵熱を利用した野菜栽培システム’では、牛糞はビニールで覆われた閉鎖系の中で発酵するため、二酸化炭素等の温室効果ガスは一時的に系内に留めておくことができる。系内と系外、それぞれに置いた水槽内の藻類は、(NH<sub>3</sub>等の影響も大きかったと考えられるが、)系内の藻類の増殖の方が明らかに早かった。すなわち、高温発酵期を過ぎた牛糞に、灌水に陸生藻類や微生物を混ぜて散布することによって、温室効果ガスを吸収あるいは分解できる可能性がある。そして、‘浮力を有する畜糞を利用した有機米栽培技術’では、有機物を水田面で好気発酵させることによって CH<sub>4</sub> の発生を抑えるとともに、発生した二酸化炭素は生育中の水稻に一定程度吸収させることができる。

最後になるが、社会科学を専門とする報告者達が、今回紹介したような専門外の問題に挑戦することができたのは、中国の技術研究者から様々な支援と協力を受けることができたからに他ならない。発表した論文数が、研究者の評価において重要な要素となることは、中国も他の国と変わりはない。しかし各プロジェクト実施期間中、各研究対象地域において、論文発表だけにこだわらず、農牧民達の生活を向上させたいと強く思う研究者達と出会うことができた。そして彼らは、農牧民のアイデアを技術開発に活かす、という論文化が必ずしも容易ではないテーマに対しても、多くの資源と時間を割いてくれた。こうした彼らの助けによって、ここで紹介したような、いくつかアイデアは具現化の段階にまで持っていくことができた。彼らの協力に対し、この場を借りて感謝の気持ちを表したい。

#### 参考文献

- 1 Chun S. et al. Sodic soils reclaimed with by-product from flue gas desulfurization: corn production and soil quality. *Environmental Pollution*, 2001, 114, p.453-459.
- 2 高中超等. 稻殼深施對鹼土物理性質和苜蓿產量的影響. 土壤通報. 2014, 45(4), p. 991-995. (中文).
- 3 Gasser J.K.R. ed. *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1985, 281p.
- 4 Guo, G. et al. Improvement of salt-affected soils part 1: Interception of capillarity. *Biosystems Engineering*, 2006, 94 (1), 139-150.
- 5 Harlan, J. R. Theory and dynamics of grassland agriculture. D. Van Nostrand Company Inc. 1956, 281p.
- 6 中本和夫等. 北方半干旱地区有機蔬菜種植及其經營效果評價. 干旱区資源与環境. 2016, 30(7), p. 101-107. (中文).
- 7 中本和夫等. 論技術開發中如何利用農牧民的知識与知恵. 干旱区資源与環境. 2017, 31(2), p. 14-19. (中文).

- 8 Seki, H., Kiyose, S. and Sakida, S. An experimental system for the recovery, accumulation, and utilization of heat generated by bamboo chip biodegradation using a small-scale apparatus. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2014, 70(1): 1-11.
- 9 塔娜等. 一種利用牛糞發酵熱的蔬菜栽培系統. CN104770243A, 2015-7-15. (中文).

あとかき

## あとかき

## 山本由紀代 JIRCAS 高付加価値化プログラムディレクター

日中農業科学技術交流グループ会議の下、国際農林水産業研究センター（国際農研／JIRCAS）と中国農業科学院（中国農科院／CAAS）が1997年に共同研究を開始してから20年となる節目を迎えるにあたり、2017年7月22日に北京の中国農業科学院ホールにおいて、「JIRCAS-CAAS 農業科学技術研究協力20周年記念シンポジウム」を開催しました。

本シンポジウムには、陳錫文全国政治協商会議常務委員兼全国政治協商会議経済委員会副主任をはじめ、張陸彪農業部国際合作司副司長、伊藤優志在北京日本国大使館参事官等の来賓、共同研究機関である農業科学院国際合作局、農業資源与農業区劃研究所、農業経済与発展研究所、農業環境与可持続発展研究所、農業農村部食物与栄養発展研究所、水稻研究所、国务院発展研究センター、中国科学院南京土壤研究所、中国農業大学、明治大学、農研機構農業環境変動研究センター、国際農研等、日中両国の研究者や学生ら、約130名が出席しました。

シンポジウムでは、陳錫文氏による特別講演「中国農業の課題と対策」に続き、国際農研の銭小平副プロジェクトリーダーによる講演「共同研究プロジェクトの概要－20年間の共同研究と交流」において、これまでに実施した共同研究や人材育成等の成果が報告されました。1997年以降、国際農研と中国農科院は5件の共同研究プロジェクトを実施してきましたが、研究分野は大きく自然科学と社会科学に区分されることから、シンポジウムでは二つのセッションを設け、主として栽培や農業環境等の自然科学分野の成果はセッション1「持続的発展のための農業環境研究」で、農業経済や生産動向に関する社会科学分野の成果はセッション2「農業経済と農村社会発展研究」で報告されました。本ワーキングレポートは、この記念シンポジウムでの発表をプロシーディングスとしてとりまとめたものであり、国際農研と中国農科院の20年間にわたる広範多岐な研究協力の歴史や重要な研究成果の数々を総括する貴重な報告書です。

20年という時間は、日中両国に多くの技術革新や社会的な構造変化をもたらしました。とりわけ中国の経済発展は目覚ましいものがあります。IMF統計によると、研究協力を開始した1997年の名目GDPは日本が44,147億米ドル（世界2位）であったのに対して中国は9,653億米ドル（世界7位）でしたが、2017年には日本の48,732億米ドル（世界3位）に対して中国は120,146億米ドル（世界2位）と、日本の2.5倍の規模となっています。日中平和友好条約から40年を迎え、本年10月には日本政府が40年にわたり実施してきた中国へのODAを終了する方針であることを発表しました。研究開発費や論文数など、科学技術力を示す各種の指標においても中国の躍進は際立っており、国際農研のミッションである「開発途上地域等における農林水産業の技術向上のための試験研究」についても、持続的な農業生産や食料の安定供給、環境負荷の軽減等、中国農業の問題解決を主眼としたこれまでの研究協力から一歩踏み出し、アジア地域や世界の開発途上地域に広く貢献するための新たな共同研究の在り方を考える時期を迎えているのかもしれません。

本書で紹介している多くの研究成果や国際農研と中国農科院が長年にわたって培ってきたパートナーシップならびに研究基盤を活用し、日中両国が共に目指す目標の設定や研究協力の充実に向けた新たな展開が図られることを期待しています。

## 致 辞

## 中日农业科技合作 20 周年学术研讨会上的致辞

唐华俊 中国农业科学院院长

2017 年 7 月 22 日

首先请允许我代表中国农业科学院对“中日农业科技合作 20 周年学术研讨会”的召开表示热烈祝贺！对出席本次研讨会的各位领导、中日两国代表表示热烈欢迎！

中日两国是一衣带水的邻邦，两国在农业领域有着悠久而密切的交往历史，改革开放以来，两国在农业科技领域的交流十分活跃，水稻插秧技术和旱育稀植技术等先后从日本引进到中国，特别是自 1997 年中国农业部与日本农林水产省签署农业科技合作协议以后，中国农业科学院和日本国际农林水产业研究中心双方合作在长达 20 年的密切合作中，在农业资源高效利用、环境友好型农业经营系统构建与评估、农业高附加值产业链研究等领域开展了广泛的合作与交流，取得一系列卓越的科研成果，为推进农业绿色生态化与可持续发展提供技术支撑、制度与政策方案，同时搭建了一系列合作共建科研平台，为中国和世界粮食安全做出了重要贡献。

此次研讨会将回顾这 20 年的合作历程，交流合作成果，并展望未来的合作前景、明确合作重点、合作机制和合作路线图。中日双方农业管理部门对这次研讨会高度重视，希望接下来的研讨会取得圆满成功。

中国农业科学院非常重视国际交流与合作，以全球视野谋划科技开放合作，我们先后与 81 个国家、33 个国际组织、6 个跨国公司、盖茨基金会建立了科技合作关系，有 13 个国际机构在我院设立了驻华办事处，共建联合实验室、联合研究中心 62 个。中国农业科学院始终以“建设世界一流农业科研院所”为目标，以“服务产业重大科技需求、跃居世界农业科技高端”为使命，积极开展与世界各国的农业科技合作。

作为第一期中日农业合作项目的负责人，我目睹了项目从立项到启动，乃至后期蓬勃发展的历程，更看到了项目所取得的成果对推进中日两国农业科技进步和农业发展起到的积极作用和今后的发展潜力。我希望在座的各位专家、学者能够继往开来，把中日农业科技合作推向更高的一个层次。

本次会议双方的科学家将围绕国际农业环境研究进展、中日两国农业政策比较、中国现代农业发展等领域进行主题报告，并就食物供求预测、农业气候变化、农业地理遥感等技术领域开展广泛的交流与讨论。为此，我提出三点建议：

一是中日两国在下一个 20 年的农业科技合作中，如何做好政策对接和合作框架顶层设计，为未来合作提供蓝图和良好的合作政策机制以及清晰地路线图；

二是确定好优先合作领域以及利用好现有以及未来的多双边合作机制，如 APEC、东盟 10+3、CGIAR 成员国家合作等；

三是加大联合合作平台和人才培养行动计划，国之交在于民相亲，要加大两国科研人员的交流力度和投入、进一步增强相互了解，为高水平合作奠定基础。

我们相信，今天的研讨会将给中日在更广阔领域的农业科技合作奠定坚实基础，中国农业科学院将一如既往地支持中日开展科技合作与交流。

今天，我们还将见证“中国农业科学院-日本国际农林水产业研究中心农业发展研究联合实验室”的正式揭牌，希望联合实验室今后成为中日更高水平农业科技合作的新起点。

最后，预祝研讨会圆满成功，祝愿各位朋友在北京期间生活愉快！  
谢谢大家！

## 中日农业科技合作 20 周年学术研讨会上的致辞

张陆彪 农业部国际合作司副司长

2017 年 7 月 22 日

首先，我代表中国农业部国际合作司对本次研讨会的成功举办表示祝贺，对参加本次研讨会的中日两国农业领域的专家、行业代表和政府官员表示感谢！

中日两国农业一直秉承可持续发展的理念，不断积极探索互利共赢的合作契合点，经过长期合作交流，在农业科学技术研究、农业政策、示范推广和农产品贸易等领域取得丰硕的合作成果。中国农业科学院与日本国际农林水产业研究中的交流合作更是长达 20 年，为中日两国农业科技合作的开展实施提供了经典样板。

中国是农业生产大国，但随着我国农业的快速发展，化肥、农药等农用化学品投入逐年增加，养殖数量和规模不断扩大，导致农业面源污染等一系列农业环境问题。如何提高农业投入品的利用率，升级种养殖废弃物处理技术，创建环境友好型农业发展模式，已成为社会和公众关注的热点问题。近年来，中国政府围绕生态文明建设和农业绿色发展，密集出台了一系列政策文件，做出了一些重大部署，实施农业绿色发展“五大行动”并随着农业供给侧结构性改革深入推进，农业发展方式的快速转变，为农业面源污染的治理提供了不竭动力。因此，我们期望中日双方能够针对当面存在的突出资源环境问题，进行更紧密的农业科技合作，加快有效治理技术与模式的推广应用，提出一些针对性建议，为中日双方乃至全球农业环境治理提供技术性支持和政策安排。

农产品贸易是国际农业交流的重要形式，是各国农业经济发展的不竭动力。改革开放以来，特别是加入 WTO 后，中国农业开放力度持续加大，对外农业贸易发展迅速。在全球化的今天，中日农产品贸易的发展给两国经济贸易关系注入了新的动力。中日双方需围绕食物供求关系，在保障农产品质量安全前提下，提升农产品加工技术，延长农产品产业链条，提高农产品附加值，以增强各自农产品国际竞争力。

现代农业科技技术发展日新月异，大数据技术、智慧农业技术、基因工程等技术已深入渗透到农业领域研究中，多学科高度交叉性研究及已成为主流，这就要求莅临会议的各位专家能够就目前农业面临的突出问题进行跨学科的开放式交流与合作，为中日的农业发展献计献策。

最后，预祝本次研讨会顺利进行，愿参会的各位来宾有所收获。谢谢！

## JIRCAS-CAAS 农业科学技术合作 20 周年纪念研讨会致辞

伊藤优志 日本驻华大使馆经济部参赞

2017 年 7 月 22 日

我叫伊藤优志，目前担任日本驻华大使馆经济部参赞。今天，林祯二公使本也希望能够出席，但因故无法到场，所以由我代为朗读林公使交给我的代表日本大使馆的致辞。

今天在此举办 20 周年纪念研讨会，对此我表示衷心祝贺。J I R C A S 及 C A A S 的共同研究已经持续了 20 年，一切都离不开各位相关人士的洪荒之力，在此表示敬意。

我听闻，J I R C A S 及 C A A S 在这 20 年里共开展了 5 个共同研究项目，为稳定东亚的农业生产以及培育环保型农业做出了贡献。

同时，双方还在 2011 年签署了关于无期限共同研究的备忘录（M O U），双方间的联系也进一步地得到了巩固。

听说在目前正在进行的第 5 个共同研究项目中，还在进行针对高附加值大米、荞麦的流通及消费情况的调查分析，而今天我已经迫不及待地希望能早日见证研究成果的发表，也期待着其成果能够反映到日中两国的政策之中。

接下来，我想对近来日中农业领域行政机关之间的交流动向进行简要介绍。去年 6 月，农林水产省与农业部建立了以双方局级领导作为责任人，进行农业领域意见交换的日中农业合作工作组。目前，基于这一框架已经进行了 2 次会议。同时，日中两国领导干部间的交流也很密切，昨天，农林水产省山本大臣刚刚同农业部余副部长进行了会谈。

日中两国在农业，农村方面虽然也有不同的地方，但是据我所知，例如，粮食的安全保障、农业的可持续发展等都是日中两国共通的重要的政策课题。而两国之间共通而又相似的事项其实还有很多。

我认为，日中两国今后继续通过诸如本次共同项目的各种机会交换意见、相互合作，对于共通政策课题的解决也具有重要意义。

同时、我希望通过本次研讨会的举办，日中两国研究人员的交流范围能得以扩大，在农业领域的友好关系能够进一步加深。并祝今天参会的各位工作更上一层楼。

以上，就是代替林公使朗读的致辞内容。

就此次的共同研究项目而言，除研究成果外，在日中研究人员的相互交流、研究人才的培养方面也发挥了重要作用。同时我也认为，正是因为共同研究项目持续开展才有了今天的缘分、在此也向共同项目表示感谢。

最后，听说在中国大红色表示幸福，所以我总是喜欢系红色的领带。今天来系的也是红色的。让我用我的红色领带对纪念研讨会的举办再一次表示衷心祝贺。

我的话就到这里，谢谢大家！

## 在纪念日中农业科技合作 20 周年学术研讨会上的讲话

小山修 国立研究开发法人-国际农林水产业研究中心理事

2017 年 7 月 22 日

日本国际农林水产业研究中心的前身是日本热带农业研究中心。该中心自 20 世纪 80 年代起,就开始与中国的研究机构合作,围绕水稻、蔬菜、旱地农业等个别课题展开了共同研究。1993 年改组为国际农林水产业研究中心,开始与各领域的专家合作,开展共同解决问题的综合型企划案。而与中国农业科学院之间进行的共同研究就是其中之一。在日中农业科学技术交流小组会议的指导下,1997 年正式开启了日中间的共同研究。在研究过程中,日中双方集思广益,最大程度活用了研究者的专业知识,共同探讨了符合社会需求的研究主题。我第一次访问中国是在 1997 年 11 月。当时唐院长还在担任农业自然资源和农业区划研究所的所长,我为了协商相关研究计划而来到了中国。

日中共同研究至今已经完成了 4 期共同研究企划,今天我们迎来了其 20 周年纪念日,这令我感慨万千。这 20 年,也是中国经济迅猛发展的时期,中国农业所处的环境也产生了巨大变化。这些变化即时地反映在历次共同研究企划的内容上。第 1、2 期共同研究的关键词是可持续生产与稳定供给等,并不是单纯强调增产,而是重视可持续性和稳定性。第 3、4 期的关键词是环保型、循环型等,旨在追求农业的“质量”。而现在正在实施中的第 5 期,则以高附加值、食品价值链为关键词,不再局限于生产、加工、流通过程,还有从整体上把握消费环节的研究。我不禁想到至今的各个研究项目立案的时候,众多同僚们热烈讨论的情景。

虽然研究内容一直随着时代的变迁而变化,但我坚信日中研究者之间的平等友好的交流关系自始至终从未改变。当然,我们并不只是友好地交流,作为研究者,还互相学习,使各自的研究能力也得到了提高。并且,在今天以及之后的各个会议上,我期待相关研究者展示我们至今取得的众多有益的研究成果。即使在日中关系历经众多曲折的大背景下,我们日中双方在农业研究领域的合作仍然一如既往地继续进行,并且维护了日中研究者之间平等的合作关系。虽然这只是我个人的感想,即便是在浩如烟海的日中合作领域,我认为我们所取得的成就也是非常值得骄傲的,是一成功案例。

这 20 年,如果放在日中交流的悠久历史中来看的话是非常短暂的。而这 20 年我们所进行的研究和两国的经济规模相比较,也不过是很渺小的活动。但是我认为日本国际农林水产业研究中心和中国农业科学院之间的共同研究,是值得纪念的非常杰出的交流活动。并且该合作作为现在进行时的交流活动,还关系着未来的发展。现在日本和中国在食品体系高度化、高龄化以及资源枯竭等方面有着共同的课题。我认为日中两国应该跨越亚洲这一地区概念,为了解

决全人类的粮食和环境问题而进行合作。在这 20 年的基础上，让我们以今天为起点，融合两国有志之士的不同见解，创造出新的价值。为了日中两个机构间将来友好关系的发展，我也想尽一份绵薄之力。最后，再次感谢众多日中相关研究者多年来的指导、帮助与贡献，谢谢大家！

## 招待演讲

在中日农业科技合作20周年学术研讨会上的讲话  
当前中国农业面临的问题及对策思路<sup>1</sup>

陈锡文 全国政治协商会议常务委员，全国政治协商会议经济委员会副主任

中国农业面临的问题及对策，主要就四个方面的问题探讨。

第一个方面，根据市场的需求来发展生产，这是政府的一个很重大的责任，是政府转变它自身工作方式的一个很重要的方面。第二个方面，当然要加快中国农业的科技创新，中国农业的科技进步的贡献在以往的这么长时间中是在不断的提高的，但是和一些农业技术水平发展比较高的国家相比，显然还是有差距的。尤其是你在农田里面看到或者在养殖场里面看到，我们农民对一些先进技术的掌握，显然还是有缺陷的。所以加快农业的科技进步显然是提高农业效率，增强产品竞争力的一个非常重要的方面。第三个方面就是要加快推进中国农业的经营体系的创新，刚才农业部的代表讲到，中日两国之间，尤其是在农业农村方面，有着很多相近的东西。当然日本在农业现代化的道路上起步要比中国早，所以改革开放以来，应当说中国从日本的农业，农业科技以及农业组织方面学习到了很多经验和技术。这些经验和技术，对于帮助中国的进步起到了很大的作用。刚才农业部的张陆彪也讲到，他感觉到中日两国之间的农业的相近，甚至可以说，日本昨天的问题可能就是中国今天的问题。

我自己三十多年前就开始去日本考察，但都是短期的考察了解很不深。我记得80年代中期去的时候，我自己很深刻的印象就是当时感觉到中日两国农业农村发展方面的差距，大概至少要有30年。那么随着之后不断地十几次，二十几次的去，我感觉到日本发生的问题，出现在中国的时间越来越短。有些问题甚至日本刚刚发生，中国也已经面临了。所以我想从这个角度看，促进两国的交流对于解决两国各自面临的问题，将一定会有很大的帮助。这个方面我想，中日两国都是以小规模的家庭农业为主从事经营活动的这样的一种农业方式，在新金融主义的思想的大潮之下，小规模的家庭农业很多人都不看好，我想这不是农民自己，也不是一个国家的政策选择，很重要的还是一种资源禀赋和历史遗存给我们留下来的遗产。怎么去慢慢解决它，这种小规模的分散经营的农业，也能够和新大陆国家，达到大规模农业一样的农业生产效率和农业竞争力。这里确实是有大量的艰难问题需要我们去解决。所以，加快推进中国农业经营体系的创新，我想对于解决像中国这样仍然以小规模家庭为主的农业来说，有非常重大的意义。

第四个方面，可能是中国最独特的一个地方，要解决的问题。你比如说日本，一亿两千多万人，绝大多数人都在城市生活，即使是在一些人口密集度不高的地方生活的日本人，真正从事农业的比重也很少。现在日本，大概相当于中国近7000万亩的耕地，生活着不到200万的农民，所以每一个农民耕作的土地，显然比每一个中国家庭实际上要大得多。而中国呢，我们现在面临的一个很突出的问题就是，城镇化的过程没有能够过快地带动农民成为城里人。其实农村还滞留着大量的农业人口。按照统计资料来看，那么我们现在的城市化率已经超过了百分之五十七八。真正留在农村就是户籍没有迁走，一年之中绝大多数时间留在农村的人，已经降到不足6个亿。6亿人在农村，这对中国来说，从最高的时候，有9亿多农

---

<sup>1</sup> 文章根据中日农业科技合作20周年学术研讨会的录音整理而成。

村人口来看是一个巨大的进步，但是自己和自己相比，我们还是感觉到未来的路还很长。因为中华人民共和国建立的时候1949年的统计资料表明，我们当时的农村人口，只有4.8亿人，而到目前中国的农村人口除去进城的农民工之后，还有将近6亿人。在二十亿亩的土地上，中国农村承包土地的农户还有两亿三千万多的家庭。前两天公布的数字，其中有7000万承包土地的农民家庭，已经全部流转或者部分流转了他们的土地，面积达到4.7亿亩（0.3亿公顷），占到农户全部的30%多，那么显然这句话反过来读的话，中国的农业现在还有至少65%的农民在耕种自己的承包地。而他们家庭经营的这些小块承包地，是农村全部农民承包耕地的60%，这个局面的改变我想将有非常长的一个过程才能实现。2018年就是中国农村改革四十周年，在这四十多年中，我们经历了很多变化。其中一个巨大的变化，就是工业化和城镇化的快速推进。

从2016年开始，甚至有的中国学者提出，中国城镇化的快速发展阶段是不是已经过去了。当然这作为一个问题要去研究，但是大家能感觉到一点就是中国农民工进城的步伐正在放缓。所以未来中国这样一个大的格局比如说城市，我估计到2017年底，城市的常住人口大概会在8亿左右，农村的常住人口，仍然会接近6个亿，这个格局我想比日本在工业化城市化过程中面临的问题要严峻得多。所以让绝大多数中国农民都进入城镇我想这在相当长的时间内可能难以做到。但是中国农村的土地面积大，怎么能让农民有更多的就业机会，怎么能让农民有更好的收入，这是中国农业发展也包括整个中国经济发展面临的一个很大问题。

这些问题讲起来都非常复杂，这四个问题的第一个，改变政府引导农民生产行为的政策。第二，加快中国的农业科技进步。第三，推进中国农业经营体系的创新。第四，怎么能在城镇以及传统的农业之外，为农民找到扩大就业增加收入的新空间。这样四个问题，我想是当前摆在我们面前的重大问题，也是中国推进农业供给制改革要想解决的问题。对其中的几个问题，由于时间有限我想对其中的两个问题谈一点我自己的看法。

第一个问题就是关于改变中国政府引导农民生产行为的政策机制。第二个关于创新农业经营体系。我想针对这两个问题谈一点我个人的看法。第三个问题，每次一讲到科技进步，大家都知道我本人不是搞技术的，而在座的有大量的农业科技的顶尖级专家，这个问题我就不班门弄斧了。最后一个问题就是怎么给农民的就业和增收创造新的空间，如果有时间，我谈一点自己的认识。

关于改变政府引领农民生产行为的政策机制，我想大家已经感觉到，我们过去十几年粮食产量快速增长有很多方面的原因，包括国家对大江大河的治理，对农田水利建设进一步的完善。以及农业科技的不断积累，农村的改革创新等，经过了很长时间的厚积薄发，形成了从2004年开始到2015年这个粮食产量的高速增长的局面。其中政府的特殊政策在这个阶段也起到了特殊作用。因为很多人都知道，中国从上世纪末1999年开始一直到2003年，经历了五年的粮食减产这五年的粮食减产减了多少，到2003年的粮食产量只有八千六百一十四亿斤（4.3亿吨），它比以前的历史最高水平1998年的一万零二百六十四亿斤（5.1亿吨）相比，减少了一千六百三十二亿斤（0.8亿吨）粮食。五年时间产量减了这么多，所以到2003年下半年，2004年上半年，我们面临着一个明显的粮食产量已经不能满足需求的局面。所以要求政府，必须采取特殊的政策措施去调动农民的积极性，使粮食产量能够迅速地恢复。

现在回过头去看，2004年的中国农业的一号文件中，对农村提出了三大政策，这些政策对农民来说，是出乎意料的一些重大转折。第一就是2004年提出了要逐步降低农业税率并且最终取消农业税。第二个就是要对农民进行直接补贴。这些补贴途径就是农民种粮补贴，购买良种补贴，购买农机补贴，以及后来又扩大到第四项，增加对农民农业生产资料价格补贴，这是第二大政策。第三大政策就是对主产区实行政府的最低收购价制度。与粮食生产特别有关的我想是最低收购价，起了很大的作用。当初政府意图是最低收购价实际是要低于正常的市场价格，就是给农民一个托底的价格。如果市场供过于求价格下跌，最多每斤粮食只能比市场价格低两三分钱，如果跌到这个水平，就由政府按照规定的最低收购价格全额收购，这样就感到很踏实。这个制度并不是一个价格刺激的政策，我刚才讲了，制定的最低价格是低于市场价，但是农民感到很踏实因为大家重视政府提到的最低价，因此他就可以盘算出这一年的经营活动是盈利还是亏损，这样他就可以放手，放心大胆地去做。所以在最开始实行最低收购价的时候，出现了一个当时大家看得很兴奋的现象。政府公布了最低价，但最初的三四年时间中，其实并不需要去启动这个最低价的政策，因为市场价仍然是高于最低价的。那么正是因为这个情况，所以在最初的四年中，2004年政府公布了最低价，连续四年没有高于这个价格。这个我自己大概很清楚，最初的最低价，比如说对小麦，白麦，7毛2一斤，持续四年没有动，对早籼稻7毛钱一斤，中晚籼稻7毛2一斤，粳稻7毛5一斤，连续四年没有变化。也就是说有了这么一个政策其实政府也没付出代价，而农民非常高兴，同时推进了粮食的四年连续增产。

因此从最初的情况看，应该说这是一个很好的政策，但是随着时间的推移，问题出来了。而这个问题表现在中国农业和中国整个经济发展增长最快的阶段。增长快当然是好事，但是从另一方面我们也发现至少有一个问题，就是在快速的经济增长中，政府或者市场都没有能够管控好要素价。因此在经济快速增长的同时，土地价格，劳动力价格，资本价格都在快速的增长。这当然会反映到农业中就会导致农产品成本的快速上升。尤其农民感觉到他的收入减少，因此他就呼吁政府，要求能够提高政府的最低收购价格，以弥补他在成本上的快速支出。这样从2008年，政府就开始提高小麦和稻米的最低收购价格，而且2007年底商定，从2008年开始对东北的玉米和大豆实行临时收储制度。这个局面如何去看，第一，在粮食这个品种上政府定价变成越来越普遍的一种现象，第二个从2008年开始政府定价为了弥补农民的成本损失，为了增加他的收入，所以几乎每一年都在提高。从2008年开始，一直提到2014年，这个提价的幅度是相当大。刚才讲到小麦，最开始的最低价是7毛2，那么到2014年，价格就提高到了1块1毛8一斤。早籼稻最初是7毛，到了2014年就变成了1块3毛5。中晚籼稻最初是7毛3，到了2014年就变成了1块3毛8。粳稻最初的时候是7毛5，到了2014年变成了1块5毛5。所以最低价的提升，大致在90%，甚至超过100%。东北的玉米，2008年最初实行是七毛钱一斤，但到了2014年，临时收购价在东北主产区1块1毛2。所以实际上政府采取了一个操作起来比较简便的办法，把对农业的补贴直接放在政府定价里，这样农民基本满意，所以产量在持续增长。但回过头来，它带来了另外一方面的问题。因为政府定价的水平不断提高年年提高，最终出现了超过市场的合理价格。比如说我们看到2004年以后文件里讲，要全面放开粮食供求市场，但是到了2010年以后这个粮食市场基本上就萎缩了，萎缩到就只有政府定价和只有中储粮公司在收粮。别的经营主体都感到粮价太高，承受不了，就逐步退出了，由此也造成粮食加工业某种程度的消减，这是一个大的问题。

第二个大的问题，2010年特别是2012年开始，由于金融危机的影响全球市场的国际粮价开始逐步下滑，而中国却在这个时候仍然不断地提高政府的定价水平。于是中国的粮食价

格明显地高出了国际市场。这样也就导致了国际市场上对中国的粮食进口开始增加。大家不是总是问，我们在入世的时候不是谈判好了主要的两个品种有完全配额制度吗？是的，但是在玉米这个问题上，对于近几年来，科技的进步，在很多玉米的加工工业上可以采取替代品。拿大麦，高粱，DDGS和苜蓿来替代玉米，作为加工原料或饲料。中国尽管有对玉米这类产品的关税配额的保护制度，但是没有对这些替代品的约束范围。因此，替代品的进口越来越多。到了2015年，这四大替代品的进口超过了3800万吨，再加上中国又进口了将近500万吨的玉米，所以进口的玉米和玉米替代品大约占中国国内八百多亿斤（4000万吨）玉米的国内市场。那么也就迫使，特别是东北销售不出去就不得不变成库存。所以当时社会上流传一句话，进口的上市，自己产的进入仓库。也就导致了中国现在粮食库存相当高的这么一个现象。所以对过去十几年农业发展的过程，确实要多方面的分析，有成功的政策，也有开始成功但是逐步走向浮动成功的政策。我自己从事中国农村政策研究三十多年，我自己的一个感觉，像价格这样的政策，因为他是一个属于宏观调控型的政策，它一定应当是一个短期的政策，如果你十几年一成不变地用同一个政策，弄不好到最后就会出问题。

到了2015年，中央政府意识到这里面存在着非常大的矛盾和问题，因此就积极地开始推进改革。生产粮食之前，我们在新疆推行棉花的目标价格改革，在长江中下游地区推进了油菜籽的价格体系改革。到2016年1月份，中共中央一号文件就明确地提出，东北主产区的玉米要实行市场定价，价补分离的政策。这个情况我们大家都比较清楚，但是下起决心确实很不容易，因为我刚才讲到东北对农民的收购政策，在2014年已经达到平均每斤1.12元的水平。如果明确市场定价，价格会跌到什么水平，农民会减收到什么程度，这确实是一个很难判断，很令人忧虑的大问题。但是最终，因为还有一个价补分离，就是把价格中的补贴分离出来，通过别的渠道直接补贴给农民。从2016年开始推进，这个政策一宣布东北的农民就开始调整它的种植面积。据我了解，两年下来，像黑龙江的玉米播种面积，大概调减幅度已经超过了2000万亩（133万公顷），吉林的玉米的播种面积大概减少了500多万亩（33万公顷）。玉米面积下降之后，农民就会去种植其他作物，包括大豆，杂粮杂豆，青贮玉米，鲜食玉米，还有牧草，以及有些地方去种小灌木，比如说蓝莓，榛子，都有了一定程度的发展，结构正在趋向合理。很明显东北市场价格逐渐回归到合理水平，前些日子我在黑龙江调研，从目前的情况看农民已经看到市场的价格水平，大概整个东北的价格水平中玉米价在6毛钱左右，甚至有低到5毛8，5毛9的，高的超过8毛钱，这跟它的生产地带，品质，以及它与中心市场的距离都有关系。总的来说玉米的产量有所调减，价格开始回落，价格回落之后显然不会由国家储备粮公司以最低价格收购。

2016年的收获季节，中央为了避免出现农民卖粮难，所以还是交给东北的中储粮分公司一定的收储量。那么从目前的情况看2016年的新粮大约有25%左右，是由中储粮收购，转为了中央的粮食储备，那么其他的75%的粮食基本上都是以市场流通的形式，主要由加工企业饲料企业收购，以及粮食供销商在市场上收购之后，卖给加工企业，有的就直接运到了关内。我七月初到七月中旬，到吉林和黑龙江的两个城市了解到今年五月初，农民手里几乎没有余留。玉米刚刚讲总量25%进入储备，75%都走入市场。那么其中一个很重要的原因就是由于价格的回归，使得加工企业的活力重新焕发。到吉林黑龙江你就能看到，往往在一个县里，有一两个大的加工企业，每一个加工企业，一年可以消化60万吨玉米。基本上这个县的玉米产量差不多就可以解决了。同时，过去关内玉米低，关外玉米高，所以东北玉米很难进入关内。但是现在大量的进入，出现这个局面，我也觉得有点意外，就是东北生产的玉米，除了有25%转为中央粮食储备之外，其他的75%实际上在半年之内就已经售罄，而且价

格明显的回归到合理水平。7月中旬回来的时候我也了解到，河北和山东的玉米市场价格大概是5毛钱一斤。从这个角度去看呢，东北的玉米不超过8毛，到了关以内的玉米大概在9毛左右，而这个价格，比进口到岸价格每吨大概略高几十块钱，所以形成了一个比较合理的价格水平。加工企业开始快速的投入全部生产，所以玉米的消费量正在出现明显的增长。所以我想现在我们刚库存量还很大，还需认真去考虑，但是应该看到的就是对于东北玉米进行市场定价价格合理的政策，综合方向是对的，初步成果也让人感到有所鼓舞。

现在很重要的一个，就是要考虑农民收入。去年，把这个补贴从价格中单独分离出来之后，对于农民实行了直接的补贴制度，中央政府大概共拿出将近400个亿元去补贴收入。对于农民来说，过去玉米可以卖到1块1毛2，大概现在是只卖了7毛5，政府给他的补贴也就最多是1毛5。他总的价格加补贴，如果说九毛钱，和过去相比，他还减少了2毛钱，这个压力是比较大的。所以我想结合这个方式，进一步去完善这个政策，把它继续推进。我想，中国粮食中出现的这种某些品种供过于求还在生产，某些产品供不应求却在减产，这样一些矛盾的现象会逐步得到缓解。但是我们要感觉到，这其中最重要的问题，其实还是农民的利益问题。如果处理不好农民的利益问题，粮食产量出现大起大落的可能性，完全是可能存在的。所以我想从我们这十几年来政策，从开始实行最低价、临储价，一直到现在实行市场定价、价格分离这十几年的一个周期下来。我觉得确实应该说可以值得总结的内容非常多。

第一就是刚才讲到，作为一个农业大国，农民数量如此之多的国家在快速发展中，首先对农业实施保护政策，对农民收入增长的政策，这些政策政府是必须要坚持和完善下去。但是显然，把对农民的补贴放在价格里边进行，不是一个好方式。因为它会扭曲市场，扭曲市场的主体行为，也会扭曲农民的行为。那么这一轮的改革，我们着重的是解决这方面的问题。

第二个就是，中国作为一个现在经济总量第二大的一个国家，它和世界各地的交往越来越多，过去中国的农业生产，坦白说闷着头自己种就行了。种出来不见得够吃，所以你只要拼命种就行了。现在的情况能看到，我们跟国际市场的关系越来越紧密，你不关注国际市场，光顾着种自己的粮食，大概是不行的。那么从现在的情况看，国际粮价经过五年下滑，是不是已经到了谷底，是不是已经开始回升，这也是值得关注的问题。从5月份开始，国际市场大米价格已经开始明显的上涨。两个月来大概已经涨了不超过30%。同时我们看到，小麦、玉米、大豆，国际市场上价格最近都在上涨。反过来它会对中国产生一些什么影响和冲击，我想这个也是需要认真考虑的。从这十几年，我们走的这个艰难的道路来看，非常重要的一个就是政府一定要有科学的、符合市场经济规律的引导农民生产行为的这样一些政策。否则慢慢会积累矛盾，到最后难于消化，变成一个巨大的压力。当然这是第一个方面，我们正在推进的农业供给侧结构性改革，可以说已经取得了一些初步的绩效。当然后面的问题还有很多，还需要进一步去研究。

第二个问题我想讲的就是关于农业经营体制的创新问题，我想在日本、在中国，都一样，别人评价你的农业，为什么成本高效益低，价格在国际上没有竞争力，很多人都会聚焦在因为你的农业规模太小。显然这个问题，中国就更加突出。因为我们现在的农业生产规模，如果按一个家庭来看，我们实际规模比日本还要小，这是不是一个致命伤，我想应该去认真研究。到底怎么办，很多人讲起来都很容易，那你就发展规模经营，你就要扩大农业的生产规模这样才能提高效益。但是我想在讲土地流转集中的同时，你一定要解决农民的出路，如果农民没有出路，硬把他们从土地上赶出去，我想这就会带来中国历史上反复出现过

的土地兼并现象，它带来的社会冲击，远远比从土地上获得的这些效益要大得多得多。所以怎样处理好这些问题，我们搞农业的人，无论是搞政治的还是搞技术的，没有人不希望，每一户农民家里有更多的地。但是你要有好的办法，很多人讲，规模就是城镇化，你让他进城就行了，城里能不能有这么多就业机会，能不能给农民更好的收入和生活，这也是必须考虑的问题。从中国的实际情况来看，我想中国要解决农民市民化的问题，在这条路上，大概比日本更艰难。正是因为这样，中国农业在经营体系创建方面，确实面临着更加复杂的情况和问题。通过农民土地经营权的流转集中发展规模经营，已经推进了很多年，推进到现在的情况，也就像我刚才讲的，农民流转的自家承包地面积已经占到现在全部承包地面积的35%，也就是三分之一以上。

1984年中共中央1号文件就已经提出了鼓励农村土地向种田能手集中。也就是经过三十多年的努力，经过我们工业化城镇化的带动，农村中家庭经营的土地有三分之一已经开始走向了集中。根据农业部了解的情况，经营土地面积50亩以上也就是3公顷多一点的农户，全国有350万户。这350万户农民，一共经营的土地面积是3.5亿亩。也就是说人均每一户经营的土地面积是100亩，不到7公顷的一个规模。从收益的角度去看，一个农户如果经营的面积能够平均100亩的话，他的收入水平可以不低于当地城镇居民的家庭收入水平，就可以比较体面了。但是从竞争力角度看，你种7公顷土地的话，你采用什么样的技术手段？你生产出来的产品，特别是在粮食产品方面，到底有没有竞争力？这就是一个大问题。所以我想中国推进农业的适度规模经营在土地方面，有成功经验，也有值得认真深刻分析的问题，就是土地流转到什么规模，才可以使得我们的农业有进步。我刚刚讲了有两个度量指标，一个生产指标，一个竞争力指标。正是面临这样的问题，我也到各地农村去考察。你说经营100亩土地，你一个农户要购置全套的农业机械，投资是多大，成本是多高，最后是得到农产品的成本效益中，能不能有国际竞争力，这就值得思考。

从这个角度去讲，我想只要有条件，只要有农民意愿，推进土地流转规模经营，这样一种新的农业，这样一种农业经营体系方面的创新，还应当坚持。只要做的下去，还应当继续做。但是我们这几年看到了更多的一种现象，就是农民不流转他承包土地的经营权，而是采取购买服务的方式，把农业生产中耕种收这样一些重要环节，通过购买服务的方式把它交给专业化的农业生产服务组织或者服务的专业部门去种。这种形式和前一种形式的差别是什么？从经济上讲，我们回避了地租这样一个很敏感的问题。那么大家能看到的，就是随着粮食价格的降低，过去一些流转土地进来的大户，就开始抱怨地租太高，他的收益被挤得像刀片一样薄了，甚至承受不了，要放弃流转土地，不干了。通过购买服务这种形式，或者叫做农民托管也好、代耕也好，那么这样的方式来做呢，没有地租问题。于是就形成了一个在农业市场价格波动，农业的承包户和提供服务的组织之间，一个利益与风险共担的这样一种机制。如果市场价格高，那么我提供的服务费用也可以收的多。如果市场价格低，那么我提供的服务费用只能再便宜点，否则你就不买我的了。而对于农民来说，因为土地租金掌握在自己的手里，所以他在这方面就有更强的承受能力。从技术方面去讲，他就解决了一个我刚才提出的，几十亩土地、百八十亩土地，你能用什么样的先进机械去耕作呢？用了很先进的，可能经济上就要亏损，用了不太先进的，那你可能最终经济上没有竞争力。但是采取了这样的一种办法，我刚刚讲的一种购买服务，委托代耕的这样一种方法之后，在一定程度上，为这个问题的破解提供了一种思路。因为我一套农业机械，可以为附近的几十户、上百户，甚至更多的农户提供耕种服务。所以我买这套机械的时候我就清楚，我不是为了我自己家这几十亩用的。我这套机械可能就可以在几百亩上千亩，甚至是更大的面积上进行作

业。也就是机械作业的规模扩大，它在相当程度上就弥补了，先进的大机械不能在小规模土地上耕作的这样一个突出的问题。这是不是一条路，我想中国农民在探索。

一个最经典的例子，现在大家都知道，中国对于无人机的运用，特别是无人机在农业上的运用水平在世界上可能是最高。无论是数量，还是在运用的技术方面，是非常大的一个规模。那么很简单，一台无人机用于施肥，用于喷药，差不多几分钟就是一亩地。一户人家买一台无人机，那你只有几亩地，十几亩地，几十亩地的话，十分钟就可以把土地的作业做完。它能大量的使用，就说明买无人机的人，很明白他不是为了自己家的土地用，周围的农民也知道你买了我就不用买了。正是通过这样一种方式，我说中国农民也在探索一种非常独特的路，来实现一定程度的规模进步。所以我想要提高规模，很重要的一个，一定要让自己的思路打开。就是农业生产是由一种多种要素构成的经营活动。土地是一个要素，劳动力是一个要素，投入的各种各样技术装备也是一个要素。所以你在讲规模的时候可能要认真地想一想，它不是一个单一规模扩大就可以解决的问题。在某些要素上受到各种各样的限制，难以扩大规模，那我可不可以在别的要素上考虑去扩大另一个要素的规模。我想实际上中国农民已经走出来了，正在走这条道路，一个通过土地经营权的流转集中实现耕地的规模性，一个通过扩大农业技术装备为农民服务的办法，来提高机械和其他作业装备的作业规模。他们是不是能够取得更好的效果，这还是值得我们认真去探索研究的。

中国中央政府鼓励农民从各地的实际出发，去探索各种各样真正能够提高效率，提高产品竞争力的农业经营机制方式的创新。我刚才讲的这种要追求规模经营的，我想非常重要是在大宗产品，粮棉油这些产品。但是还有更多的鲜活农产品，更高价值的其他一些农产品，它可能并不追求土地的规模化。但是你到农村去看，比如说我们种植高品质的蔬菜、水果、鲜花等等这些东西。你能看到大多数农民有种植这些产品的愿望，因为它经济价值高。但是他不知道到底什么品种好以及怎么去引进。他也不知道这个从来没有种过的品种到底应该怎么栽培，它的技术要求是什么，种出来了之后，普通农民甚至不知道，怎么能够快速高效地把这个鲜活产品卖出去，不要烂在手里。我刚才讲的这三个问题，对于绝大多数普通农民来说，都是稀缺的要素，他不掌握。但是也有少数农民是掌握的，被称为农人。很多地方就通过让这些农人起带动作用，让他们组织农民的专业活动，这些农人把他们掌握的东西传授给其他农民，在合作社内，得到了充分的带动，所以一片片的农民就开始生产过去从来没有自己见过或者很少见过的一些产品。这样的专业合作组织，可能在其他一些鲜活产品，高价值产品也会获得巨大成功。

还有一种方式就是，现在人们讨论的比较多的，工商资本介入农业到底是好事还是坏事？这个问题我想在日本争论也是很厉害，我多次到日本去也多次探讨这个问题。但是不管怎么样，在畜禽养殖业，还有一些高档蔬菜水果的生产上，用高资本高技术的农业实现工厂化生产，取得效益非常高。因为他可以通过设施的建设来营造人造气候环境，他可以用工业的标准化理念，来推动设施里边的农业生产过程，他可以用有效的办法来监督整个生产过程中的质量安全，还可以用各种各样的设施来替代人类。正是由于这种工厂化生产具有这样一些特点，所以在很多方面取得一些巨大的成就。在北京郊区我就看到有年产三百万只蛋鸡，一年可以生产八亿枚鸡蛋，这样的工厂化生产的养鸡场。北京这样一个有两千多万人的城市，据他们专家跟我说，像这样的养鸡场大概有个五六个、六七十个这样的工厂，整个北京人吃新鲜鸡蛋的问题都可以解决。现在越来越多的，十万头的养猪场、几万头的养猪场，都在发展。我想这也是一种，提高效率、创造新的经营形式的途径。所以可见，放手让农民去创造，根据当地的实际情况，当然要营造他们遵循农业知识性的规律去创新发展。我想一定

会，在我们过去分散的小规模生产的基础上，逐渐去推动也能够和国际市场相竞争的一种新型农业经营体。当然我们的总书记也讲过，要改变整个中国农业这样一种分散的、粗放的经营方式将是一个非常长的历史过程，而且各地推进是不平衡的，所以不能强制性的去推动某一种单一的模式。我个人认为，农业经营体系的创新，一定是一个多样化、多元化的过程，政府的责任是去认真地总结他们的经验，在适合的地方引导农民去学习这些经验，感觉到大家都觉得是认可的经验，那么政府应该通过政策去推动它。

最后一点我补充一下，就是刚才讲到，怎么在工业化、城镇化，和传统农业之外，再给农民寻找，新的就业空间和增收来源。实际上就是这两年我们讲的比较多的，在农村推进一二三产业的融合发展。推进农村的新产业、新生态的发展。我想在这里特别讲一些，农村一二三产业发展这个概念。实际上我们是从日本引进过来的。我知道在日本，我的好朋友也是我师长，日本著名的农业经济学家今村奈良臣。他最早提出了六次产业的概念，我记得去日本去，我住在新大谷饭店，他专门拿着小白板，到我住的房间来，跟我吃饭的时候在白板上跟我讲为什么叫六次产业。一加二加三等于六，一乘二乘三也等于六等等。回来之后我们在研究政策的时候，我提到了这个概念。中国的农村发展，是不是也应该走一些产业融合的道路。后来我们再三考虑到，中国农民的理解和接受的情况。所以没有直接套用这个六次产业，而是用了一个一二三产业融合发展这个概念。其实内容是一样的。也是从日本受到的启发。

我们现在能看到的，在中国的农村出现了大量的这一类的新产业。最热的两个方面，一个是借助互联网，网购、电商，在农村正在快速的发展。这个进展的速度远远超乎很多人的预料。当然我们现在面临的问题，还是工业产品下乡的多，农产品进城的少。很重要的就是农产品的标准化，包装运输等问题比较复杂，还在探索中。

第二个大方面就是所谓的乡村旅游、休闲农业、体验农业等等。这个方面发展速度也是出乎意料。很多人都知道，去年中国国内旅游的人次是42亿，根据国家旅游局的统计，其中有一半人次20亿人次是到乡村去旅游的。它给农村带来的营业收入超过5000亿元，带动了农村大概是七八百万户的农民投入到这个行业里，去从业、去就业。

我觉得，这种新的形态的发展，让我想到1997年，日本进行农业法修改的时候提的一个概念，叫农业的多功能性。我知道1997年日本修改农业法，提出农业多功能性这个概念是为了在GATT转WTO过程中对于农业补贴问题有一个新的说法。因为农业补贴不完全都是为了产品的生产，不完全是去为了扭曲贸易关系，而是因为农业有多种功能。但是我觉得这个概念提的正确，确确实实农业本身就存在着多种功能。它除了提供产品之外，存在着各种各样的功能，包括文化、历史的传承，环境等等这样的一些因素。如果把农业农村所具备的所有功能，我们都能比较认真的深入研究把它挖掘出来，都把它变成具有满足性的消费需求的产品，农村将会成为一个不是简单的只是提供农产品的场所。我所讲的，中国一方面要推进规模性经营，土地规模经营我们还是要追求的，但是要有农民能离开土地，自愿的离开土地，你才能顺利的推进规模经营。但是如果城市，在相当时间内又不可能吸收你这么多的人来就业，那么怎么办呢？实际上中国正在探索一条在农村通过一二三产业融合的一个方式，通过发展新产业的方式，让农村给农民提供更多的不直接依赖于耕地的就业岗位，让他们从产业融合中、从新产业中来增加它的收入。这对中国来说可能也是一条极其重要的道路。应该说这一切都在探索和试验的过程。我们提出农业供给侧结构性改革才短短的两年多时间，但是可以说，已经看到了一些曙光。当然在这个过程中，再往前走，也会面临很多新的困难和问题。所以我想我们只要大家跟农民一起，认真去研究农村的新发展、新变化，认

真的去总结他们好的经验，中国农业实现供给侧结构性改革一定会顺利的向前推进。很多看来难以解决的难题，也会逐步地去化解。

我就谈这点感受，供大家作参考、交流和对比。请大家批评指正。好了，谢谢大家。

# 合作研究项目概况 —20 年的合作与交流

## 合作研究项目概况—20 年的合作与交流

钱小平 国际农林水产业研究中心

以国际农林水产业研究中心(JIRCAS)和中国农业科学院(CAAS)为主的国际合作研究项目自 1997 年第 1 期项目开始以来, 20 年间实施了 4 期合作研究, 现在第 5 期项目正在进行中。这 20 年间中国经济显著增长, 农业领域也发生了很大变化。合作研究的内容也是根据双方的关心事项及形势的变化在调整中进行。这里主要就迄今为止的合作研究进展、特点以及取得的成果进行总结。

### 1. 合作研究概要

1997 年开始的合作研究是在中国农业部国际合作司和日本农林水产省技术会议事务局的协议框架下的政府间合作项目, 这种形态持续到第 3 期合作研究结束(2010 年度)。从 2011 年开始合作研究项目以 JIRCAS 和 CAAS 为主体进行, 同年签署了合作备忘录(照片 1, 2)。

研究项目是以强化跨学科合作来解决问题的“综合型项目”形式进行, 研究课题的构成基本上由自然科学及社会科学研究组成。因为是国际合作, 需要考虑双方的需求, 在关注度较高的领域开展合作。研究主题是根据农业、经济状况的变化而改变, 与时代的需求相结合。先后在提高农业生产力、开发收获后技术(流通加工等), 可持续农业的环境技术、环境友好型农业研究、高附加值价值链研究等方面开展合作。

这期间中国经济发生了显著变化, 农户收入增加了 4 倍, 粮食生产增加了 28%。中国在 20 世纪 90 年代还是农产品出口国, 2001 年加入 WTO 后农产品进口增加, 到 2004 年已经成为农产品的纯进口国。

各期的合作研究项目题目如表 1 所示, 下面概括地介绍各期的实施内容。

表 1 项目名称及实施时间

实施时间	项目名称
1997—2003	中国主要食物资源的可持续生产及高度利用技术的开发
2004—2008	关于中国农作物生产和与市场变动相对应的农产品供给系统的开发研究
2009—2010	构筑生产条件不利地区低投入环境友好型经营系统
2011—2015	中国北方旱作地带循环农业生产系统的设计与评价
2016—2021	形成并提高食物资源的高附加值的价值链实现农村的可持续发展

#### 1) 中国主要食物资源的可持续生产及高度利用技术的开发(食物资源)

“中国主要粮食资源的可持续生产及高度利用技术的开发”项目由以下(I)适应粮食供需结构等变化的高效生产流通系统的设计, (II)主要食物资源的可持续高度稳定生产技术的开发及(III)流通加工利用技术开发的三个课题构成, 各课题中根据需要设有具体的子课题。课题及子课题的研究内容间相互联系, 共同探讨“稳定丰富的食物生活”。项目包括社会经济, 育种、环境领域的研究、以及食品·水产品·畜产品等多方面研究。

社会科学研究以农业农村结构变化, 食物供求趋势及技术推广和对地区经济的影响评估

为中心做调查分析,这些研究结果以各种形式发表,对粮食供需、粮食安全问题和农产品价格、区域间差距等研究为政策决策提供了有用的素材。针对技术推广系统的研究也对后续的政策制定,尤其是对小农经济发展中技术支持方面的政策制定带来了影响。

育种研究主要集中在对水稻和大豆的遗传资源特性评估,新品种素材的研究及水稻移动性害虫的综合防治技术等方面。在新品种培育方面取得了很大的成果,与吉林大豆所培育的品种有一部分得到推广。在病虫害的研究中,解决了水稻的主要害虫白背飞虱的移动路径问题,这项成果有利于预测虫害的发生。环境研究针对粮食主产地以氮素为中心的主要元素的动态循环问题,通过在山东省的肥料使用试验,在施肥技术上取得了成果。

食品加工方面的研究以大米及大豆为原料的中国传统食品的加工技术和对其功能性研究为主,项目开始时中国食品加工领域的研究相对落后,项目课题的研究有助于提高整体研究水平,并取得了大量的研究成果,有些技术获取专利,有些技术得以转让。由于 JIRCAS 研究人员的突出贡献,先后有两位获取国家外专局的友谊奖。水产研究以开发利用淡水鱼的加工技术为主,鱼糜的加工利用技术及其产品化,对提高淡水鱼的附加值起到积极作用。畜牧方面的研究以东北地区玉米及秸秆,牧草等作为家畜饲料的利用方式及对改善当肉质的评估,从饲料营养角度做出 100 多种常用粗饲料的营养成分表,这些对当地牲畜的饲料有效利用方式及品质的提高起到了积极作用。

该项目是迄今为止最大的一个项目,因项目涉及的研究层面较广,除了日中双方的主要负责机构以外,还有许多研究机构、大学的研究人员参与进来。日方以 JIRCAS 为中心,农林水产省属下相关研究机构及有关县的农业试验场都有参与。中方以 CAAS 为主,农业部下属的研究机构、中国科学院的相关研究所,中国农业大学及相关的省农科院参与。7 年期间参与课题的研究人员在各自的领域取得了丰硕的研究成果,表 2 为 JIRCAS 统计的发表论文数及召开研讨会的件数。

2009 年对此项目进行了追踪调查,中方给予了高度评价。据 CAAS 的材料显示,项目相关成果中获得国内科技进步奖 18 件,专利 3 件,新品种 31 个,著书 5 部,论文 326 篇。从人才培养的角度看,项目实施中有 47 名获得博士学位,55 名获得硕士学位,博士后 7 名。日方提供的研究用机械设备为 300 套,项目结束后也在使用。中国农科院对项目成果表示满意。项目成果不仅停留在研究等学术领域,通过合作研究中的人员交流及文化交流,建立了良好的合作关系,这些关系对后续的合作研究起到了积极作用。

表 2 项目期间召开的研讨会及发表的论文数

	FY1997	FY1998	FY1999	FY2000	FY2001	FY2002	FY2003
WS 等	3	4	7	3	4	5	5
论文等	4	6	12	26	17	21	32

注: FY 为财政年度,每年的 4 月 1 日到下一年的 3 月 31 日。

WS 指召开的研讨会。论文数为 JIRCAS 统计的在国内外学术刊物上发表的论文及书籍。

## 2) 关于中国农作物生产和与市场变动相对应的农产品供给系统的开发研究(食物变动)

加入 WTO 和 FTA 政策是中国市场经济发展的标志,经济发展的全球化使得与日本的关系更加紧密,同时以粮食为主的食物生产和消费趋势变化,以沙漠化和移动性黄沙为代表的越境环境问题也是双方所面临的共同问题。此项目旨在通过减少灾害风险和改善农村农户经济系

统来提高粮食生产的稳定性和提高农户收入。以粮食主产区的东北地区为中心,开发预测并降低多发性农业气象灾害(冷害)风险的研究,科学地分析生产与自然灾害,经济及环境变化的相互关系,以有助于稳定国内粮食供求状况。提高对农业气象灾害风险评估技术,把握粮食生产趋势并探讨农民组织化方案等,会对提高东北地区的农户经济水平起到重要作用。

JIRCAS 于 2004 年 9 月起与中国农业科学院、黑龙江省科学院、国务院发展研究中心一起启动了“关于中国农作物生产和与市场变动相对应的农产品供给系统的开发研究”项目。该项目由(I)提高农业资源评价技术及构建农业气象灾害的预警系统,(II)农业生产变动下的风险评估和构筑农村经济稳定化系统的两大课题构成,这些技术及经济研究相互关联,其内容在于探索“农户经营、农村稳定”。

技术领域的子课题由,(1)利用卫星数据提高农业资源评价技术(2)农业气象监测在农业灾害预警系统技术中的应用组成,完成了中文版“黑龙江省水稻冷害预警系统”。在此系统的网页上,以日平均·最高·最低气温和日累积降雨量为基本的气象数据,基于该气象数据建立了 5km 网格数据,用户可以建立任意期间的积温,平均温度或冷却量的网格数据。同时,检测水稻生育状况的发育预测模型采用了对应 3 种 DVR 的形式。通过运用该系统,可以对黑龙江省水稻生育状况进行监测,并可制定针对农业灾害的稳定作期。

利用开发的以黑龙江省为对象的稻田分布计算方法,绘制了 2003-2008 年水稻种植分布图,揭示了其分布和变化状况。水田不是广泛分布在地势低的地方,而是以灌溉水的易得性为主要条件形成的分布状况。该期间水田分布变化特征表明,东部三江平原北部的稻田增加明显,而位于南部的传统种稻区的生产趋势平稳。2008 年出现稻田减少的现象。通过这种方式可以在较早的时期掌握面积的变动并可推算生产规模。

社会科学的研究课题以,(1)针对农业气象灾害引起的生产变动风险和导入信息系统的经营评价;(2)广域流通及推进农业社会化服务体系下的稳定市场方案的建议。(3)市场稳定化策略等对国内外粮食供需的影响分析和预测,3 个课题展开。

2002 年发生了障碍型冷害,黑龙江省发生冷害地区的水稻单产比正常年减产一半,我们对虎林市进行了农村调研。结果表明水稻种植历史较短农村的农户对选择冷害收益变动风险高的品种选择性更高。与期待选择品种相比,农户实际的栽培品种对冷害发生的收益变动风险更高。可以说,对于冷害引起的收益风险农户没有引起足够的认识及应对措施。

对黑龙江省的水稻供需进行了预测分析。中长期看水稻生产有增加趋势,而预测水稻价格的上升并没有那么大。单产的变动可以扩大水稻价格的波动幅度,作为提供稳定的粮食移出地区有增大其风险的可能性。由于冷害等气象变化,会导致生产变化,纯移出量的上下幅度会增加。从生产角度,面向农户的直接补贴及对农机具,生产材料的支持政策将成为谋求水稻生产稳定化的有力措施。

迄今为止的研究成果除了发表论文及出版物之外,还以合作伙伴为主为政府政策制定提供了相关的报告及资料。同时以召开研讨会等形式发表相关的研究成果。此外,在日本国内,也以 JIRCAS 工作报告和学会发表等各种形式发表研究成果。在项目实施期间发表的论文,著书等印刷品 69 件,研讨会和现场交流会 12 次,构建了黑龙江省水稻预警系统等完成了诸多成果。

### 3) 构筑生产条件不利地区低投入环境友好型经营系统(农业环境友好)

在中国,面对倾斜地表土流失及三化问题(草原退化、荒漠化、盐碱化)日渐严重的草地,

政府在大力推进生态环境恢复政策(“退耕还林”、“退牧还草”)。在三化问题日趋严重的畜牧地带,由传统的放牧经营转换为舍饲经营,其前提是具有牲畜建设的初期投资和确保购买饲料的情况,部分农民由于成本的增加难以确保充分的收入,也有部分农民通过扩大乳业经营规模实现并提高了收入水平,由此出现农民的2极分化。解决环境问题和提高农户收入一般来说陷入二者择一的情况较多。项目以生产条件不利地区为对象,通过阐明畜产经营中环境负荷发生机制和减轻负荷对策的经营·经济评估,明确建立与稳定并提高农户收入相关的环境协调型经营系统及其可行性研究为目的。

该项目是为期2年的社会科学研究项目。以阐明畜产经营中的环境负荷发生机制和减轻负荷对策的经营·经济的评价为中心,以乳业生产快速发展的黑龙江省为对象,针对粪尿处理方法的经营评估及从消费者的视角分析环境支付意识为主。具体来说,

- 阐明畜产经营对环境负荷产生的影响
- 探明面向确立环境协调型经营方式的畜产流通状况
- 分析评估减轻畜牧生产引起的环境负荷对策
- 农业、环境政策对农业生产、农业经营的影响评价

上述4个课题,实施对畜产农业、流通商、消费者的调研,从经济、经营学的角度进行了分析。在研究调查中收集的数据之后形成论文,同时为下一期项目的设计提供了基础。

#### 4) 中国北方旱作地带循环农业生产系统的设计与评价(循环农业)

随着经济的快速发展,中国的粮食供求结构、农村社会结构产生变化,不仅是沿海地区,内陆的农村地区也快速从原来的单作型农业形态向集约型多样化农业形态转移。同时,集约度高的农业生产地区,随着化肥的多投和畜牧业的扩大增加了环境负荷。在农业生产条件不利地区,由于掠夺型的资源利用使得农业生产环境进一步恶化。在这些问题越来越显著的华北旱作地区,对有效利用当地的环境资源,减轻环境负荷,稳定并提高生产者收入的新的农业生产系统的需求越高。

北部旱作地带是中国主要的粮食生产基地,其生产动向及其变动不仅对国内粮食供需产生影响,而且对国际粮食市场也有很大影响。该项目在中国北方旱作地区,在明确伴随农业生产形态变化的环境负荷现状及未来的展望的同时,开发粮食集约产区的资源循环型技术。在农业生产条件差的农牧交错地区,开发以利用高附加值作物的生产技术等的循环型农业生产系统的核心要素技术。并探讨和提出考虑循环型农业生产系统特点的支持措施及政策。

具体内容有,中长期生产预测和环境负荷评估的地区模型研究,在粮食集约产区和农牧交错地区的循环型生产技术的开发和评估,循环型农业生产系统的推广和落实的分析评价。主要成果有以下几点。

(1)通过评价河北省保护性耕作技术,表明利用作物残渣等可以维持小麦产量并有节水的可能性。这些基础知识的重要性和信息的公开,对推进今后的研究和实施相应对策,为华北平原最重要的水不足问题做出贡献。

(2)通过市场分析明确了农牧交错地区的优势和劣势,并将分析结果反馈到现在的生产系统,得以构建适合当地自然环境条件的栽培系统,达到提高农牧民收入的效果。研究开发了利用畜粪发酵产生的热量生产有机蔬菜的栽培系统,得以申请为实用新案,并于2014年11月11日实现了权利化。

(3)运用计量经济模型对农畜产品供需进行了预测模拟分析,特别是对玉米加工利用模拟分

析的结果中得出地下水水位下降对单产的影响等,这些结果体现在给政府的报告中。同时对正在探讨的华北地区节水政策和对玉米加工利用的限制措施等提供了参考。此外,对河北省和辽宁省农户使用有机材料特别是利用作物残渣的调查结果,如农户作物残渣的再利用(还田)、搬出(离田)成本的分析等,为农业部推进的生态循环型试点地区的选定,作物残渣还田辅助标准制定等提供参考。获得了开发和评价循环型生产技术的相关知识,并提供了循环型农业生产系统信息。这些成果不仅可以对有效提高当地农业生产力,而且有助于协调农业发展与地区政策的关系。

项目实施期间发表论文 28 篇,著书 2 部,学会发表,综述,栽培系统的“实用新型”专利等取得了诸多成果。

#### 5) 通过高附加值的食物资源价值链的形成促进农村可持续发展(食物价值链)

现在正在实施中的合作研究项目“食物价值链”,目的是把握亚洲地区区域内流通的食物资料赋存状况,阐明以提高附加值的技术开发、从生产,加工,流通到消费过程中食物价值链的形成因素。对象国家为中国、老挝、泰国。共同的主题是阐明各国传统食品的附加价值功能和以主食的大米为对象的消费者需求,特别是对高品质大米的嗜好性和高附加价值化的研究。在中国的研究课题由食品科学和社会科学构成,其中食品科学方面以对传统食品的品质评估技术和食品功能性的研究为主,社会科学方面以对大米的消费需求研究和对杂粮的价值链形成研究为主。与中国农业科学院的合作研究为社会科学研究,具体实施的课题如下。

- (1) 主粮市场的消费者需求和消费者选择行为研究(食物营养发展研究所)
- (2) 主粮市场中的品牌战略研究(农业经济与发展研究所)
- (3) 为可持续农村发展的价值链评估方法的开发(农业资源与农业区划研究所)

中国农业正在从追求数量向追求质量品质的转变。生产消费者喜欢的产品,提供品质上可以赢得消费者信赖的产品的结果是可以确保农户的利益,这种双赢的关系越来越重要。现在正在进行中的研究课题从此意识中出发并为其有所贡献为目标,我们的目标是实现提高食物资源的附加值,利用当地的传统食材提高其利用、加工度以满足消费者的需求、嗜好,为消费者提供安全、安心的高品质高功能性食品,通过这样的价值链研究为改善发展中地区的农民生计做出贡献。

## 2. 交流与培养人才

合作研究的另一大作用是研究人员间的交流和人才培养。在 20 多年的合作研究中,在各个专业领域发表了许多研究成果(论文、著书、综述等)。虽然在这里没有依次举出,但是这些研究成果是双方研究人员努力的产物,也是持续进行良好的合作研究交流的结果。

合作研究中,日方以 JIRCAS 为中心,根据研究内容调整研究人员,食品产业技术综合研究机构、大学等参与了合作研究。表 3 显示的是参与的研究人员及所属研究机构的状况。中方以农业部下属的中国农业科学院为主,中国农业大学、国务院发展研究中心、中国科学院及省级的农业科学院等也有参与,特别是第 1 及第 2 期项目参与人员较多。从第 3 期开始以社会科学研究为主,现在技术领域方面的研究以功能性食品研究为主。

表 3 合作研究的参与人员及所属机构状况

	日方		中方	
	人数	机构	人数	机构
食物资源	30 名以上	JIRCAS, NARO, 农林水产政策研究所、中央水产研究所	35+	农业部下属 5 所, 中科院土壤所, 中国农大, 吉林省农科院, 上海水产大学等 10 所机构
食物变动	11	JIRCAS, NARO, 政策所, 明治大学	14+	农经所, 区划所, 环发所, 国务院发展研究中心, 黑龙江省农科院
农业环境友好	3	JIRCAS	7+	农经所, 区划所, 中国农大, 黑龙江省农科院
循环农业	7	JIRCAS, NARO, 明治大学	9+	农经所, 区划所, 草原所, 中国农大
食物价值链	6	JIRCAS	8+	农经所, 区划所, 营养所, 中国农大

注: NARO: 国立研究开发法人 农业・食品产业技术综合研究机构

推进合作研究的方式在双方共享研究课题的基础上, 通过日方研究人员到中方相关机构开展合作研究外, 也邀请中国的研究人员特别是年轻的研究人员到日方的研究机构学习并探讨研究方法, 开展实验等方式进行。这样可以使双方具有共同的问题意识更好的推动合作研究。在实施的项目评估中, 中方对此给予了高度评价。迄今为止 JIRCAS 有两位专家得到由中国政府授予的外国专家友谊奖, 从此意义来讲也是对 JIRCAS 贡献的评价。1997 年合作研究开始时的中国与现在的中国有了很大的变化, 在这大转变中, 双方通过相互切磋友好合作取得了很大成果, 同时在项目实施期间也有许多年轻的研究人员通过合作研究取得了硕士和博士学位, 现在他们已经成为各研究单位的骨干或研究管理者。在双方的努力下迄今为止保持良好的合作伙伴关系。

项目实施中的相互访问(研究调查, 研究调整等)的状况如图表所示, 表 4 和表 5 分别是分项目的由 JIRCAS 到中国的访问及从中国到日本的访问情况。各年度的详细数据如图 1 和 2 所示。首先看一下到中国的访问情况(表 4 和图 1), 第 1 期最多, 之后每年大致在 15 人次左右。第 1 期项目由于是合作研究的开始, 而且作物育种栽培方面的研究也较多, 所以包括长期派遣的人员在内, 参与的研究人员及研究管理人员到中国与当地研究人员合作的人员也多。在长期派遣的专家中由于对研究生的指导, 特别是鼓励年轻的研究人员不要怕失败要努力积极的思考将自己的想法用到研究中, 这样提高了年轻研究人员的积极性。这些在当地的研究机构给予的高度评价。同时也鼓励他们多与国外交流, 这样可以得到更多的相关研究信息, 帮助他们到日本进行学术交流, 对人才培养做出很大贡献。这些年轻的学者中产生了优秀的研究人员并取得了显著的研究成果。此外, 对 JIRCAS 研究人员的刻苦钻研精神, 对研究的姿势等对中方的研究人员尤其对青年研究人员产生了很好的影响。

除了来自 JIRCAS 的派遣之外, 还邀请中方研究人员及研究管理人员到 JIRCAS 或日本国内的其它研究机构以短期或长期的形式开展合作研究。每个项目的来访人数参照表 5、图 2, 许多青年研究人员到 JIRCAS 等研究机构后不仅学习共享研究内容, 还加深了对研究姿势的理解等。所以这种研究人员的交流及到日本开展的研究合作对年轻研究人员的成长以及合

作研究的顺利开展起到了重要作用。至今到 JIRCAS 从事 1 至 2 年长期合作的研究人员有 29 名，短期的有 245 名，通过这些研究活动取得了丰硕成果。近年网络等通讯手段的发达与多样化，相互访问活动有所减少，但项目在顺利进行。同时以参与会议形式的来访不断增加。

为加强对外宣传合作研究成果，各项目期间召开了讨论会(表 6)并发表了研究成果。第 1 期，举办了 30 个研讨会，第 2 期召开 6 个研讨会，第 3 期召开 1 个研讨会，第 4 期召开了 2 个研讨会。举办场所，除北京以外，还在东京、仙台、上海、杭州、扬州、哈尔滨等地实施。通过这样的活动，可以加深相互理解，有效地推动开展合作研究。

在此整理了 20 年的共同研究概要及研究交流等情况。合作研究需要结合双方的需求制定研究课题，当然不同地方的研究人员之间需要相互理解与合作。日中共同研究取得了丰硕成果，这与双方的相互理解与努力是分不开的，这些在今后的合作研究中也会得到继承发展。

表 4 日方研究人员访问人次数

项目名称	实施年数	短期访问（管理人员・合作研究人员）	长期访问（半年以上）
食物资源（1997-2003）	7 年	216	19
食物变动（2004-2008）	5 年	83	6
农业环境友好（2009-2010）	2 年	11	2
循环农业（2011-2015）	5 年	80	1
食物价值链（2016-2020）	5 年	8	0

注：数据截止到 2016 年度。

表 5 中方来访人员的人次数

项目名称	实施年数	短期访问（管理人员・合作研究人员）	长期访问（1 年以上）
食物资源（1997-2003）	7 年	147	21
食物变动（2004-2008）	5 年	54	6
农业环境友好（2009-2010）	2 年	16	1
循环农业（2011-2015）	5 年	21	1
食物价值链（2016-2020）	5 年	7	0

注：数据截止到 2016 年度。

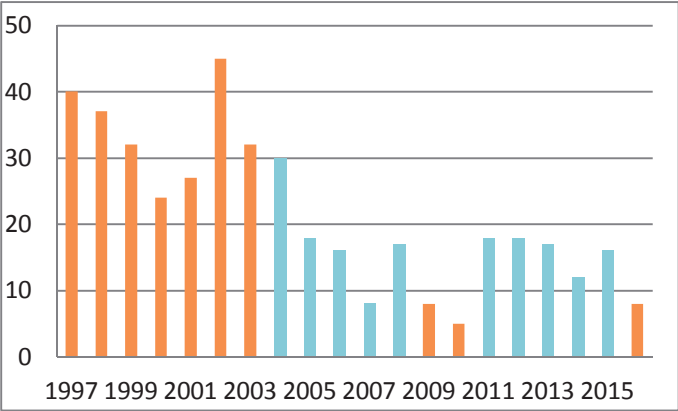


图1 日方研究人员分年度访中人数

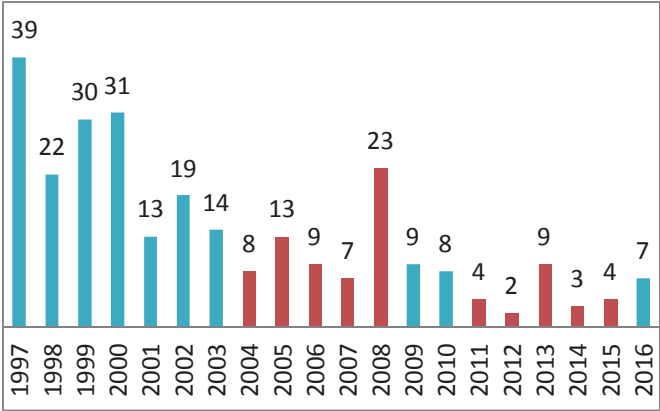


图2 中方研究人员分年度访日人数

表6 主要合作研究研讨会

日 期	会议名称	会议地点
1998年11月26日	中国粮食需求和农业技术推广	筑波，仙台
1999年2月22日	第1次中国淡水渔业资源有效利用技术的开发	上海
1999年3月12日	中国农业技术推广及其影响评估	北京
1999年3月23-25日	第2次中国环境友好型农业生产技术评估和开发	北京
1999年8月10日	第1次典型地区粮食供需平衡·流通及资源环境管理	北京
1999年10月21日	中国农业问题和农业政策	东京
1999年11月2日	中国集约型可持续农业	筑波
1999年12月2日	第2次中国淡水渔业资源有效利用技术的开发	上海
2000年1月27日	中国主要作物的育种及未来展望	筑波
2000年3月	第2次中日食品新技术研讨会	北京
2000年3月17-19日	第3次中国环境友好型农业生产技术评估与开发	南京
2001年2月1日	中国主要食物资源的可持续生产及高度利用技术的开发	筑波
2002年3月8-9日	第4次中国环境友好型农业生产技术评估和开发	北京
2001年10月18-19日	Sino-Japan Symposimu on Remote Sengsing and GIS for Agricultural Applications	北京
2001年10月29-30日	抗虫品种为基础的水稻害虫可持续治理技术的开发	杭州
2002年3月5-7日	第5次中国环境友好型农业生产技术评估和开发	北京
2002年6月27-28日	中日国交正常化30周年纪念农业研讨会	北京
2003年1月9-10日	中国农作物生产早期预警系统的技术开发	筑波
2003年3月11-12日	第6次中国环境友好型农业生产技术评估和开发	扬州
2003年3月19日	中国稻米生产流通与竞争力	北京
2003年3月21日	第2次中国农业结构调整与可持续发展	北京
2003年10月17-19日	Rice Germplasm Innovation using Biotechnology	杭州
2003年11月14日	中国主要食物资源的可持续生产及高度利用技术的开发	北京
2003年11月27-29日	中国淡水渔业资源的有效利用技术开发	上海
2004年2月17-19日	第7次中国环境友好型农业生产技术评估和开发	北京
2005年3月28-29日	New Trends Towards The Stabilization of the Chinese Development of Early-Warning Systems for Mitigation the Risks Caused by Climate Disasters through Technological Enhancement of Resource Monitoring and Crop-Model Simulation	筑波
2005年11月22日	Problem of food and the organization of farmers in Stable food supply systems for mitigating the fluctuation of production and markets in China	北京
2006年3月14日	Stable food supply systems for mitigating the fluctuation of production and markets in China	北京
2008年10月28-30日	Establishment of Environment-Friendly Agriculture Systems	北京
2010年10月29日	Current situation and issues of recycling-based agricultural production system in upland farming areas of Northern China	筑波
2013年9月5日	Recycling-based agricultural production system in upland farming areas of Northern China	北京
2016年3月2日	面向高附加值的食物价值链	北京
2017年7月21日	中日农业技术合作研究20周年学术研讨会	北京
2017年7月22日		

注：政府间会议及相关的项目协调会议等不包括在内。

## 面向可持续发展的农业环境研究

## 国际农业环境研究进展与中日合作 —农业生态系统中氮循环及其环境影响—

八木一行<sup>\*1</sup> · 宝川靖和<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 农研机构农业环境变动研究中心（现：泰国先皇技术学院能源与环境联合研究生院）

<sup>\*2</sup> 国际农林水产业研究中心（现：农研机构农业环境变动研究中心）

### 1. 前言

中国是世界上最大的粮食生产与消费大国。市场经济下居民收入与人口总额的持续增长都让中国的粮食需求不断扩大，也给农业质量与规模带来了巨大变革。除了2000年左右几年时间，由大米、小麦、玉米等“谷”类作物，以及豆类与薯类三大作物所组成的中国“食粮（中文叫做粮食）”年总产量从20世纪80年代初的3.2亿吨不断攀升，于1996年达到5亿吨，更是于2011年增长至6亿吨。

飞速增长的粮食产量背后最大的功臣是各种农业技术方面革新，特别是要归功于化肥使用量的增长。正如图1所示，中国粮食产量与氮肥消费量几乎呈同步增长。而中国单位面积土地平均氮肥消耗量在2000年左右赶超日本与欧美发达国家，已成为世界上最大的氮肥消费国家。此外，中国各地区化学肥料的使用量如中国的收入差距一般存在明显差异。沿海与长江流域这些较为富裕地区的化肥使用量其实早已在20世纪90年代时就远远超过了400kg N/ha这一平均值（Zhu & Chen 2002; Zhang F et al. 2013）。

滥用化学肥料导致了各种环境问题：如地下水和江河水的水体污染问题、湖沼与海湾富营养化问题、肥料产生温室气体从而导致的全球变暖问题、平流层臭氧空洞问题、光化学空气污染问题、酸雨与可吸入颗粒物（PM<sub>2.5</sub>等）增加问题（Mosier 2002）。这些问题在发达国家已成为一大社会问题，其化肥使用量均呈现下降趋势。然而中国化肥使用量却始终居高不下，不仅给作为人类重要饮用水源之一的地下水水质以及淡水渔业（鱼类及贝类）造成了恶劣的影响，导致了大气污染状况进一步恶化，而且化肥费对于农民收入来说也绝不是一个小数目。因此适量施肥从农民家计这一角度来说也是十分有意义的。

### 2. 中日环保农业方面合作研究

#### 1) 合作研究项目概要

日本国际农林水产业研究中心（JIRCAS）于1997至2003年在中国举办了第一期中日农业科技综合项目，主题为“研究中国主要粮食资源的持续生产及高效利用技术”。此次项目主题为：（1）设计粮食需求构造变化背景下的高效生产流通系统。（2）研究使主要粮食资源实现可持续高稳定生产的技术。（3）研发流通加工技术，从多角度解决中国粮食问题，提供科学技术智慧来实现更为“稳定富饶的生活”。然而，以粮食增产为目的的农业技术往往给环境带来了更加沉重的负担，反而可能成为阻碍实现“稳定富饶生活”的“负反馈”（图2）。

因此针对上文中所介绍的研究主题（2），项目开设了“环保型农业生产技术的评价与开发”这一专题来解决“可持续生产”这一问题，专题围绕适量施肥这一中心思路合作研究相关技术，旨在实现保持粮食作物高产，并且在与自然和谐共存的状态下达到稳定持续生产这一目标。专

题试图对项目启动时中国农业所面临的以下关键问题做出回答：

- ①中国集约型农业给环境带来了什么样的影响？
- ②现在这个影响有什么样的变化？
- ③未来又会产生什么样的影响？
- ④该如何减少这种影响？

但是面对复杂多样的环境影响，我们无法在有限的项目范围内网罗所有问题，并针对上述问题逐一作出解答。因此本合作研究选取“农业生态系统中的氮循环及其环境影响”这一题目作为上述关键问题的一个视角。氮不仅是粮食作物最为重要的营养成分之一，它给环境带来的影响也极为明显且严重。因此本研究旨在通过研究氮，来寻找在回答上述关键问题时最为不可或缺的“指南针”。

## 2) 研究体制与研究课题

本合作研究是在 JIRCAS 与中方的两家研究所——中国农业科学院土壤肥料研究所（所在地：北京，现：农业资源与农业区划研究所）及中国科学院南京土壤研究所（所在地：南京）的合作下合作完成的。中国这两家研究所均代表着中国土壤学方面研究的最高水平，不仅拥有众多优秀的研究人才，同时也在全国各地都拥有下属试验田，一直积极开展着各项研究活动。

而此次研究选取了中国典型且重要的三个农业地区作为实验地区，以这三个地区所采用的耕作体系为对象，进行了田间试验和大范围的农业环境调查（表 1）。三个地区分别为：1. 小麦-玉米种植区——位于华北平原的山东省陵县与北京市昌平区。2. 小麦-水稻种植区——位于长江下游太湖集水区的江苏省锡山区及常熟市等。3. 两季水稻地区——位于中国南部红壤地带的湖南省祁阳县。

## 3) 合作研究项目成果概要

在各农业生态系统中围绕氮的动向展开调查后，研究发现对于周围环境来说，所有对象地区内的耕地都是一个巨大的氮污染源，而耕地内大量的速效肥料就是罪魁祸首（图 3）。其中氨挥发给环境带来的污染尤为明显。所有对象农田内无论是旱田还是水田，在按照当地惯例对其进行施肥后，肥料中 1/3 以上的氮素都经由氨挥发逸散出土地。水田内的氨挥发主要原因是日间田面水 PH 值升高。而旱田中碱性土壤，尤其是华北平原大片碱性土壤也导致了大量的氨挥发。

调查证实，使用肥效调节型肥料、厩肥和深层施肥法等做法都有望缓解耕地给环境带来的负担。特别是合理施用肥料调节型肥料能够大幅减少氨挥发量（图 4）。不仅如此，研究表明这一做法对减少水田内田面水造成的氮水面流失也能达到同样的效果。根据以上研究成果，我们基于缓解环境负担与保持耕地产量两个思路，将各研究对象地区内推荐施肥法做了归纳整理（表 2）。

上述结果汇编并发布在 JIRCAS 第 65 号工作报告（Hosen 2010）中，以下则是每个领域的成果概要。

### (1) 华北平原农业生态系统中氮素流向及其调控

#### ①分析该地区内有机物及氮循环

山东省陵县是华北平原典型农业区。我们用氮循环模型对其 1979 年-1997 年间氮循环进行了分析，并且调查了当地地下水水质（Yagi et al. 2010）。调查发现虽然农田土壤及周边

环境中含有大量的氮,且还在不断增加中(图5)(1997年时平均一年内氮含量攀升至 $288\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ ),但在当地地下水中并未检测出大范围的硝酸盐污染。结合下方田间试验结果分析,这或许是因为大部分的氮都经由氨挥发而逸散至空气中,从而扩散到了环境中(Yagi & Hosen 2003)。

## ②集约型农业给环境带来的负担及其应对措施

在山东省陵县,就施肥深度以及使用肥效调节型肥料对氨挥发与粮食产量的影响进行的试验(Zhang R et al. 2002; 2010a; b)表明,同样按照惯用肥量( $450\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ )进行施肥的试验田中,将当地习惯肥料尿素施肥于土地表面的情况下, $165\pm 10\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ (相当于肥料中氮总含量的37%)的氮都经由氨挥发流失了。而将等量尿素沟施肥于深度5cm处的条件下,氮流失量被降低至 $97\pm 2\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ (相当于肥料中氮总含量的22%)。也就是说,按照沟施肥方法将肥料施肥于深度5cm处时氨挥发量仅为表面施肥时的59%(图6)。而在同样深度采用沟施肥法施用肥料调节型包衣尿素的情况下,氮素经由氨挥发流失量仅为 $-0.5\pm 7.1\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ (约为肥料中氮总含量的0%),降至未施氮肥区域同一水平(图4)。在玉米种植期(暖季)施肥一周后明显观测到大量的氨挥发。而玉米和小麦产量分别在包衣尿素试验田(比惯用肥量减少33%)与尿素深层施肥田(惯用肥量)达到最大。因此若要同时实现减少环境负担与保持、提高产量两个目的,建议对玉米采取施惯用肥量67%的包衣尿素,或尿素深层施肥(惯用肥量)方法,而对小麦则采取尿素深层施肥法(惯用肥量)。

## ③不同施肥量与不同肥料种类下氮损失量

在北京市昌平区的渗漏计田间试验区对惯用灌溉条件下地下渗水造成的肥料成分溶解流失量进行了三年定量调查后(Zhang S et al. 2010),调查发现在所有种类的肥料(尿素及包衣尿素)与施肥量( $0\sim 450\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ )条件下,地下渗水量及无机氮溶解流失量均分别落在 $6\sim 73\text{ mm y}^{-1}$ 与 $0.3\sim 2.1\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ 区间内,均为未使用氮肥区域最大,而惯例施肥区(尿素 $450\text{ kg N ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ )最小。这就意味着。当地农田生态系统中肥料因地下渗透而导致地下水污染的危险性较低。

## (2)太湖水质污染导致的面源污染之影响

### ①村落规模内影响

在太湖西北岸地区的典型村落常州市武进区雪堰桥镇(33平方公里,3万人)以田间试验形式进行了地表径流对氮磷影响的调查后,我们明确了这些水田内年间氮磷流失的模式。并且由村落单位调查数据推测出了农田、家禽、村与镇各自的面源污染程度。美国宾夕法尼亚州利用地理信息系统技术来计算农业面源污染可能性指数(APPI),我们对这一指数的权重进行了改良,使之适用于太湖地区,又基于以上数据推测出了雪堰桥镇镇内各村庄的地表径流流失指数、堆积物生产指数、化肥使用指数以及人、家畜的污染指数(Guo et al. 2010)。

### ②集水区(水库或集水盆地)规模内影响

江苏省宜兴市梅林地块(1.22平方公里)是太湖西岸地区一个典型的农业集水区。估算梅林地块地表径流所导致的氮磷流失量分别为区域内各自施肥量的8.5%与3.2%,即 $20.3\text{ kg ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ 与 $1.0\text{ kg ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ 。这一数字虽然会在主要农作物施肥期有所增长,但在水稻生长旺盛期7月-9月有所下降。从氨态氮浓度仅在水稻基肥施肥期呈现出明显上升这一点来看(图7),这一时期对水的管理是十分重要的(宝川ら 2004; Gao et al. 2010)。

### ③渗漏计试验

在江苏省常熟市渗漏计田间试验区,通过监测水稻-小麦轮耕体系中氮收支来试验包衣尿素对氮挥发、一氧化二氮逸散、地表径流、地下渗透及作物产量带来的影响时,发现氮挥发是最大的环境污染源(Li H et al. 2010)。当地习惯使用尿素,若以惯用肥量施加尿素,氮挥发量为 $109 \pm 13 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (肥料中氮总含量的37%),而以惯用肥量的50%施加尿素时氮挥发量降低至 $42 \pm 7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (肥料中氮总含量的28%)。施加惯用肥量50%及33%的包衣尿素时,氮挥发量更是分别降低到 $2 \pm 1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (肥料中氮总含量的1%)与 $2 \pm 2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (肥料中氮总含量的2%)(图4)。而且包衣尿素可以有效地提高水稻稻谷产量,特别使用惯用肥量50%的包衣尿素时,水稻产量提高至最多,但同时小麦产量却有所下降。包衣尿素也能确实地减少地表径流导致的环境污染。基于以上研究结果,建议当地种植水稻时可以使用适当的肥效调节型肥料,并且将施肥量减少至惯用肥量的50%(Wang et al. 2010)。

### (3) 适用于红土地的环保型水田农业技术体系研究

#### ①基于物质循环的环保型水稻栽培技术的研究

在湖南省祁县开展试验,研究包衣尿素对氮挥发与作物产量的影响时,发现同样施加惯用肥量( $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )时,使用当地惯用肥料尿素的情况下,氮挥发量为 $102 \pm 16 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (肥料中氮总含量的34%),而使用包衣尿素时的氮挥发量被有效降低至 $32 \pm 8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (肥料中氮总含量的11%)(Li J et al. 2010)。施加惯用肥量50%的包衣尿素( $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )时,氮挥发量为 $15 \pm 18 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (肥料中氮总含量的11%),同时作物产量也与习惯尿素施肥区无显著差异(图4)。因此基于以上调查结果,建议当地可以使用适当的肥效调节型肥料,并且将施肥量减少至惯用肥量的50%。同时,研究表明厩肥也可能实现在减少氮挥发量的同时维持作物产量这一目标(图8)(Xu et al. 2002a; 2010a)。

#### ②有效利用水田的环保作用

湖南省祁阳县官山坪集水区(254公顷)是红土地上一个典型的两季水稻种植区。通过监测地表径流时氮等营养成分的变化、寻访农户以及收集田间试验数据,估算出了当地水田农业生态系统中的氮收支(Xu et al. 2002b; 2010b)。研究结果表明氮的输入量为 $467 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ,而施肥、降雨与灌溉分别约占95%、3.1%与1.6%。氮的总释放量则为 $464 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ,其中农作物吸收量、氮挥发量、地表流失量与地下渗透量分别约占52%、38%、8.3%与1.5%。地表径流监测结果显示,水稻施肥期与降雨重合时存在明显的氨态氮素流失,因此必须认识到这一时期管理水的重要性。

### 3. 展望中国与东亚地区未来

自进入21世纪以来,中国氮肥消费量虽然不再像过去一样飞速增长,仍呈现持续增长态势。但从2000年以来每5年时间内氮肥年均增长率分别为2.8%(2000年-2004年),2.0%(2005年-2009年)与1.3%(2010年-2014年)这几组数据中可以看出,中国氮肥消费量增速在稳步下降(图1、图9左)。

但是考虑中国单位面积上氮肥使用量时,不能忽视社会构造与粮食进出口剧变下中国国土全体耕地面积的变化。中国政府公布的统计数据虽然有部分数据失实,但国家统计局统计表明1997年至2008年的11年间中国土地耕地面积约减少了约6%(严,2014)。因此即使中国整体氮肥用量有所下降,也可以推断中国单位面积上氮肥消耗量在2002年-2014年间一直持续增长(图9右)。

环保在中国近年来的经济发展中一直是一个被搁置的问题，但值得关注的是近来中国开始探讨重新制定方针。2016年3月第十二次全国人民代表大会第四次会议上通过了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，纲要中“绿色”这一环保要求作为“五大发展理念”关键词之一与创新、协调、开放、共享一同被提出。随后2016年11月国务院公布了《十三五生态环境保护规划》，将生态文明建设提高到国家战略层面，同时在该战略提出的全面要求与具体计划中写入了完善环境法制体系与环境质量监测监控体系要求。接着于2018年1月，中国首部《环境保护税法》正式实施。同时，美国消极对待旨在防止全球变暖的国际协定“巴黎协定”，中国却表现出积极带路态度，种种行为都表现出中国如今正在努力积极发挥国际环保事业中自身的作用。

就氮肥消费这一问题，当我们把目光投向与中国拥有相近的耕作体系，且同样是东亚一份子的日韩，会发现日本与韩国氮肥消费量分别于20世纪70年代与90年代达到顶峰后呈现飞速下降趋势（图9）。究其原因，虽然日韩两国耕地面积减少是原因之一，但社会对环境负担问题日益高涨的关心其实起到了更大作用。例如日本引进环保型农业等举措就在政策面上起到了不可忽视的作用（Yagi & Minami 2005）。相信如今益发重视环保措施的中国未来也会选择走上日韩两国曾经走过的道路。

在研究组结束上述项目后，中日间为了进一步深入研究成果一直在持续合作中。而2017年2月启动的国际合作研究项目“国际氮素管理系统（Towards INMS）”中，继以往中日间国际合作，项目设立了“东亚地区示范会”，来自韩国与菲律宾的学者们也合作加入队伍中，分享东亚各国氮收支与循环的特点及现状信息，并围绕这些问题展开讨论。由农研机构与季风亚洲农业环境研究国际财团（MARCO）携手举办的第二届国际研讨会“东亚氮循环及其环境影响”也将于2018年11月启动。期待未来这种国际合作能够进一步壮大，在造福中国的同时造福全东亚地区，实现农业生态系统中的氮管理，实现在最大限度利用氮的同时将其对环境的负面影响降低到最小的这一夙愿。

#### 参考文献：

- 1 Gao, C. (2010) Nutrient exports from agricultural land in a rural watershed in the Taihu Lake area, China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 35 - 40.
- 2 Guo, H. et al. (2010) Study on agricultural non-point source pollution potential index (APPI) in Taihu Lake region with GIS. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 27 - 34.
- 3 宝川靖和ら (2003) 中国紅壤丘陵地帯水田二期作地域におけるアンモニア揮散とその制御. 国際農林水産業研究成果情報, 10, 17 - 18.
- 4 宝川靖和ら (2004) 中国太湖地域の農業集水域からの地表水による窒素の流出. 国際農林水産業研究成果情報, 11, 19 - 20.
- 5 Hosen, Y. (2010) Evaluation and Development of Methods for Sustainable Agriculture and Environmental Conservation in China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, pp. 81.
- 6 Li, J. et al. (2010) Effect of polyolefin-coated urea on rice yield and ammonia volatilization in red soil region of southern China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 65 - 72.

- 7 Li, H. et al. (2010) Model estimation of ammonia volatilization in paddy soils by monolithic lysimeter experiments in Changsu Agroecological Experiment Station. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 53 - 56.
- 8 Mosier, A.R. (2002) Environmental challenges associated with needed increases in global nitrogen fixation. *Nutr. Cycling. Agroecosys.*, 63, 101 - 116.
- 9 Wang, X. et al. (2010) Effect of coated urea under rice-wheat rotation on environment and economical benefit in Taihu Region. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 41 - 51.
- 10 Xu, M. et al. (2002a) Transformation and utilization of nitrogen in paddy soil under combining chemical and organic fertilizers application. *Acta Pedol. Sin.*, 39, 421-426 [in Chinese].
- 11 Xu, M. et al. (2002b) Characteristics of nitrogen supply from paddy soil in red soil hilly regions of southern Hunan. *Soil Environ.*, 11, 50 - 52 [in Chinese].
- 12 Xu, M. et al. (2010a) Transformation and utilization of nitrogen in paddy soil applied with chemical fertilizers combined with manure in double-rice region of southern China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 57 - 63.
- 13 Xu, M. et al. (2010b) Evaluation of nitrogen losses from double-rice cropping agro-ecosystems based on a typical watershed in the hilly red soil region of southern China. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 73 - 81.
- 14 Yagi, K. et al. (2010) Flow-model analysis of nitrogen cycling in agro-ecosystems of Lingxian County, Shandong Province. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 1 - 7.
- 15 Yagi, K. & Hosen, Y. (2003) Nitrogen cycling in agro-ecosystems of Huang-Huai-Hai Plain, China. *Farming Japan*, 37, 43 - 45.
- 16 Yagi, K. & Minami, K. (2005) Challenges of reducing excess nitrogen in Japanese agroecosystems, *Sci. China Ser. C*, 46, 928 - 936.
- 17 嚴善平 (2014) 中国の食糧安全保障と戦略的農業への展望. 日中経協ジャーナル, 2014年10月号.
- 18 Zhang, F.S. et al. (2013) Chinese agriculture: An experiment for the world. *Nature*, 497, 33 - 35.
- 19 Zhang, R. et al. (2002) Measurement of ammonia volatilization in a closed chamber system. *Acta Pedol. Sin.*, 39, 313 - 320 [in Chinese].
- 20 Zhang, R. et al. (2010a) The effect of soil moisture and N application practice on nitrification and ammonia volatilization. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 9 - 12.
- 21 Zhang, R. et al. (2010b) The effect of coated urea on N use efficiency and ammonia volatilization. JIRCAS Working Report No. 65, JIRCAS, 13 - 17.
- 22 Zhang, S. et al. (2010) N balance affected by different release rates and application rates of N fertilizer in a lysimeter system. JIRCAS Working Report

- No. 65, JIRCAS, 19 - 26.
- 23 Zhu, Z.L. &Chen,D.L. (2002)Nitrogen fertilizer use in China - Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. Nutr. Cycling. Agroecosys., 63, 117 - 127.

## 中日高效施肥与环境评估合作 20 年回顾与展望

徐明岗<sup>1, 2</sup>, 李玲<sup>1</sup>, 段英华<sup>1</sup>, 钱小平<sup>3</sup>, 三島慎一郎<sup>4</sup>

1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、耕地质量培育技术国家工程实验室,

2 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 3 国际农林水产业研究中心 4 日本农业环境技术研究所

化肥作为粮食的“粮食”，在促进农业生产和粮食安全中发挥了重要的支撑作用（张福锁等，2008），特别是中国创造了用占世界 7% 的耕地养活了占世界 22% 人口的奇迹，化肥在粮食高产稳产中发挥了极其重要的作用，对粮食增产的贡献达 40% 以上（朱兆良等，2013）。目前，中国农田化肥施用量为世界平均用量的三倍多，而化肥利用率低，氮肥利用率不足 35%，比世界平均水平低 15-20 个百分点。由于肥料利用率不高，导致大量养分特别是氮素养分流失于空气与水体之中，成为了重要的污染源。为了协调农业发展和环境保护的关系，中日双方自 1997-2016 年合作进行了“环境保护型农业生产技术的开发与评价”及“中国典型农田化肥的环境风险评价与施肥技术”等研究，以期探明中国主要农作制度下化肥的损失状况，同时进行土壤养分资源的环境风险分析，提出减少化肥损失的技术措施，指导科学施肥及养分资源管理，提高化肥利用率，保护农田生态环境。

### 1. 中日高效施肥与环境评价研究成果回顾

#### 1) 环境保护型农业生产技术的开发与评价研究（1997 年-2003 年）

施肥的目的是为了提高作物产量，保证人类发展对粮食的需求。但近 30 多年来，中国化肥用量持续高速增长，而粮食产量却增加缓慢（张福锁等，2008）。同时由于不合理使用化肥，而带来的环境污染问题日益凸出（陆文聪等，2017；刘钦普，2017）。为了协调化肥施用与环境的关系，自 1997 年-2003 年，中日双方开展了 7 年的中日政府间合作项目“中国主要粮食资源持续生产和高度利用”研究，其内容之一是“环境保护型农业生产技术的开发与评价”。这部分内容是由中国农业科学院土壤肥料研究所、中国科学院南京土壤研究所与日本国际农业研究中心、日本农业环境技术研究所等单位合作完成的。本项目开创了中-日合作的新纪元，是中日农业科技合作的标志性项目。本项目的合作研究，取得了如下的主要研究成果。

#### (1) 阐明了我国主要农作制度下化肥氮素的损失途径

化肥施入土壤以后，一部分被作物吸收，一部分保存于土壤之中，其余部分是化肥的损失部分，损失部分挥发进入大气、淋溶进入地下水和径流带入地表水（朱兆良，2000；Guo et al., 2004；周建斌，2017；巨晓棠等，2014；徐明岗等，2015）。

中国北方的小麦-玉米轮作制中，氨挥发损失主要发生于气温较高的玉米生育期，氮素损

---

收稿日期：2018-08-31

作者简介：徐明岗（1961—），男，陕西武功人，研究员。研究方向：土壤肥力演变与退化土壤修复。Email: xuminggang@caas.cn

资助项目：国家重点研发计划项目（2016YFE0112700）和中-日国际合作项目“华北农田环境负荷评价”等。

失率在 19.4–71.3% 之间,而在小麦生育期,氮素损失率只有 1.4–2.1%。中国南方的双季稻轮作制中,早稻和晚稻生育期的氨挥发损失率相近,约为 25–41 % (平均为 35%)。

氮素的淋溶损失不论在北方或者在南方都很低,损失率仅为 2% 左右。中国北方的小麦–玉米轮作制中,尿素施入土壤以后迅速转化为铵态氮,随着氨的挥发和继续转化为硝态氮,铵态氮含量迅速降低,两个星期后稳定于低水平,而硝态氮含量逐渐增高,此后与铵态氮含量相比,始终保持相对较高的水平,说明在华北的水浇地上,土壤中的速效氮以硝态氮为主。由于铵态氮含量不高,而且能被土壤所吸附,所以水浇地上的氮素淋溶主要是硝态氮的淋溶。南方的双季稻轮作制中,由于在水稻生育期,水田在较长时间内保持有一定的水层,同时也有一定的下渗量,所以也存在着氮素的淋溶现象,但氮素的淋溶损失量仅占施肥量的 1.4%。

中国南方以水稻的种植为主,稻田在一年之中要进行多次进水与排水,有的丘陵山区还往往实行串灌,加之南方的降雨量较大,形成地表径流的次数多、径流量大,所以在南方,溶解于稻田表面水中的氮素随径流而流失,因此径流损失在南方丘陵区也是氮素的重要损失途径,其氮素损失率为 8.4 %–11.2 %。

## (2) 探明控释肥和有机肥施用下的氮素利用率,提出了环保型施肥新技术

施用缓释肥可以大幅度降低肥料的损失,提高肥料利用率(卢艳丽等, 2011; 侯红乾等, 2018; 徐明岗等, 2015),但对不同作物的增产效果差别较大,在不同作物上有着不同的应用前景。中国北方的小麦–玉米轮作制中,采用 Meister 缓释肥料的小麦产量较尿素略低,表明缓释肥对小麦的增产作用不如尿素大,而各处理间玉米产量的差异不明显。说明缓释肥在保持与尿素相同产量的条件下,由于极大降低了氮素的挥发损失,特别是 Meister 150 kg N/hm<sup>2</sup> 的处理,常规用量下可提高肥料利用率 6.9–13.3%,产量与等量尿素的处理持平或略高。中国南方的双季稻轮作制中,施用缓释肥 75kg N/ha 用量下,产量可达到 150 Kg N/ha 尿素的产量水平,肥料利用率提高约一倍(尿素氮的利用率为 25–35%,平均为 30%;而控释肥氮的利用率为 65–75%,平均约为 70%),具有十分良好应用前景。

有机肥与无机肥配合施用对减少氮素损失、提高化肥利用率的作用亦发挥重要作用(徐明岗等, 2015; 张淑香等, 2015)。通过对中国南方的双季稻轮作制的研究,水稻生育期间氨挥发损失量,等氮量下,早稻单施化肥(NPK)和化肥配施有机肥(NPKM),氨挥发氮素损失量分别占施入量的 37.7% 和 18.2%,而施用有机肥(M)的氨挥发仅为氮肥施入量的 0.7%。晚稻 NPK 处理,氨挥发氮素损失量占施入量的 37.9%,而 NPKM 和 M 处理氨挥发损失较小,分别为施入量 7.2% 和 1.0%。不同施肥处理的氮肥利用率明显不同,试验 5 年平均,单施化肥的氮利用率仅为 26.2%,有机肥和有机无机肥配合施用的氮素利用率较高,分别为 35.4% 和 37.8%。总产量以有机无机肥配合最高,比化肥增产 8.3%,表明有机无机配合不仅可有效的增加水稻产量,而且还可显著提高氮肥利用率,是农业生产可持续发展的重要施肥模式。

## 2) 中国典型农田化肥的环境风险评价与施肥技术研究 (2004 年–2016 年)

随着化肥施用量的迅猛增长,环境污染日益加剧,特别是中国化肥使用量过高,导致中国农田化肥污染问题较发达国家更为突出,农业氮磷素的输入成为水体富营养化的主要原因(刘钦普, 2014),农业源排放的氨会在大气中形成硫酸铵和硝酸铵,它们是大雾霾中的组

成部分,也是影响大气透明度的关键物质(白由路,2018)。为了农田生态系统健康及农业可持续发展,中日双方开展了第二期合作项目“中国典型农田化肥的环境风险评价与施肥技术”,执行期为2004年-2016年。本期研究主要以数据收集、调查研究为主,开展典型区农田土壤养分的环境风险分析研究,探明农田土壤养分平衡状况,进而明确其环境风险特征。本期项目合作研究,取得了如下的主要研究成果。

#### (1) 探明了河北省不同利用方式下土壤氮磷养分输入及盈余状况

河北省菜地和粮田的氮磷输入主要以化肥为主,化肥占总施肥量的比例为70%以上。粮田、果园和菜地的氮磷均呈盈余状态,氮的盈余率以果园最高(532.6%),菜地和粮田次之(61.5%和31.6%);磷肥盈余率以菜地和果园最高(700.4%和615.7%),粮田最低(66.6%)且总体上磷肥的盈余率高于氮肥(李玲等,2016)。

#### (2) 明确了氮磷养分的环境风险指数

基于氮素盈余率大于20%即可对环境产生潜在威胁,和磷素盈余率的最大允许量为150%(Zhao et al., 2009)。河北省菜地和果园的氮磷肥盈余率已经严重超标,对环境的潜在威胁相对较大。同时把环境风险指数0.5作为安全界线,低于0.5对环境没有风险(刘钦普,2014)。河北省菜地、果园和粮田3种不同利用方式氮肥和磷肥的环境风险指数均大于0.5(李玲等,2016)。其中粮田氮磷的环境风险类型均为低度风险,果园氮磷的环境风险类型为中度风险,而菜地氮磷的环境风险类型均达到严重风险。因此河北省的氮磷肥的投入应相应降低,且为了更好地培肥地力,应加大有机肥的投入比例(李玲等,2016;徐明岗等,2015)。

### 2. 中日高效施肥与环境评价合作20年主要收获和启示

中日高效施肥与环境保护合作20年来,显著提升了中方的研究能力和研究水平:特别是控释肥的研究,对控释肥氮素调控机理和不同区域、不同种植系统下的高效施肥技术,达到国际先进水平;黄淮海平原旱地和华中水田氮肥环境保护型施肥技术,获得农业部科技进步二等奖。合作培养了一批杰出人才:20年来,双方交流80多次,举办国际研讨会9次,显著提升了中-日土壤环境评价和保护的国际影响力,增进了双方的文化交流和友谊。合作20年来,中日双方实现资源共享,优势互补,建立了长期友好的合作伙伴关系。随着未来合作科研项目和参与人数越来越多,双方将为中日友好和中日科技创新合作进步做出更大贡献。

### 3. 今后中日科技合作的思考与建议

随着现代农业的发展,对优质高效、轻简省力、环境保护的要求越来越高,中日双方在农业资源环境领域特别是高效施肥与环境保护方面的合作也将更加广泛和多元化。综合考虑中日双方的优势和农业生产的新需求,未来合作重点可以集中在如下几个方面。

#### 1) 高效施肥技术的研究与应用

高效施肥即在作物营养供应的各个环节上,采用现代技术手段,最大限度地提高肥料利用效率,一方面充分保证作物产量和品质的提高,另一方面减少资源浪费,保护生态环境(白由路,2018)。目前在农业生产中发挥作用的高效施肥技术主要包括测土施肥技术、精准施肥技术、灌溉施肥技术、轻简施肥技术、叶面施肥技术等。特别是随着科学技术的发展,高

效营养诊断技术、数字化养分管理系统、养分高效利用基因筛选、营养链一体化管理、作物营养调控技术和生态环境保护的施肥技术等将是未来高效施肥技术研究与应用的主要方向（白由路，2018）。因此中日双方可针对不同农业区域、特定作物系统，集成环境友好的高效施肥技术新技术，特别是轻简化、自动化、机械化的配套技术，并进行大区域示范应用，突出强化科技支撑，集成推广绿色优质高效的新技术。

## 2) 新型肥料的研究与应用

新型肥料开发的重点领域包括：新型缓/控释肥料、微生物肥料等。缓/控释肥料指肥料养分释放速率缓慢，释放期较长，依据不同作物的需肥特性及生长规律，采用物理、化学和生物学等技术调节和控制养分的释放，满足整个生长期作物生长所需的肥料，因此缓控释肥料被称为“21 世纪新型环保肥料”（李玲等，2016）。缓/控释肥料具有提高化肥利用率、减少使用量与施肥次数、降低生产成本、减少环境污染、提高农作物产品品质等优点（卢艳丽等，2011；侯红乾等，2018；张德奇等，2010）。微生物肥料是指一类含有活微生物的特定制品，应用于农业生产中，作物能够获得特定的肥料效应，在这种效应的产生中，制品中活微生物起关键作用。微生物肥料作为一种新型肥料，施入土壤后，通过其特定菌株的快速繁殖，能固定大气中的氮素、释放土壤中固定态的磷、钾元素，使得环境的养分潜力得以充分发挥，并为作物生长营造一个良好的土壤微生物环境，在减少化肥用量、降低环境污染、提高农作物品质等方面具有重要意义（王素英等，2003；张瑞福等，2013）。推动新型肥料研究和产业化发展，是一项系统工程，需要科学家和肥料行业的共同努力，中日双方联合相关科研单位应加快提升科技创新能力，加大新型肥料研发的科研投入，建立新型肥料研发平台，成立联合新型肥料研发工程技术中心等，创建产学研相结合的科研创新模式，共同推进新型肥料的开发与应用，显著提升肥料利用率，降低施肥的环境负效应（赵秉强等，2004）。

## 3) 组织国际会议与人才培养

基于双方 20 年的合作基础，持续推进双方合作与交流，特别是继续加强资源高效利用和环境保护方面的技术交流与合作，重点是人才、新技术、信息交流与合作。本着“走出去，引进来”的发展思路，中日双方不间断开展调查研究，双方每年相互交流 5-8 人次，每 2-3 年组织相关国际会议 1 次。同时双方在研究生培养方面可以进行联合培养研究生，提升联合培养研究生的水平和质量，实现长期合作共赢的良好局面；为中日农业科技发展和中日友谊做出积极的贡献。

## 主要参考文献

- 1 Guo H Y, Zhu J G, Wang X R, et al, 2004, Case study on nitrogen and phosphorus emissions from paddy field in Taihu region, *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2):209-219.
- 2 Zhao L, Ma Y, Liang G, et al, 2009, Phosphorus efficacy in four Chinese long-term experiments with different soil properties and climate

- characteristics, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40: 3121-3138
- 3 白由路, 2018: 高效施肥技术研究的现状与展望, *中国农业科学*, 51(11):2116-2125
  - 4 侯红乾, 冀建华, 刘益仁, 等, 2018: 缓/控释肥对双季稻产量、氮素吸收和平衡的影响, *土壤*, 50(1): 43-50
  - 5 巨晓棠, 谷保静, 2014: 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势, *植物营养与肥料学报*, 20(4): 783-795
  - 6 李玲, 段英华, 徐明岗, 等, 2016: 河北省不同利用方式农田土壤氮磷环境风险分析, *中国农业资源与区划*, 37(7):96-100, 149.
  - 7 刘钦普, 2014: 中国化肥投入区域差异及环境风险分析, *中国农业科学*, 47(18):3596-3605
  - 8 刘钦普, 2017: 中国化肥面源污染环境风险时空变化, *农业环境科学学报*, 36(7):1247-1253
  - 9 卢艳丽, 白由路, 王磊, 等, 2011: 华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析, *植物营养与肥料学报*, 17(1):209 -215
  - 10 陆文聪, 刘聪, 2017: 化肥污染对粮食作物生产的环境惩罚效应, *中国环境科学*, 37(5): 1988-1994
  - 11 王素英, 陶光灿, 谢光辉, 等, 2003: 我国微生物肥料的应用研究进展, *中国农业大学学报*, 8(1):14-18
  - 12 徐明岗, 张文菊, 黄绍敏, 等, 2015:中国土壤肥力演变(第二版), 北京: 中国农业科学技术出版社
  - 13 张德奇, 季书勤, 王汉芳, 等, 2010: 缓/控释肥的研究应用现状及展望, *耕作与栽培*, 3:46-49
  - 14 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等, 2008: 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径, *土壤学报*, 45 (5) : 915-924
  - 15 张瑞福, 颜春荣, 张楠, 等, 2013: 微生物肥料研究及其在耕地质量提升中的应用前景, *中国农业科技导报*, 15(5):8-16
  - 16 张淑香, 张文菊, 沈仁芳, 等, 2015: 我国典型农田长期施肥土壤肥力变化与研究展望, *植物营养与肥料学报*, 21( 6) : 1389 -1393
  - 17 赵秉强, 张福锁, 廖宗文, 等, 2004: 我国新型肥料发展战略研究, *植物营养与肥料学报*, 10 (5 ): 536-545.
  - 18 周建斌, 2017: 作物营养从有机肥到化肥的变化与反思, *植物营养与肥料学报*, 23(6): 1686-1693
  - 19 朱兆良, 2000: 农田中氮肥的损失与对策, *土壤与环境*. 9(1): 1-6
  - 20 朱兆良, 金继运, 2013: 保障我国粮食安全的肥料问题, *植物营养与肥料学报*, 19(2):259-273

## 气候变动对农业影响的研究

石乡冈康史

农研机构·农业环境变动研究中心

### 1. 背景和目的

2004 年到 2008 年间实施的第 2 期项目研究——《开发应对中国食品材料生产和市场变动的稳定供给系统（中国食品材料变动）》、是通过构建灾害早期警戒系统和农村经济稳定化的措施，以克服中国内陆和东北部多发的农业气象灾害为目的的研究。其中我所担任的课题是《开发运用网眼气候·气象值的农业气象灾害评估方法》，研究目的是整備作为早期警戒系统构建基础的气象信息。

在本课题中，作为研究对象的黑龙江省位于中国最北端，面积 454000km<sup>2</sup>，是日本国土面积的约 1.2 倍。黑龙江省拥有广阔的农业耕地，即使在中国也是为数不多的谷仓地带。气候为典型的大陆性季风气候，年平均降水量在 400~600mm 左右，大部分降水集中在夏季（6 月~8 月）。另外，黑龙江省纬度高，但夏季气温相对较高，日照量大。在这样的气候特点下，近年来，水稻栽培被大规模地开展，生产量飞跃增加。但是，黑龙江省在气候上是水稻栽培北边地区的界限，这一点是没有改变的，气温是制约水稻生产的主要原因。因此，水稻生产每年都会因气温的变化而受到影响，经常会发生因严重的低温而导致减产和水稻品质下降。

黑龙江省的稻田广泛分布在嫩江和松花江流域的低处，北边的界限在黑河（北纬 50 度）附近。由于分布地域广泛，存在一定差异，但移植大概是在 5 月中旬到 6 月初，9 月末开始收获。但是，生长期前半段时间（营养生长期）如果一直处于低温状态，稻子发育就会延迟，登熟期间遇上秋天的低温期，很有可能给稻子的成熟带来影响（延迟型冷害）。另外，出穗期前的危险期（幼穗形成期到开花期）如果最低气温低于 20℃，就会妨碍生殖，导致不能正常育花的可能性非常高（妨碍型冷害）。在推断黑龙江省水稻的生育和收获量的水稻生育模型上，这种推断低温导致收获量减少的数值是重点。

近年来，黑龙江省的气温有上升倾向，虽然有人认为这可以减轻水稻生产中由低温导致的灾害风险，但也有报告指出由于气温每年大幅变动而导致的妨碍型冷害反而增加。另外低温受害的发生情况因地域不同而有所差异，在近几年不断变动的气候条件下，要定量评估在什么地区发生了什么程度的低温受害，需要拥有适宜的时空分辨率、性质均等且精度较高的气象信息。网眼气象值正是以符合经纬度的网眼（mesh）划分领域，表示每个区域的气温和降水量等气象数据，它是由分布在各处的气象观测站实测到的数据，在考虑到地形等地理信息的基础上，补充了空间数据而制作的数据。因而不仅可以得到没有设置观测点的任意地点的气象值，而且还能从时空两方面得到性质均一的气象信息，明确记录水稻繁育相关的各种索引的空间分布特征成为了可能。

本课题由公开的每月网眼气候值（正常年份值）和每天的地上气象观测数据组合，以包括研究对象黑龙江省在内的中国全国的每日网眼气象数据制作而成的。接着运用这些数据，以黑龙江省水稻收获量相关的典型年份——1997 年（正常年份；6.16t/ha）、2001 年（丰年；6.44t/ha）、2002 年（欠收；5.86t/ha），就各个年份的气象值分布特征和黑龙江省水稻

生产及低温灾害发生状况之间的关系进行了考察。另外，本课题是在日方的农业环境技术研究所（现农研机构・农业环境变动研究中心）和中方的中国农业科学院、黑龙江省农业科学院的合作下实施的。

课题实施负责人：

鸟谷均、石乡冈康史（农业环境技术研究所）

许吟隆（中国农业科学院）

娇江、许显滨（黑龙江省农业科学院）

## 2. 方法和顺序

在本项目的责任课题上，首先实施制作了对把握低温灾害发生状况的空间特征必不可少的每日网眼气象值。制作的气象值为日平均、最高、最低气温、每日总降水量、合计日照量，对象为中国全土，空间分辨率为 0.1 度（约 10km）。空间插值计算使用的是 Moving Least Squares (MLS) 法。实测数据由中国农业科学院持续发展研究所（以下简称持续研）保有。本课题使用了中国气象局观测中国国内数据，以及通过互联网得到的中国周边地区的观测点（WMO Resolution40; NCDC Global Summary of Day、NOAA）监测的每日数据。中国气象局的数据中包括了在中国全土约 700 个地点的 1950 年以后的数据。但由于实测日照量的地点只有约 100 个比较少，考虑到数据质量可能会有问题，本课题开发了从日照时间（从日照时间开始在全部地点进行测定）推测日照量的方法。用这种方法计算了推算出的日照量的空间近视值。WMO 数据中不包括日照时间，因此没有用于推算日照量。另外开发的网眼气象值制作算法列入了早期警戒系统，本课题只使用了可实时获得的 WMO 数据。而中国全土网眼气象值的制作是由中国农业科学院负责的。

上述以中国全土为对象的网眼数据，由于领域极广，在制作长时间的每日值时需要大量的计算时间和大容量的存储器，因此这次只以黑龙江省为对象，准备的数据是黑龙江省分析用网眼气象数据。对象范围是包括了整个黑龙江省，纬度  $43^{\circ}\text{N} - 54^{\circ}\text{N}$ 、经度  $120^{\circ}\text{E} - 136^{\circ}\text{E}$ ，空间分辨率为  $5' \times 5'$ （约  $8\text{km} \times 8\text{km}$ ）。数据制作以气温及日照量为主，气温包括日平均、最高、最低值、日照量包括日合计日照量。制作数据时，本课题以准备对象领域的长期、高密度的气象数据设定为目的，网眼气象值制作算法使用的是计算负荷相对较小的距离倒数正常年份差（比）法（清野、1993）。这种算法通过在对象网眼的每日正常年份值上，加上从网眼周边观测地点观测的每日实况值和正常年份值中算出的正常年份差（比），来计算每日网眼气象值。因此，和地上气象观测点观测的每日实况值结合，对象领域的网眼每日正常年份值是必要的。这里使用了全球  $10' \times 10'$ （约  $17\text{km} \times 17\text{km}$ ）制作的网眼气候值——Climate Research Unit dataset version CL2.0（CRU-CL2.0; New et al. 2002），从该数据中截取对象领域，空间分辨率是缩小到  $5' \times 5'$  的图片（图1）。由于这个数据是每月值，本课题取样3次样条曲线近视值制作了各网眼的每日正常年份值。此外，黑龙江省周边的网眼气象值的制作，是在中国农业科学院、黑龙江省农业科学院的帮助下，由农业环境技术研究所（现农研机构·农业环境变动研究中心）实施的。

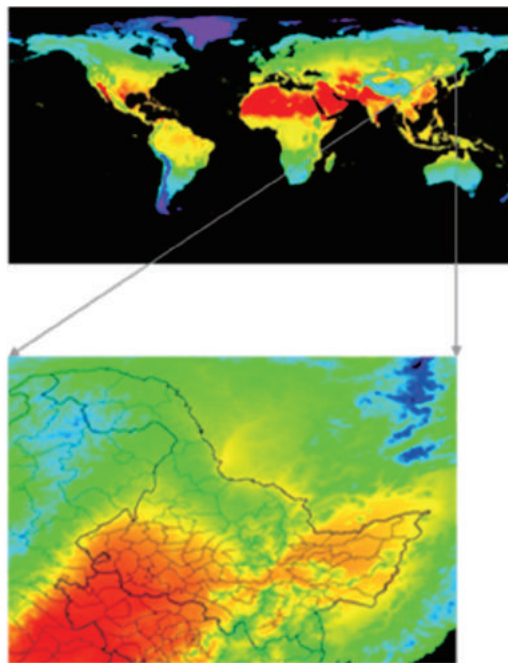


图1 CRU 全球正常年份值中抽取的黑龙江省周边领域的年平均气温正常年份值

3. 结果和考察

本课题构建了一个系统，以计算上述的每日实测数据中的中国全土 0.1 度空间分辨率的每日网眼气象值。结果显示，1950 年以后各个年份的每日网眼气象值的输出成为了可能，本项目实施期间，整理了 1997、2001、2002 年各年以及 1971~2000 年的正常年份每日网眼气象值。如使用了正常年份每日网眼（日平均气温）的有效累计温度（ $\Sigma T_m$ ；if  $T_m \geq 10^{\circ}\text{C}$ ）的分布如图 2 所示。空白部分是有效累计温度每日未满足 2200 $^{\circ}\text{C}$ ，对水稻的栽培而言必要的温度资源不足的地区。相反，着色地区则是只有温度条件满足水稻栽培的地区（这次没有考虑水的制约因素）。最北端检测出是黑龙江省北纬 50 度附近，这和实际水稻栽培的最北端（黑河附近）几乎是一致的结果。

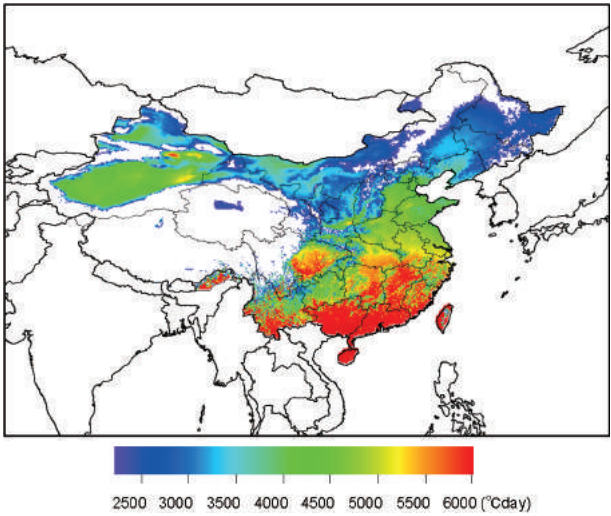


图 2 正常年份每日网眼数据中计算出的有效累计温度（ $T_m \geq 10^{\circ}\text{C}$ ）的分布

接下来，1997、2001、2002 年 6~8 月（黑龙江省水稻栽培的主要生育期间）的平均气温和正常年份有所偏差的分布如图 3 所示。1997 年，从华北到东北、内蒙古温度较高，华中到华南的一部分地区较低。黑龙江省越往南温度越高。2001 年，从东北到新疆呈带状广泛分布在温度高的领域，黑龙江省的西边温度较高。到了 2002 年，从内蒙古到西北温度高的部分扩大，东北的东部温度较低。这一年黑龙江省发生了严重的低温灾害，省内大部分地区温度较低。但低温地区只有这一带，从全国来看温度高的地区很多，这是当年的一个特征。

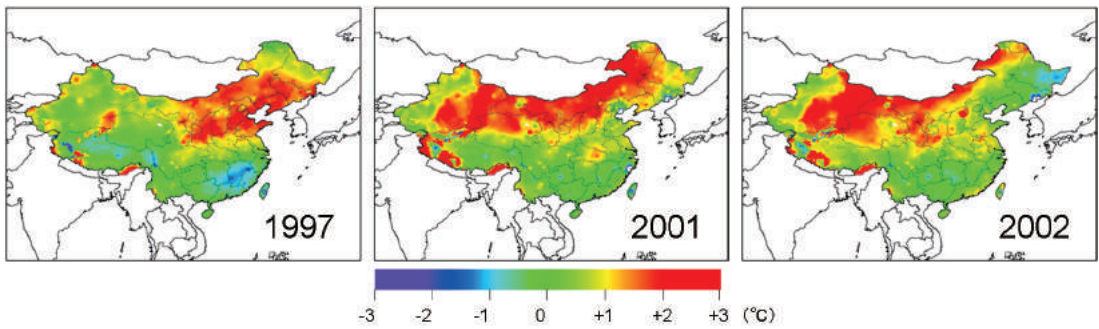


图 3 各年 6~8 月的平均气温相对正常年份的偏差（左：1997 年，中：2001 年，右：2002 年）

本课题使用了以黑龙江省周边地区为对象制作的副地域网眼数据，对各年水稻繁育相关的指标分布特征进行了调查。图 4 是延迟型低温灾害发生的预警。出穗后 40 日天的累计气温（从出穗日到 40 日间计算日平均气温的值）的分布图。这里假定各年全地区的出穗日为 8 月 5 日。图中，白色的网格部分是没有稻田的，这是使用了该题目下其他实施课题（运用卫

星数据开发农业生产量变动模拟技术)的一部分成果——稻田分布图,稻田以外的地区被遮挡住了。收成较低的2002年,累计气温在 $750^{\circ}\text{C}$ 以下的地区广泛分布在中央和东部三江平原,而收成较高的2001年,累计气温在 $750^{\circ}\text{C}$ 以上的地区基本大致分布在黑龙江省全部地区。据此可推测出在2002年,由于低温的影响登熟延迟,在稻子完全成熟之前温度降低,歉收可能性较高的地区从中心部扩大到东部。另外,2002年低温倾向推移,这里出穗的时间可能比假定的8月5日延迟。

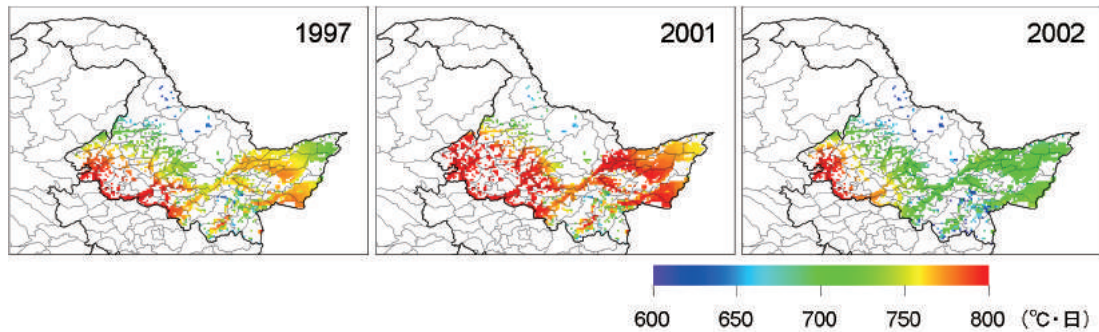


图4 延迟型低温灾害发生的预警。出穗日(假定8月5日)之后40日的累计气温分布(左:1997年,中:2001年,右:2002年)

图5表示的是妨碍型低温灾害发生的预警——以出穗前危险期日平均气温 $20^{\circ}\text{C}$ 为基准的冷却量的分布。冷却量是日气温低于 $20^{\circ}\text{C}$ 和日气温 $20^{\circ}\text{C}$ 的差值的累计计算值,是表示在开花期的底线低温—— $20^{\circ}\text{C}$ 以下曝光时间的指标。这个数值越大,就意味着在低温下曝光的时间越长,从而引起出穗前危险期的生殖障害。这里假定出穗前危险期为正常年份生育状况的7月20日到29日的10日。收成较低的2002年,中部到东部地区冷却量的范围较大。这一地区的水稻,由于长时间曝光在 $20^{\circ}\text{C}$ 以下的低温下,引起生殖障害,导致不育的可能性很高,是歉收的原因之一。

图6是出穗日(假定8月5日)之后40日的日照量累计值的分布。由于出穗后登熟期间的日照量是通过光合作用形成收获的动力,可推测出在日照量累计值较小的地区,出穗的稻谷内碳水化合物形成较少。2002年从中部到东部,日照量较少的地区分布范围扩大,据此可推测出登熟期间,低日照导致稻穗不饱满是当年歉收的原因之一。另外一方面,丰收的2001年,全地区跟其他年份相比日照量明显较多。

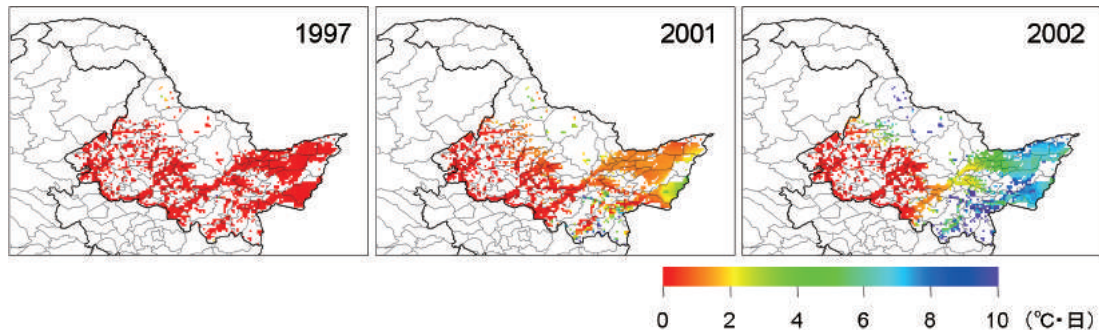


图5 妨碍型低温灾害发生的预警。危险期(假定7月20~29日)的日平均气温低于 $20^{\circ}\text{C}$ 的冷却量分布(左:1997年,中:2001年,右:2002年)

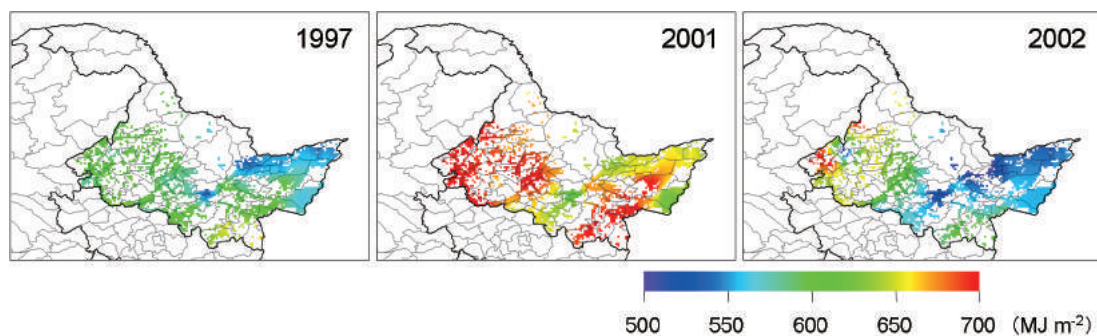


图6 出穗日（假定8月5日）之后的40日累计日照量的分布（左：1997年，中：2001年，右：2002年）

#### 4. 结语

根据本课题实施负责机构——黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所的调查结果发现，2002年收成不好原因在于延迟型低温灾害和妨碍型低温灾害同时发生，日照也不充足。另外，受灾严重的地区为东部三江平原。这和图4的累计气温较低的地区，图5的在20℃以下低温下曝光时间较长的地区，图6日照量少的地区是一致的。综合上述内容，期待运用网眼气候、气象值的解析，能够给这些调查结果以定量的间接证明，对水稻繁育的模型化给与有益的信息。

#### 参考文献：

- 1 New, M., D. Lister, M. Hulme and I. Makin, 2002. A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas, *Clim. Res.*, 22: 99-113.
- 2 Seino, H, 1993. An Estimation of Distribution of Meteorological Elements using GIS and AMeDAS Data, *J. Agric. Meteorol.*, 48(4): 379-383.

## 利用卫星数据研究土地利用

### —与中国农业科学院农业资源与农业区划研究所的合作研究—

内田谕

国际农林水产业研究中心

#### 1. 前言

关于土地利用这一概念，在特定的地点几乎不会产生变化，但是一般来说，在广阔的空间里会随着时间的推移产生变化。从农业土地利用的角度来看，某种农作物的种植区域会逐年改变，在掌握这一状况的基础上，能够分析土地、水等资源是否可持续利用；粮食生产是否满足需求等问题。另一方面，土地利用状况在空间上是不均等的，并且仅通过在地面上的测量和观察来覆盖广阔的区域是有所局限的。因此，有效利用卫星数据可以认为是分析种植情况的一种手段。特别是在作为粮食作物主要生产国和消费国的中国，人们对这项技术寄予厚望。中国农业科学院在 20 世纪 90 年代推进卫星数据有效利用的背景下，在和国际农研的合作研究框架中，制定了利用该技术的课题。我作为国际农研的负责人参与了合作研究。本文将介绍合作研究的概要和成果。此外，一部分研究成果已作为书籍出版，列于参考文献中。

#### 2. 合作研究的概要

过去国际农研和中国研究机构的合作研究都是围绕个别主题展开的，后来转变为由多学科的研究人员共同参与策划，研究目的广泛的综合性项目。1998 年启动了题为“中国主要粮食资源的可持续生产以及高度利用技术的开发”的综合性项目。该项目的其中一个课题“利用地理情报系统开发农业环境变动评价技术”，是由我负责的。希望通过本课题，开发能够有效利用卫星遥感数据，掌握主要作物种植情况及大范围变动情况的技术。项目开始时，以中国农业科学院下属单位农业资源与农业区划研究所（区划研）为主导，在卫星信息和地理信息在农业领域的有效利用上，为了掌握主要作物种植、生产的实际情况，积极调整相关设施和条件。与此同时，公派研究人员赴外留学、启用年轻研究人员、导入卫星接收系统等得以实施。

在本期项目中，我们选取了华北平原的冬小麦种植作为研究对象。北京位于华北平原北部。在该平原形成了具有代表性的冬小麦夏玉米种植模式。小麦在中国是最重要的可食用作物之一。由于城市化等原因造成土地利用转换和缺水问题，对小麦的种植面积造成很大影响。然而过去缺乏能够迅速且客观地掌握每年种植、生产动向的手段。因此，利用卫星数据进行技术开发备受关注。在本项目中，利用分辨冬小麦种植区域的方法和不同时期的数据，开发了能够解析土地动态变化的技术。

上述项目于 2003 年结束，紧接着在 2004 年开展了题为“开发适应中国粮食生产和市场波动的稳定供应系统”的综合项目，与区划研一同研究卫星数据利用技术的强化。在该项目中，我们进一步推进了上一期的开发技术，并将研究对象扩大到黑龙江省的水稻种植。黑龙江省处于可以种植水稻的最北部，天气较为寒冷，虽然容易对水稻造成低温灾害，但是作为优质水稻生产地，近年黑龙江省水稻种植面积不断扩大。对于整个项目而言，目的是开发一

个有助于对低温灾害进行早期预警的系统。该项目的开发需要稻田种植的空间分布和逐年变化情况的相关信息，因此通过有效利用卫星数据来辅助研究活动。

在两次合作研究中，提高年轻研究人员的能力是其中一项工作重点，我们组织召开了相关的研讨会，邀请年轻研究人员来日等活动。在表 1 中记录的是通过邀请项目访日的年轻研究人员名单以及他们的研究课题。在访问期间，他们参加国内学术会议，和其他访日研究人员、日本国内相关研究人员进行交流，一方面提升了研究能力，一方面拓宽了他们的研究思路。

表 1 来日研究人员实际成果

合作研究人员	时间	研究课题
Liu Jia	Jul. 22 - Oct. 19, 1999	Land Use/Cover Change Analysis in the Suburban Agricultural Area of Beijing Using Multi-temporal Landsat TM Data and GIS
Chen Zhongxin	Sep. 4 - Dec. 1, 2000	Estimating Winter Wheat Acreage Using Remotely Sensed Imagery with Sub-pixel Classification Algorithm
Yang Peng	Sep. 26 - Dec. 8, 2001	The Use of Linear Spectral Unmixing Model for Improving Estimation Accuracy of Winter Wheat Acreage
Wu Wenbin	Aug. 8 - Oct. 28, 2005	Study on Winter Wheat Sown Area Change Detection Using Multi-temporal NDVI Data Derived from Landsat TM Images
Zou Jinqiu	Oct. 24 - Dec. 21, 2005	Study on the Method of Extracting Winter Wheat Sown Area with Terra/MODIS and its Accuracy Analysis
He Yingbin	Sep. 25 - Dec. 15, 2006	Study on Effect of Cold Damage on Rice Yield Based on TERRA/MODIS and TM

### 3. 利用卫星数据开发掌握主要农作物种植情况的技术

#### 1) 华北平原冬小麦种植

华北平原是中国华北地区广阔的冲积平原，也是主要的粮食生产区。华北平原的农作物种植一般为一年两茬，分别是在深秋播种、春季后半期丰收的冬小麦和夏季种植的玉米。小麦是中国主要粮食作物的一种，然而近年由于城市土地利用的扩大和水资源缺乏等问题造成华北平原耕作条件受到限制，种植面积有所变化。于是，在使用空间分辨率达到 30 米的 Landsat/TM/ETM+数据使得区分冬小麦种植区域成为可能的条件下，通过对每年地表覆盖情况的调查，发现 4 到 5 月间冬小麦所造成的植被活动比其他土地利用条件下更为活跃，从该时期通过数据得到的土地覆盖分类中更容易抽取关于冬小麦种植区域的有关信息。

为了验证种植面积精确度，可以参考图 1。图 1 是北京市顺义区冬小麦种植面积率和统计值的比较。统计值显示，从 1995 年到 1999 年间基本没有发生变化，可能是因为这几年间直接引用了上一年的数据，观察时立即获得结果一点确认了利用卫星数据的有效性。另外通过叠加多年的卫星数据信息，可以掌握种植区域变化的详细情况。图 2 是将 2000 年、2001 年和 2002 年的植被指数经过彩色合成后获得的图像。可以看到冬小麦种植面积大大减少，图中淡蓝色区域从 2001 年起划为非种植地，蓝色区域从 2002 年起划为非种植地。整体来看可以清楚地发现在此期间种植面积的缩小。

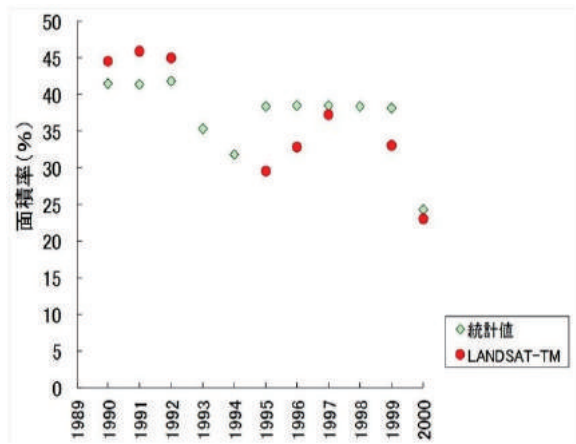


图 1 从卫星中获得的冬小麦种植面积率和统计值的比较（北京市顺义区）

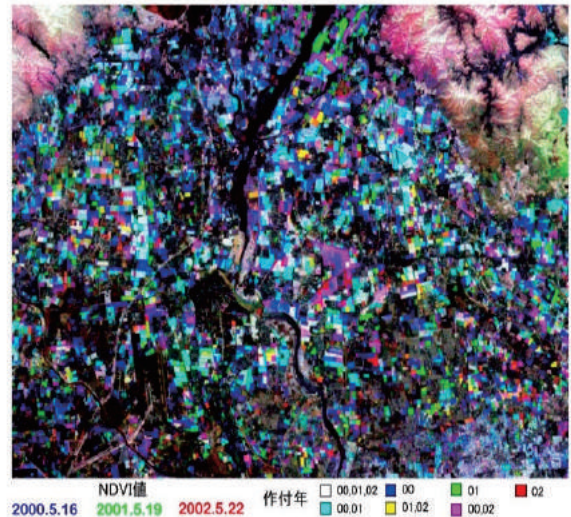


图 2 多年份植被指数彩色合成图所给出的顺义区冬小麦种植面积变化

根据上面提到的 Landsat 数据解析，可以记录下每一片种植区域的情况。然而一旦研究对象变成广阔的华北平原，继续使用该解析会导致数据的缺失，不能获得最佳时期的数据。于是使用空间分辨率约为 1km，观测范围更广频度更高的 NOAA/AVHRR 数据，以五月中旬到六月中旬两个时期的植被指数变化为对象，开发了在像素内估算冬小麦种植面积比的方法，该方法范围更广且没有间隙。图 3 表示的是不同县、区的冬小麦种植面积率。种植面积率较高的县、区呈 Y 字形，Y 字分支的北部西侧是平原上方的山麓地带，东侧沿着黄河左岸，两处地下水资源丰富，都是适合小麦栽培的区域。另外可以清楚地发现在两地之间存在不适合小麦栽培的区域。图 4 是种植面积比及将 1998 年到 2003 年间变化倾向类型化后制成的图。可以发现在适合栽培区域的周边以及大城市近郊有明显的减少倾向。另外，上面提及的顺义区的减少倾向也较为显著。

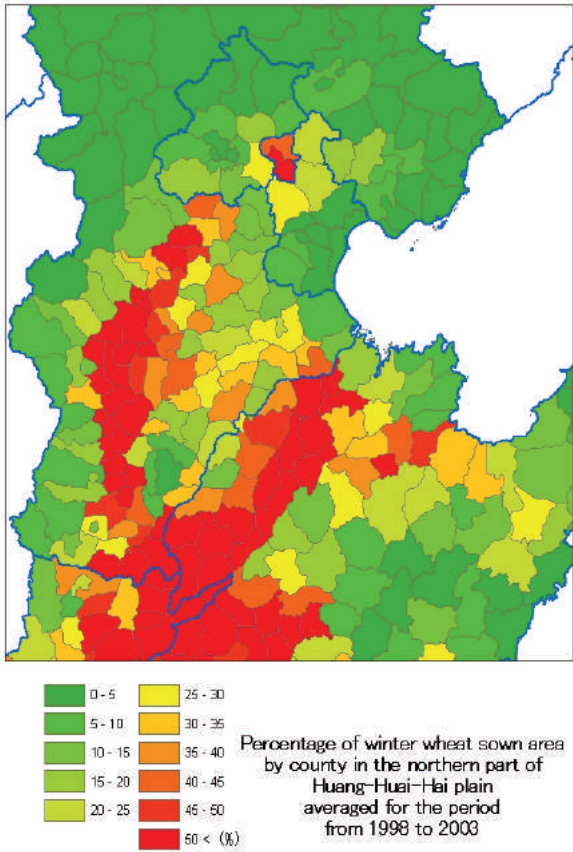


图 3 从卫星数据中获得的华北平原冬小麦种植面积比分布(以县、区为单位)

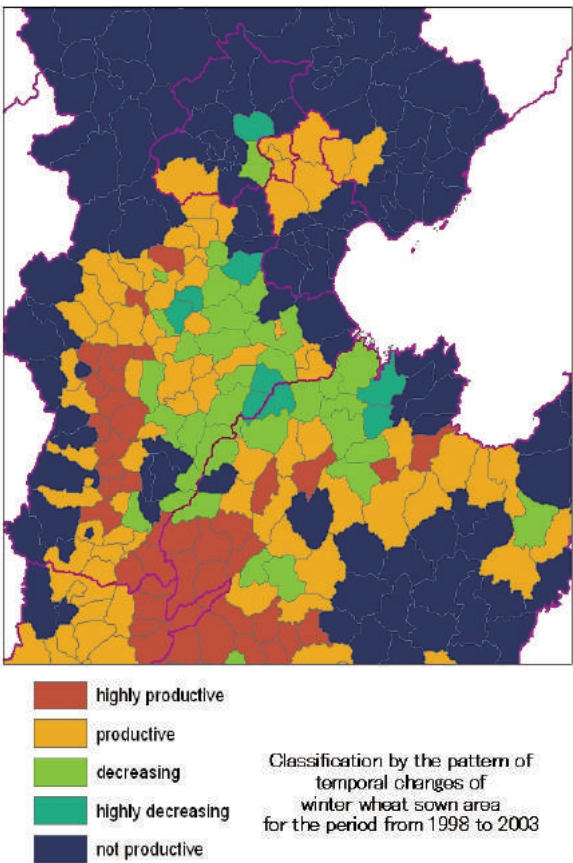


图 4 1998 年到 2003 年间冬小麦种植地区变化倾向分类图

2) 黑龙江省水稻种植

黑龙江省位于中国东北部，由于地处高纬度气候寒冷，是重要的粮食作物生产区。自 20 世纪 80 年代后半期以来，水稻种植面积迅速增加（图 5），作为优质稻米的生产地稻田开发得以大力推广。另一方面，该地区具有水稻栽培期限受限、存在发生冷害的危险、可利用水

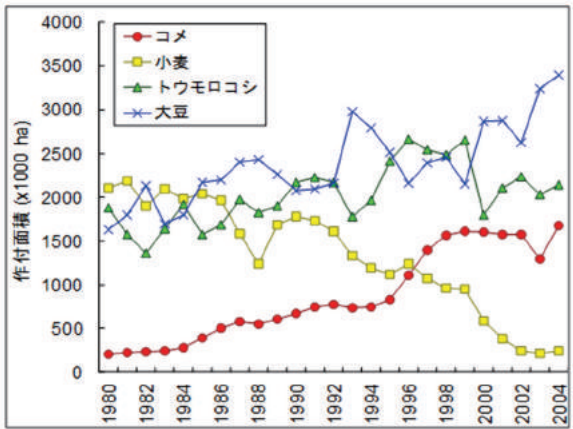


图 5 黑龙江省主要农作物种植面积变化图

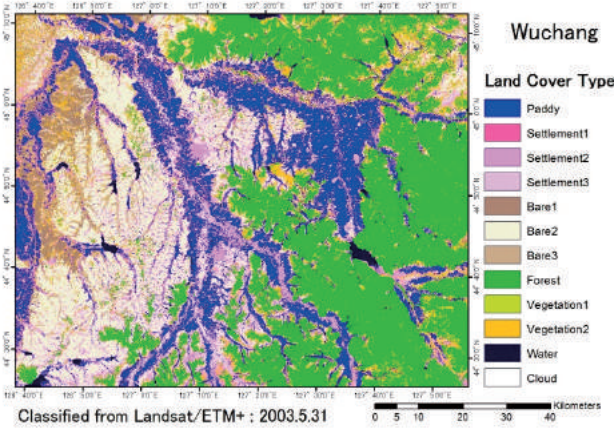


图 6 水稻移植期间利用卫星数据所制土地覆盖分类图(五常县)

资源缺乏的特征。因此，开发能够适应气候和农业布局的气象灾害预警系统是十分必要的。但是由于水田开发速度过快，在合作研究开始时，缺乏能够迅速且准确地掌握水田分布情况的手段。

图6是以五常县移植期间的水稻为研究对象，利用Landsat数据制成的土地覆盖分类图，可以判断出在该时期水田处于淹水的状态。然而为了获取全省46万平方千米的分布情况，必须使用观测范围广、可实现高频率观测的卫星数据，因此使用了空间分解率为250米的MODIS数据。和上面提及的华北平原相同，我们开发了一种估算像素内部面积比的方法，以提高面积计算的准确性。这种方法假设了两个条件，一是水稻移植期间将其他旱地当做裸地为前提，二是适用于与黑龙江省一样，气候寒冷条件下的其他地区。

图7是通过MODIS数据制成的黑龙江省水田分布图。水稻种植面积逐年变化，该图表示的是2006年和2007年的种植区域重合后，曾种植过一次及以上的区域（像素面积比高于50%）。稻田广泛分布在东部海拔高度约为60~70米的三江平原。其他则是沿山脚向山谷蔓延的区域，海拔高度约为100~200米。其中一个重要的原因是这些地方容易获得水源。原来的水稻生产区位于山脚，东部三江平原的水田开发在今年得以迅速发展。这一情况可以通过2003年至2007年MODIS数据中获得的水稻种植面积变化中清楚地显示出来（图8）。

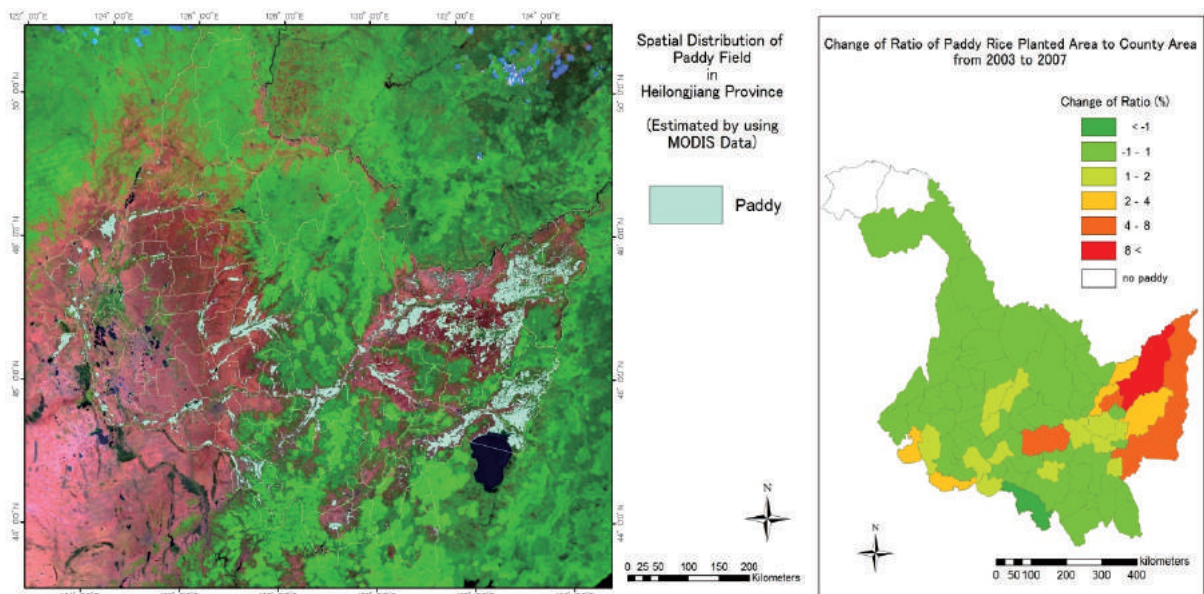


图7 从MODIS数据中提取的黑龙江省稻田分布

图8 2003年到2007年不同县区水稻种植面积率的变化

#### 4. 结语

和解析卫星数据以及其技术开发有关的合作研究课题在2008年结束，此后研究人员通过研讨会和会议等形式保持交流。另外，有年轻人借这次访日的机会在日本取得学位，可以说本次合作研究在项目目标实现的层面上不仅对研究开发有所贡献，从人才培养的角度来说也是很有意义的。这些年轻的研究人员如今已经成长为核心研究人员和研究管理人员，并且承担了辅导新人的任务。区划研如今已成为中国在农业遥感研究领域的一大据点，提供主要作物种植、生产相关的遥感信息，极大促进了粮食生产和供应稳定。这是国际农研和中国农业科学院长年以来重要的合作研究成果。其中我也参与了一部分研究，在此向相关人士表示

由衷感谢。

参考文献:

- 1 Uchida, S., Y. Chen and G. Saito (2002): Application of Remote Sensing Technology for the Management of Agricultural Resources. *China Agricultural Science and Technology Press*, 268p. (ISBN 7-80167-349-2)
- 2 Uchida, S. (2005): Development of a Method to Analyze Agro-environmental Changes in the Typical Foodcrop Production Area Using Geographic Information System (GIS). *JIRCAS Working Report No. 42*, Development of Sustainable Production and Utilization of Major Food Resources in China, Ed. O. Koyama, pp.19-32.
- 3 Uchida, S. (2006): Development of Rapid Mapping Method of Paddy Fields Using Satellite Data Applied to Heilongjiang Province in China. *JIRCAS Working Report No. 50*, Development of Early-Warning Systems for Mitigating the Risk Caused by Climate Disasters through Technological Enhancement of Resource Monitoring and Crop-Model Simulation, Ed. S. Uchida and O. Koyama, pp.1-8.

# 农业经济与农村社会发展研究

# 中国农业的发展与挑战

## —日中农业政策比较研究—

池上彰英  
明治大学

### 1. 本报告的课题

在 JIRCAS 与中国农业科学院进行合作研究的 20 年中，日本的农业几乎停滞不前，但中国农业的发展非常迅速。以粮食为首的许多农产品持续增产，改善了人们的饮食生活质量。农户收入也显著增加，农民与城市居民之间的收入差距缩小。本报告的第一个课题是，近 20 年来中国农业的发展状况。在这项报告中，我想关注的是，以 2003 - 2004 年前后为转折点，中国农业发展的重大变化。

虽然这 20 年来中国农业发展成效显著，但目前中国农业确实也面临着一些严峻的挑战。目前中国农业面临的挑战与日本农业过去经历过的以及目前面临的挑战有许多共同点。本报告的第二个课题是整理中国农业面临的挑战。

日本和中国农业面临的问题有相似之处，因此农业政策也有许多共同点。然而，由于两国经济发展阶段的差异和基本农业体制的差异，两国的农业政策也存在差异。本报告的第三个课题是比较和研究两国农业政策的相同性和差异性。

最后，基于上述分析，就今后日中农业经济研究合作的课题提出自己的看法。

### 2. 中国农业发展 20 年

根据图 1，中国的稻米产量从 1996 - 1999 年大丰收后，2000 - 2003 年大幅减产，但从 2004 年到 2015 年连续 12 年增产。在此期间，玉米的产量增幅特别大。这是因为大米和小麦等主食作物的需求增长缓慢，而饲料谷物的玉米因为被用作淀粉，异构化糖，酒精等的加工原料，需求大幅增加。问题在于 2004 年之后粮食产量的增加被认为主要是由于价格上涨造成的（然而，自 2015 年以来，粮食的实际生产者物价指数已经下降）。同时，农产品生产者物价指数也大幅上涨。

图 2 显示了名义国内生产总值（GDP）的第一产业（收入比例）的百分比，就业人口总数中第一产业就业比例（就业率），是用第一产业收入比例 / 第一产业就业比例得出的，它显示了第一产业就业者的平均收入（相对收入）与所有就业者的平均收入之比的发展趋势。据此，从 1996 年到 2006 年的 10 年间，第一产业占国内生产总值的比例迅速下降，但在接下来的 10 年中仅略有下降（1996 年为 19.3%，2006 年为 10.6%，2016 年为 8.6%）。另一方面，由于第一产业就业者比例自 2003 年以来迅速下降，第一产业的相对收入从 2006 年的 24.9% 逐渐增加到 2015 年的 31.2%（不过 2016 年以后再次减少）。自 2003 年以来，第一产业就业者的绝对数量迅速下降，不仅在制造业和服务业，而且在农业部门，雇佣工资也有所增加。中国已经处于从劳动力过剩经济向劳动力短缺经济转型的过程中。在农业方面，基本的劳动力严重不足，“谁来种地”是一项重要的政策性课题。

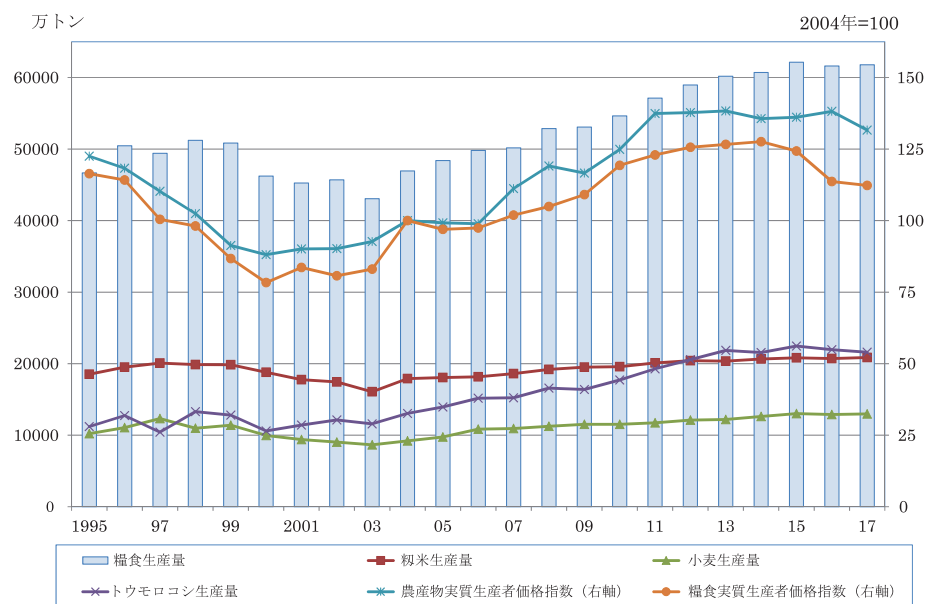


図1 粮食产量和实际生产者物价指数

注：农产品（粮食）实际生产者物价指数是将农产品（粮食）生产者物价指数定义为农村消费者物价指数，并将2004年的数值定为100来表示。

资料来源：参考“中国统计年鉴2017”，“中国统计概要2018”。

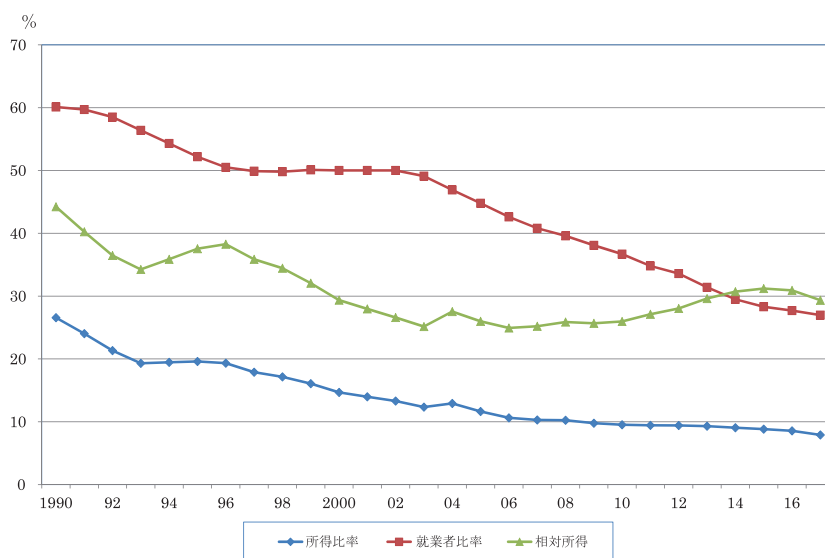


图2 第一产业占国民经济的比例

资料来源：参考“中国统计年鉴2017”，“中国统计概要2018”。

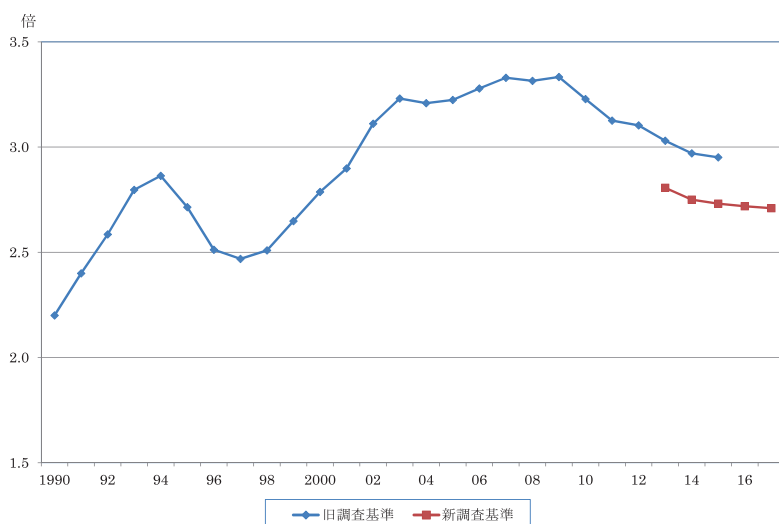


图3 农村居民与城镇居民之间的收入差距

注：自2013年以后，调查标准已更改。旧调查标准的2013年-2015年数据是将新基准的数据用旧调查标准（截至到2012年）转换而来。

资料来源：参考“中国统计年鉴2017”，“中国统计概要2018”。

图3显示了，假设每个农村家庭的名义人均收入为1时，每个城市家庭的名义人均收入。据此得知，农村居民与城镇居民之间的收入差距从1998年到2003年急剧上升，从2004年到2009年几乎没有变化，2010年后缩小了。然而，根据新的调查标准，2014年至2017年的收入差距分别变为2.75倍，2.73倍，2.72倍，2.71倍，并且差异缩小的速度明显放缓。

### 3. 中国农业面临的挑战

#### 1) 国内农产品价格上涨和农产品进口的增加

由于2004年以来国内农产品价格上涨，中国大部分农产品的国内价格已经高于国际价格。图4以小麦为例。

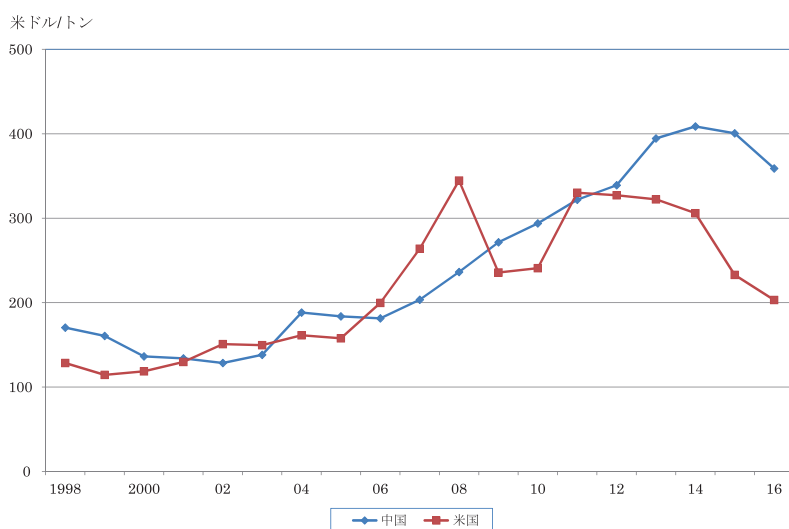


图4 小麦的国内外价格

注：中国价格是指全国三等白麦主要批发市场价格的平均值。美国价格是指2号墨西哥湾第一硬红冬小麦FOB价格。

资料来源：参考“中国统计年鉴2017”，“中国统计概要2018”（汇率）。

表 1 按类别划分的农产品进出口额和贸易特化系数

(単位:億米ドル)

年	農産物全体			穀物			食用油糧種子			食用植物油		
	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数
2005	196.5	246.7	-0.11	15.3	14.1	0.04	9.6	79.9	-0.79	1.8	28.1	-0.88
2006	220.2	278.7	-0.12	11.7	8.4	0.16	8.7	79.3	-0.80	2.7	31.8	-0.84
2007	272.4	364.8	-0.15	22.0	5.4	0.61	10.8	120.3	-0.84	1.7	62.5	-0.95
2008	298.0	533.6	-0.28	7.9	7.3	0.03	14.1	228.8	-0.88	4.1	89.9	-0.91
2009	287.4	474.4	-0.25	7.4	9.0	-0.10	11.3	206.8	-0.90	1.6	66.7	-0.95
2010	355.4	660.1	-0.30	6.9	15.3	-0.38	11.8	265.4	-0.91	1.3	71.6	-0.96
2011	429.3	868.5	-0.34	8.1	20.4	-0.43	14.4	314.8	-0.91	2.1	90.1	-0.95
2012	442.7	1,044.8	-0.40	5.5	47.9	-0.79	17.0	376.9	-0.91	1.8	108.1	-0.97
2013	475.7	1,102.3	-0.40	7.0	51.0	-0.76	15.7	414.5	-0.93	2.0	89.5	-0.96
2014	502.6	1,133.5	-0.39	6.0	62.2	-0.82	14.3	445.1	-0.94	2.1	70.5	-0.94
2015	503.5	1,079.0	-0.36	4.4	94.0	-0.91	14.6	383.9	-0.93	1.9	59.9	-0.94
2016	522.5	1,022.0	-0.32	5.0	57.1	-0.84	14.2	370.4	-0.93	1.6	50.5	-0.94
2017	543.8	1,145.1	-0.36	8.0	64.9	-0.78	16.4	430.2	-0.93	2.4	56.8	-0.92

年	綿花			野菜			果物			畜産物		
	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数	輸出	輸入	係数
2005	0.1	32.2	-0.99	44.8	0.8	0.96	20.4	6.6	0.51	36.0	42.3	-0.08
2006	0.3	49.2	-0.99	54.3	0.9	0.97	24.8	7.6	0.53	37.2	45.5	-0.10
2007	0.4	35.4	-0.98	62.1	1.1	0.97	37.5	9.6	0.59	40.5	64.7	-0.23
2008	0.4	35.3	-0.98	64.4	1.1	0.97	42.3	11.9	0.56	44.1	77.3	-0.27
2009	0.2	22.1	-0.98	68.8	1.8	0.95	38.4	16.5	0.40	39.1	66.0	-0.26
2010	0.1	58.5	-1.00	99.9	2.8	0.95	43.6	20.3	0.36	47.5	96.6	-0.34
2011	0.8	96.8	-0.98	117.5	3.3	0.95	55.2	31.1	0.28	59.9	133.9	-0.38
2012	0.4	120.1	-0.99	99.7	4.2	0.92	61.9	37.6	0.24	64.4	149.0	-0.40
2013	0.2	87.2	-1.00	115.9	4.2	0.93	63.2	41.5	0.21	65.2	195.1	-0.50
2014	0.3	51.6	-0.99	125.0	5.1	0.92	61.8	51.2	0.09	68.4	221.7	-0.53
2015	0.5	27.2	-0.96	132.7	5.4	0.92	68.9	58.7	0.08	58.9	204.5	-0.55
2016	0.2	17.8	-0.98	147.2	5.3	0.93	71.4	58.1	0.10	56.4	234.0	-0.61
2017	n.a.	23.6	n.a.	155.2	5.5	0.93	70.8	62.6	0.06	63.6	256.2	-0.60

注：(1) 贸易特化系数=（出口额 - 进口额）/（出口额+进口额）。

(2) 食用油种子包括大豆。

资料来源：“中国农产品贸易发展报告 2006 - 2017”，农业部国际合作司“2017 年 1 月 - 12 月农产品进出口”。

表 1 显示，关于主要农作物，这是一个由近年来的进出口贸易额以及（出口额 - 进口额）/（出口额+进口额）定义的贸易特化系数。贸易特化系数取值在+1 和-1 之间，国际竞争力越强越接近+1，越接近-1 则认为国际竞争力弱。从贸易特化系数来判断国际竞争力的话，蔬菜具有很强的竞争力，但食用油种子，食用植物油，棉花等根本没有竞争力。自 2008 年以来，谷物的竞争力迅速下降（自 2016 年以来略有改善）。虽然现在水果仍然出口过剩，但贸易特化系数却大幅下降。畜产品的进口额迅速增加，贸易特化系数日益恶化。畜产品食物中，乳制品中根本没有竞争力，并且肉类方面竞争力也迅速下降。

中国农产品的出口地除了美国和东盟国家外，还主要是那些农业生产成本高于中国的国家，如日本和韩国，或者是香港等原本就没有任何农业产业得地区。（另，对美进口额远远大于出口额，对东盟国家进口额也略高于出口额）。也就是说，中国恰好其周边地区工业化比较先进，农业竞争力较弱，也正是因为如此，才会有如此巨额农产品出口量，但如果我们从全球的角度思考 它已经完全丧失了农业的国际竞争力。 在中国这样一个土地资源并不丰富的东亚国家，如果中国发生薪资大幅度增长，将很难阻止农产品进口的增加。

## 2) 农业生产成本上涨

近年来中国农产品进口增长的主要原因是国内农产品价格上涨，除了一些农产品如大豆之外，并不一定是国内供应短缺造成的。导致农产品价格上涨的最大因素是农业生产成本的上涨。

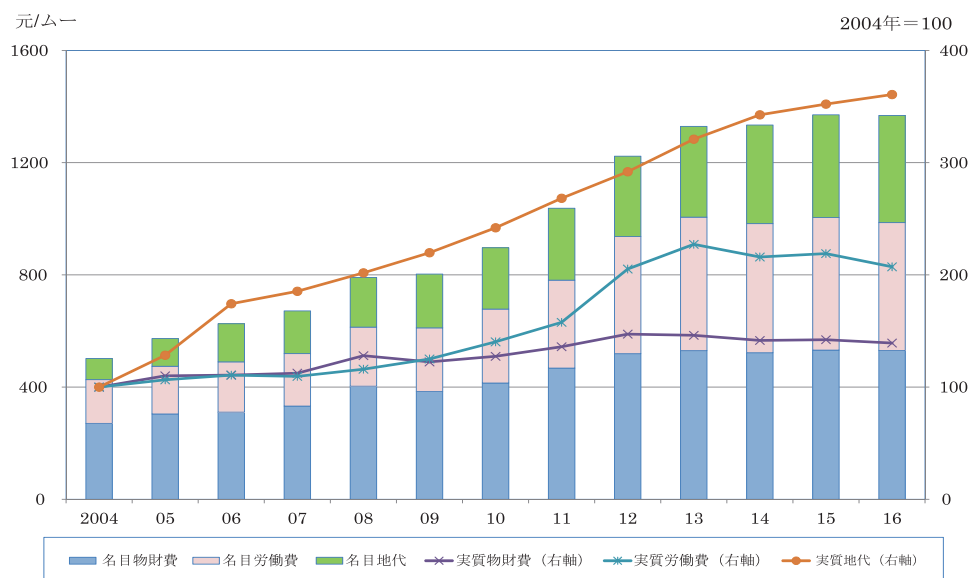


图5 ジャポニカ稻の生産費（全国平均）

图5 粳稻生产成本（全国平均水平）

资料来源：编制自各年度“国家农产品成本收入资料汇编”。

2004年中国农业生产成本调查第一次制定了“土地租金”这一条款。图5显示了自2004年以来粳稻生产成本的发展趋势，从2004年到2013年显著增加（2014年后大致持平）。可以看出的是，到2013年作为农业生产成本上升的一个特征，土地租金和劳动力成本的增长非常显著。占土地使用费大部分的“自有土地租金”是相当于日本自作地（土地所有者自己耕作的土地）租金的机会成本概念，但由于“流转土地租金”（租赁土地租金）的飙升，其数量在增加。尽管缩短了工作时间，但由于雇佣劳动力成本和家庭劳动力评估（机会成本概念）的增加，劳动力支出增加。由于劳动力成本的增长被认为将来会持续下去，为了降低劳动力成本，必须通过机械化等其他方法减少工作时间。

毋庸置疑，日本许多农产品的生产成本高于中国。并不是日本没有努力地降低农业生产成本，但作为提高农业收入的措施，更多选择的是增加其附加值的方式，比如其高级化，品牌化，进入加工和分销领域（“六次产业化”）等。

## 3) 农业生产增长缓慢

从表2可以看出，主要农产品的生产趋势是，其产量自2010年以来减少，很多农产品产量停滞不前，产量稳增的农产品几乎仅限于蔬菜和水果。农产品产量减少和增长停滞的原因有三种可能性。①因需求下降或低迷而减产或停滞；②国际竞争力下降导致进口增加（国内农产品需求减少），③国内生产力（供给能力）的下降导致的产量减少。

表 2 主要农产品生产趋势

(1995年 = 100)

年	粳米	小麦	トウモロコシ	大豆	油糧作物	糖料作物	綿花	野菜	果物	肉類
1995	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2000	101	97	95	114	131	96	93	199	148	131
2005	106	95	124	121	137	119	120	248	210	151
2010	106	113	158	112	144	151	125	286	305	173
2011	109	115	172	107	147	158	138	298	334	174
2012	110	118	184	97	153	170	143	310	358	183
2013	110	119	195	89	156	173	132	322	374	186
2014	111	123	193	90	156	168	130	333	394	190
2015	112	127	201	87	157	157	118	344	415	188
2016	112	126	196	96	161	155	111	350	430	186
2017	113	127	193	108	166	158	115	n.a.	n.a.	187

注：（1）以 1995 年的产量定为 100 来计算每年的产量。

（2）油料作物不包括大豆

（3）蔬菜包括水果蔬菜（西瓜，甜瓜，草莓等）

资料来源：编写自“中国农业统计资料”各年刊，“中国统计年鉴 2017”，“中国统计概要 2018”等。

在日本，①大米和马铃薯因需求下降而产量减少，许多农产品的产量减少是由于②或③的因素。在日本，1990 年以后，在此之前持续增产的蔬菜和畜产品的产量开始下降，这主要是由于农业劳动力的减少和人口的老龄化，导致国内生产力下降。

#### 4. 日中农业政策比较

日中两国农业政策有许多相似之处，但也有很多不同之处。差异主要是由经济发展阶段（或经济发展时期）的不同，与基本农业制度的差异引起的。

##### 1) GATT/WTO 加入时间的差异

日本加入关贸总协定的时间是 1955 年，中国加入世贸组织是 2001 年。在关贸总协定乌拉圭回合农业谈判（1986 年至 1993 年）中，达成了大幅减少农业保护协议，世贸组织于 1995 年成立，在此之前，各国的国内农业保护如进口数量限制，高关税边境保护，价格支持等农业保护，出口补贴等是根据政府的意愿自由进行的。日本在这样的体制下经历了经济发展，并且非常谨慎地保护了国内农业。因此，在 1995 年世贸组织成立后，日本开始真正的全面减少农业保护。

另一方面，由于中国在乌拉圭回合农业协定（世贸组织农业协定将其内容编制成文）达成后加入世贸组织，从一开始可以实施的农业保护措施就极为有限。中国政府强化了价格支持政策，例如从 2008 年起提高粮食的最低收购价格，但仅在 6 年后，2014 年就开始审查该政策。就中国而言，由于边境保护水平（关税税率）首先设定得较低，提高国内农产品价格很容易导致海外农产品进口增加。因此，在制度上很难去过度保护农业，并且被迫采取市场指向性和国际性开放化的农业政策。因此，这可能会使得国内农业变得更强大。

## 2) 土地所有权制度的差异

众所周知,日本的农地是私人的,中国的农田是集体所有(“集体所有制”)。在日本,根据“农业土地法”的规定,原则上是禁止企业(非农民)拥有农田的。此外,尽管近年来这一规定已经变得宽松很多,但最初的租赁权利很强,农地的租赁也没有发展起来。因此,在日本,农业管理结构难以进行扩大规模和企业进入农业等转型,甚至现在小型分包农户也广泛存在。在这种情况下,农业工人的老龄化正在发展,未来很可能会出现大量没有承运人的农地,但土地私有化的所有权存在障碍,行政干预也很困难。农业,离开土地非农民的农田管理负担也很沉重。

与日本相比,中国的农地是集体所有制,而且原承包经营权分为承包权和经营权(所有权,承包权,经营权,三权分置),农地经营权的流转变得更加容易。因此,实行大规模经营的速度远远超过日本,企业也广范围地进入到农业。离农离村的农户将承包经营权归还给集体,这种方法使农地管理变得不再繁琐(在这一点上,有必要高度保持农村集体的农地管理能力)。不仅在推动农业经营结构改革而且在未来的超老龄化社会中实现农地的有序管理上,农地集体所有制可以说是一个比私有农地制度更有利的制度。

## 3) 是否有农业合作社

毋庸置疑,日本的综合性农业合作社制度正在为小农户的农产品销售和获得金融服务做出巨大贡献。但是,日本综合性农业合作社制度的形成有着悠久的历史背景,并且政府对一般农业合作社进行制度性保护和优待政策,其维护成本并不低。

在中国没有类似于日本农业合作社这种在农产品流通和农业金融方面具有强大实力和市场份额的经济组织。因此,在流通过程中,公司和“经纪人”等商家的能力比较强大,各种销售渠道并存,市场竞争激烈。关于此类流通系统的效率和公平性,我们需要未来进行研究。

## 5. 结论 - 未来日中农业经济研究合作课题-

在“人多地少”的资源存储量方面,即使在其农业是一个相对处于劣势的行业这一点上,日本和中国之间的共同性也很强。另一方面,如上所述,两国在基本土地所有权制度,农产品流通制度,农村金融制度等方面的差异性较强。

两国可以合作的农业经济研究课题很多,但我认为以下问题尤为重要。

### 1) 关于农业经营结构改革研究

对于两国的农业,农业主力“谁来种地”和提高农业生产力措施“怎么种地”是面临的最重要的政策性课题。虽然两国的土地制度等存在差异,但农业管理结构的实际情况和政策需求方面有许多共同点。在这一领域,日本农业经济学院拥有丰富的研究积累经验,在两国开展全面的研究合作具有重要意义。

### 2) 关于农业保护政策方法研究

对于这两个国家而言,农业是一个相对处于劣势的产业,但它在食品的稳定供应和农业的多功能性方面发挥着重要作用,是一个无论以任何方式都要发展的产业。在世贸组织体系的国际约束下,探索有效和国际公认的农业保护政策方法是两国农业经济领域极为重要的研究课题。

### 3) 研究如何增加农业生产附加值,提高农业收入

提高农民收入是农业经济学者的社会责任之一。为此,在两国农业经济学院也积极开展

了具体实用的研究，预计通过深化研究交流可以提高效率。此外，我想指出的是，关于本研究课题，准确把握高收入阶层消费者食物需求变化是非常重要的。

## 中国生态循环农业发展与研究展望

尹昌斌

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

### 引言

近年来,中国农业农村发展取得了伟大成就,但以“投入品—生产—产品—废弃物”的线性经济为主导的农业发展模式导致农业发展面临着资源短缺、能源紧张、生态破坏、环境退化等问题。生态循环农业是一种遵循循环经济理念的新生产方式,以资源的高效利用和循环利用为核心,以“减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、再循环(Recycle)”为原则,通过建立“农业资源—农业产品——农业废物再利用”的循环机制,不断延伸扩展农业产业链条,实现人口、资源、环境相互协调发展,达到农业生产的“两低一高”目标,即资源消耗低、废弃物排放低、物质能量利用高(尹昌斌等,2008;高旺盛等,2007)。发展生态循环农业是农业发展方式由外延式增长向内涵式发展转变的必然要求,也是解决农业资源短缺与环境退化的现实选择,已经成为许多国家积极探索农业可持续发展的重要发展模式,对生态循环农业的研究与实践是当前中国农业领域的热点。

国外对生态循环农业的发展早于中国,比如美国的精准农业(Bongiovanni et al., 2004)、英国的永久农业(Smith, 2006)、德国的绿色能源农业(Zanden, 1991)、以色列的节水农业(Fishelson, 1994)、日本的菱镇循环农业等(King, 1911),这些发达国家都建立起完整性的生态循环农业发展模式,并获得显著的生态效益和经济效益(何琼等,2017)。中国从20世纪90年代起,开始引进生态循环农业思想(张建,2009;刘金泉,1990),并对生态循环农业理论与实践模式进行广泛的研究(孙波等,2018;赵立欣等,2017;翁伯琦等,2017)。在理论上,先后提出了“3R”原则、“4R”原则(高旺盛,2010;Xuan et al., 2011;尹昌斌等,2013)。在实践中,总结出了庭院式循环经济模式(徐文辉等,2010)、南方的稻鸭、稻鱼(虾)共作模式(曹凑贵等,2017;胡亮亮等,2015)、北方的“四位一体”农业模式(王晓荣等,2009)、以沼气为纽带的“畜禽—沼气—种植”生态循环农业模式(段娜等,2015)、以有机肥加工为纽带的“畜禽—有机肥—种植”生态循环农业模式(吕娜等,2018)等,构建了以企业(农户)为核心的内部小循环、企业间链条中循环和区域内大循环。随着人们认识水平的提高,生态循环农业不仅是一种农业经济发展的新理念,在实践上更是一种发展模式或技术范式。因此,本研究重点梳理当前中国关于生态循环农业发展的相关政策措施,总结归纳当前可复制、可推广、可续持的生态循环农业典型区域技术模式,展望未来生态循环农业研究的重点领域与方向,以期为将来中国生态循环农业的发展乃至世界生态循环农业的发展提供参考和借鉴。

### 1. 现代农业与生态循环农业认知

#### 1) 现代农业发展趋势——农业绿色生态化

农业绿色生态化是未来现代农业发展趋势,主要体现在四个方面上。一是生产效益型的

集约农业，即采用集约经营方式进行生产，通过发展农田基础设施建设，加大农田机械化高投入，推广应用农业新技术和优良品种，获得规模效应、经济效益；二是资源节约型的生态循环农业，即以节约、减排和农民增收为目的，通过农牧结合、种养循环等，实现废弃物多次循环利用，推进农业生产技术范式的改革和创新，形成“无废农业”的物质循环利用模式；三是环境友好型的生态农业，即利用传统农业精华，农业一、二、三产融合，通过工程措施、解决发展与环境资源的矛盾，获得较高经济、生态、社会效应，形成“无害农业”的生产新方式、新理念；四是产品安全型的绿色农业，即应用现代化设施和绿色生产技术，关注农业环境保护和农产品质量安全，严把质量监控环节，形成高效安全的“无毒农产品”供给模式。

## 2) 对生态循环农业的认识

生态循环农业是一种遵循循环经济理念的新生产方式，是一种资源节约与高效利用型的农业经济增长方式，是一种产业链延伸型的农业空间拓展路径，是一种环境友好型宜居乡村建设的新理念。生态循环农业同样遵循“3R”原则，即减量化（Reduce）、再利用（Reuse）、再循环（Recycle）。其中，“减量化”指农业资源节约投入，发展精准农业；“再利用”指农业物质多级利用，直到吃干榨尽；“再循环”指农业废水、营养物质的循环再利用。生态循环农业体现了绿色发展、循环发展与低碳的理念来发展现代农业，实施农业清洁生产，资源化利用农村废弃物，推进了农业资源的循环利用。生态循环农业本质特征是资源节约与产业链延伸，种植业、养殖业、加工业、农产品消费及生物质产业，通过物质循环、能量交换与价值增值，形成农业一、二、三产的联接和融合。

发展生态循环农业，优先是发展现代农业，即用现代工业装备农业、用现代科学技术改造农业、用现代管理方式管理农业、用现代科学文化知识提高农民素质的过程。同时，顺应日益增长的环境保护需求，建立高产优质高效农业生产体系，把农业建成具有显著效益、社会效益和生态效益的可持续发展农业，实现环境友好与生态安全。

## 2. 中国生态循环农业发展的政策措施与行动

近年来，国务院、农业农村部等相关部门都出台了与推进生态循环农业相关的政策措施。在2004年，循环经济首次被写进中国国民经济和社会发展规划报告中，并在2005年出台《关于加快发展循环经济的若干意见》（国发〔2005〕22号），提出“大力发展循环经济，建设资源节约型和环境友好型社会”。在2013年，国务院发布了《循环经济发展战略及近期行动计划》（国发〔2013〕5号），要求在农业领域加快推动资源利用节约化、生产过程清洁化、产业链接循环化、废物处理资源化，努力构建循环型农业体系。2016年发改委发布了《关于加快发展农业循环经济的指导意见》（发改环资〔2016〕203号），提出以提高农业资源利用效率和改善农村生态环境为目标，加快发展农业循环经济。此外，近十年来中央一号文件一直都关注生态循环农业。2006年，中央一号文件首次提出要大力开发节约资源和保护环境的农业技术，加快发展生态循环农业。随后在2007年至2016年的中央一号文件均强调鼓励发展生态循环农业。在2017年的中央一号文件中指出，要大力推广高效生态循环的种养结合模式，加快对畜禽粪便进行集中处理，积极推广有机肥替代化肥试点工作，推进农业清洁生产，促进农业节本增效。

同时，为了更好的配合政策措施，各部门也制定了相应的规划指导方案和行动指南。2015年农业农村部发布了《全国农业可持续发展规划（2015—2030年）》，要求到2020年基本实现

区域内农业资源循环利用,到2030年基本实现农业废弃物趋零排放。在2016年国务院发布了《全国农业现代化规划(2016-2020年)》,计划到2020年,全国粮经饲统筹、农林牧渔结合、种养加一体、一二三产业融合的现代农业产业体系基本构建,畜禽粪便、农作物秸秆、农膜资源化利用目标基本实现。2017年农业农村部印发了《种养结合循环农业示范工程建设规划(2017-2020)》,计划到2020年,建成300个种养结合生态循环农业发展示范县,基本实现作物秸秆、畜禽粪便的综合利用。近年来,国家发展改革委员会设立了一批生态循环农业示范项目与农业清洁生产项目。环保部门、财政部门也出台了“以奖促治”的方案,促进生态循环农业发展。2007年以来,科技部先后启动实施了“农田循环高效生产模式关键技术研究集成示范”和“生态循环农业科技工程”科技支撑项目。农业农村部在2007年提出“生态循环农业促进行动”,开展生态循环农业试点市工作,从2015年开始在全国100个县试点“粮改饲”,推进种养结合、农牧融合,从2015年开始实施农业综合开发区域生态循环农业项目,计划到2020年建成区域生态循环农业项目300个,2017开展畜禽粪污资源化利用行动、东北地区秸秆处理行动、果菜茶有机肥替代化肥行动、农膜回收行动、以长江为重点的水生生物保护行动等。

总体来看,中国这几年出台的政策规划多以指导性和引导性为主,缺乏强制执行力。农业农村部、发改委等部门有大量的生态循环农业项目,如生态循环农业示范、种养结合、农牧融合、有机肥无机肥替代、乡村环境治理、农膜回收利用项目等。在项目实施期间,能够发挥作用,但部分项目在结束后,可持续运行就存在问题。而有些项目通过科技驱动和工作机制保障了项目的可持续运行,总结这些可复制、可推广、可续持的生态循环农业典型区域技术模式,有利于将这些生态循环农业项目因地制宜地在全国范围内进行推广应用。

### 3. 中国生态循环农业典型区域技术模式

#### 1) 西北旱作区模式—甘肃省金昌市金川区古城村

这一区域是我国典型的旱作区,气候干旱、降雨量稀少,农业水资源匮乏、白色污染严重已经成为制约该区域农业可持续发展的瓶颈问题。在甘肃省的大部分农作区年降水量在200—450毫米之间,亩均水资源量不到450立方米,不足全国亩均水量的1/4,过度超采地下水,造成下水位已经由80年代的10米降至现在的60米左右,水资源利用程度已远远超过自然承受力。近20年来,在甘肃金川区的地膜使用量在1.2万吨左右,累计约有3600吨地膜残留在农田中,平均每亩农田残留地膜17.1公斤,造成土壤板结,土壤通透性降低,种子发芽率下降,严重影响农作物产量及品质的提升。

古城村按照节水环保型生态循环农业模式的发展要求,重点开展农田节水及废旧农膜回收两个方面的工作,推进种养结合、种养加一体化发展策略,提高资源利用率,减轻环境污染,实现农业可持续发展。该模式核心是运用农田节水技术、地膜回收再利用技术、种养结合清洁生产技术。在循环模式中,形成生态林果区、设施农业示范区、高标准农田示范区、规模养殖区、收购加工区等五大功能区,将种植区的农作物秸秆加工成饲料,供应给规模养殖区,规模养殖区畜粪经沼气发酵无害化处理后,再为种植业提供有机肥料,种植区、养殖区生产的玉米、食葵、辣椒、肉制品等通过加工、储藏直接与销售市场对接,形成“种植—秸秆加工—养殖—有机肥加工—种植”的生态循环农业产业链。

古城村通过发展该模式,水资源利用率显著提高,地膜残留量明显减少,种养循环取得

显著效益。累计示范设施农业水肥一体化技术2400亩，共节水50万方，节水率36.4%；示范生态林果膜下滴灌技术12000亩，共节水300万方，节水率23.1%；示范大田农业微喷灌技术400亩，共节水3.2万方，节水率12.5%；示范大田农业全膜垄沟灌技术2.4万亩，累计节水240万立，节水率12.1%。完成低压管灌建设5000亩，累计节水40万立方米。共引进小型残膜回收机12台，大型残膜联合作业机1台，示范“一膜两用”技术100亩，废旧地膜的回收率提高到75%以上。通过“五位一体”沼气池的建设，养殖业节约饲料10%至15%之间，节水70%以上，节省化肥、农药85%以上。

## 2) 南方水网区模式—湖北省鄂州长港镇峒村

该区域是我国典型的水网区，地区水资源丰沛，长期以来形成的粗放农业生产方式，造成水体富营养化和面源污染严重，已成为制约南方地区经济社会可持续发展的重要瓶颈。2014年，湖北农业源COD排放量为44.8万吨，农业源氨氮排放量4.4万吨。全省播种面积亩均化肥用量26.8公斤，比全国亩均用量多4.9公斤。全省有机肥资源总养分约150万吨，而实际利用不足40%，其中，畜禽粪便养分还田率仅为50%左右。据估算，鄂州市常年各类农作物秸秆、残果尾菜产生量58万吨，直接还田约22.3万吨，占38.5%，随意丢弃量1.2万吨，占2.1%，鄂州市氮肥当季利用率仅为35%左右，磷肥当季利用率不到20%，与发达国家化肥60%的高利用率相差甚远。

峒山村按照“一控两减三基本”的要求，推广节地、节水、节肥、节药等资源节约型技术，发展以稻田综合种养、水循环养殖、生态沟渠等水资源循环利用型利用技术，推进绿色种养业结合，形成“资源—产品—废弃物—再生资源”的生态循环农业方式。该循环模式以水田稻作为基础，通过在水田中全年养殖克氏原螯虾（俗称小龙虾，下同），充分利用稻田光、热、水及生物资源，实现水稻与小龙虾互利共生，将水田生态系统的种植业与养殖业有机结合起来，在稻田有限的生态空间里生产出无公害、安全、优质的大米和虾产品，是一项种养结合、降本增效的生态农业技术，最大限度地提高稻田产出率，达到了虾稻同步增产、品质同步提升的目的，是我国南方稻作区提高水稻栽培产量和生态系统效益的一种重要种养循环技术模式。

该区域通过稻虾共作、水环境治理，取得了明显成效，减少化肥、农药使用，改善土壤和水体质量，实现农业增效、农村美化和农民增收。该循环模式结合绿色防控、秸秆还田等技术措施，能够大幅减少农药和化肥用量，可以使稻田化肥使用量下降30%以上，农药使用量下降70%以上。同时，小龙虾能够为稻田疏松土壤、清除杂草和害虫幼卵，其排泄物又可为水稻生长提供营养，稻田可为小龙虾提供充足的水，适量的食物以及活动、栖息的场所，从而有效地实现稻虾的互利共生，可使稻田平均亩产达624.7公斤、小龙虾亩产量达124.5公斤，亩产值5546.6元，亩纯收入2978.2元，相比单一种植水稻平均每亩纯收入提高2000元以上。

## 3) 西南生态脆弱区模式—贵州省贵阳市花溪区久安乡

这一区域是我国喀斯特地区，是典型的生态脆弱区，山高坡陡，耕地土层浅薄，水土流失及地质灾害频发、农业面源污染严重，已经成为制约该地区农业可持续发展的瓶颈问题。92.5%的土地面积为山地和丘陵，从空间分布来看，全省水土流失状况西北重、东南轻，从不同流域来看，境内长江流域水土流失仍然比珠江流域严重，2013年贵州省境内长江流域水土流失面积占流域面积的比例为31.2%，珠江流域分别为30.3%。2013年贵州省化肥施肥量99.5

万吨,比2005年增加28.6%,农药使用量为1.4万吨,比2008年增加5.2%,在一些中小规模的养殖场和集中连片养殖小区,由于载畜量过大,排泄物过多,未进行有效处理,部分畜禽粪便随意堆置或排放到附近水沟或田土,在雨水冲淋下,流入河流和湖泊,农业面源污染严重。

久安乡按照“一控、二减、二基本”的要求,注重水土保持,运用测土配方施肥技术、水肥一体化技术、地膜覆盖与回收技术、病虫害绿色防控技术、轮套作绿肥技术、坡耕地水土流失防控技术和种养结合沼气工程技术,实施节水节肥的管理措施,控制面源污染和农药残留。在循环模式上,利用规模化养殖场粪便进行沼气发酵,同时生产沼渣沼液,开发优质有机肥,用于生态茶园、果园、农田作物生产,同时在果树(茶树)株行距中间开阔地带种植粮食、经济植物、蔬菜、瓜类、药材、绿肥等作物,增加覆盖度,拦截水土流失,将作物秸秆进行青储、氨化和干堆发酵,开发秸秆饲料用于养殖,形成“畜禽—沼气—种植(粮食林果茶)”的复合生态循环模式,实现种植业由传统的粮食生产一元结构向粮食作物、经济作物、饲料饲草作物三元结构转变。

通过该区域模式,久安乡农业生态环境显著改善,农民收入得到提高。通过横坡等高种植模式种植果树(茶树),来减少水土流失。沼液、沼渣的使用降低化肥的施用,改善土壤质量,提升农产品品质。通过物理、生物、化学、农艺四种防治措施,降低果(茶)的农残各项指标,实现农产品质量安全,由于生态项目的顺利实施,2013年久安乡生态茶园生产的“绿宝石”茶出口德国,2014年出口美国进驻星巴克旗下Teavana茶吧,再到2015年拓展俄罗斯等海外市场。同时生态茶园邀请茶叶、生态、植保、环境等方面专家对茶农进行培训,提升农民的茶园清洁管理的技术水平,促进了茶农增收。

#### 4) 黄土高原果园清洁型模式—山西省临汾市吉县东城乡

这一区域位于我国黄土高原,存在的突出环境问题主要为农业水资源缺乏、农业环境恶化生态功能退化,已经成为制约本地区农业可持续发展的瓶颈问题。西北黄土高原地区降雨量少,严重缺乏灌溉水,对苹果的品质和产量有直接影响。为了增加果树产量,过量增施化肥,但有机肥得不到及时足量的补充,导致部分果园呈现衰退趋势,农药和化肥的滥用、畜禽粪便随意排放、果木秸秆焚烧等导致土壤板结、河流和地下水污染、大气污染、资源利用率低等问题较为突出。

东城乡近几年来以户为单位,以果园为依托,构建由户用沼气池、生态养殖、果园生草、集雨水窖及果园滴灌设施组成的户用农村生态工程。形成以太阳能为动力,以新型高效沼气为纽带,种植养殖有机结合协调发展的良性循环生态果园系统。同时,实行黑膜保墒、行间生草、集雨水窖、高架微喷,达到节水保墒,改良土壤,解决干旱缺水的问题。以生态果园清洁生产和果树废弃物资源化利用为目标,构建“果树废弃物—生物质干馏—炭气液油转化—干馏产品农用”的生态农业模式。利用生物质干馏技术,将果树废弃枝条一次性转换为木醋液、木焦油两种天然的农用化学品替代物和生物炭、干馏气两种清洁可再生能源。木醋液、木焦油作为无公害纯生物制剂,具有促进果树生长、杀菌、驱虫、改良土壤的功效,可有效减少化肥和农药的施用量,以此形成林果业废弃生物质资源综合循环利用的现代农业清洁生产新模式。

通过该模式,有效提高了东城乡苹果一村一品专业村农民的科技应用水平,加快新技术的推广应用,提高科技对经济增长的贡献率,苹果产量普遍提高了10%以上。对全县果农起到了树立典型,建立样板和辐射带动作用,辐射带动全县30万亩苹果进行有机化、标准化生产,

有力地推动了全县苹果产业的发展。同时,利用了农村的畜禽粪便和生产生活垃圾,使其发酵,产生沼气、既减少农村能源的投资,又净化生态环境,改善农民生活条件,产生的沼渣、沼液,作为果树的有机肥来源,减少农药、化肥的施用,减轻对果实和土壤的污染,生态效益明显。

通过以上四个区域的生态循环农业模式介绍,可以说明要发展生态农业、循环农业,我们一定抓住问题导向,要解决区域性的突出环境问题,以科技为支撑,这样产业才有生命力,也才能解决产业发展和资源环境冲突的矛盾。未来生态循环农业应更多依靠科技进步,研发资源节约型农业生产新技术、新产品,推广利用节肥、节药、节水、节地、节能等节约型农业技术,不断提高资源利用效率和改善生态环境。

#### 4. 中国生态循环农业研究展望

我国农业资源底数不清,尤其是耕地质量与农田污染、畜禽粪便污染、秸秆资源化利用、地膜白色污染等领域研究进展慢,农业环境有机污染防治刚刚起步,区域性农业面源污染防治缺乏有针对性的技术措施,农业资源环境保护技术研究亟待强化。同时,农业资源市场化配置机制尚未建立,激励机制不完善,种养业发展不协调,农业废弃物资源化程度低;农业生态补偿机制尚不健全,农业污染责任主体不明确,监管机制缺失,污染成本过低;全面反映经济社会价值的农业资源定价机制、利益补偿机制和奖惩机制的缺失和不健全,生态循环农业发展制度体系亟待健全。

##### 1) 生态循环农业发展的技术研发

###### (1) 农业资源高效利用

首先,种养业节水节料技术需要提升。主要研发作物节水生理调控技术、新型集雨设施设备及高效利用技术、水肥一体化技术与关键设备、测墒灌溉技术及设备、分区域规模化高效节水灌溉及农业水管理决策技术等。其次,肥料减施增效技术需要完善。重点研发水溶肥、液体肥、生物肥、高效缓(控)释肥、同步营养肥等新型肥料,达到肥料减施增效的目标。最后,农业废弃物循环利用技术需要创新。研发有机肥、粪肥、沼肥高效利用技术与关键设备,提升放牧家畜营养改进、草原健康与人工草地建设、草原恢复生态与放牧利用技术,农牧区资源共济动植物高效生产技术等。

###### (2) 农业生态环境

首先,加强污染农田生态修复与安全生产技术研发。研发高效、低毒、低残留农药、生物农药和先进施药机械化技术。其次,提升面源污染控制技术,包括农作物秸秆高效资源化利用技术,废旧地膜机械化捡拾和回收利用以及可降解地膜技术,畜禽粪便与病死畜禽收集处理与利用的机械化、减量化、无害化、资源化处理技术。最后,要改善宜居乡村环境综合治理技术,包括农村环境综合整治和农田生态景观构建技术。

###### (3) 农作物耕作栽培管理

首先,要优化种植制度与结构模式。开展主要农作物优质高产品种配套栽培技术,农作物光、热、水、养分等资源优化配置与绿色高产高效种植模式,“间套作”与“轮作休耕”等养地型生态种植模式与技术、粮饲兼顾型种植模式与耕作技术。其次,完善作物可持续高产高效耕作栽培理论。农作物生长监测与精确栽培技术,主产区土壤培肥与耕作技术,农作物灾变过程及其减损增效调控技术,周年均衡增产技术,节本环保丰产技术等研究及相应产

品研制。最后,提升集约化、精准化、轻简化生产管理技术。加快适应机械化、信息化生产管理的高产、高效、可持续的作物耕作栽培技术体系构建。

#### (4) 畜禽水产养殖

首先,发展规模化健康养殖技术。研发畜禽与水产健康养殖模式、新型加工工艺及其成套养殖装备。其次,提升新型饲料与制备技术。研制高效安全环保饲料和饲料添加剂,完善饲料、兽药质量安全监管体系。最后,提升养殖智能化管理技术。开发高效局部环境精准调控、空气(水体)质量调控与污染物减排、场区环境净化、生理与环境信息智能采集、工程防疫、病死畜禽水产无害化处理、粪便资源化利用等关键技术的工程装备及其智能化产品。

### 2) 生态循环农业发展的制度创新

#### (1) 法律规程与标准规范建设

首先,要健全生态循环农业的法律体系。制订完善农药、肥料、饲料、兽药等农业投入品管理和废弃物处理的法律法规,增强其可操作性;完善中华人民共和国循环经济促进法、秸秆禁烧和综合利用管理办法、畜禽养殖污染防治管理办法等。推进生态循环农业技术标准、规程等建设。其次,要推进生态循环农业技术标准、规程等建设。加快制订种植业、畜禽养殖业、水产养殖业污染物排放控制标准,对现有的生态循环农业成熟技术进行标准化、规范化,扩大推广应用规模和范围。

#### (2) 补偿机制创新

一要建立终端产品补贴制度。加大对秸秆还田、高效低毒低残留农药、现代施药机械、绿色防控产品、增施有机肥和高标准农膜使用补贴力度;围绕资源保护、生态治理、可持续发展的目标,完善现行的补贴制度,实现终端产品补贴制度。改项目制为普惠制,过程管理为效果评价。二要建立政府推动、市场主导、多方参与的产业化发展机制。加大投入,完善财政调节手段,鼓励金融机构对农林循环经济重点项目和示范工程给予多元化信贷支持,拓宽抵押担保范围,创新融资方式,加大对农业污染第三方治理机构的扶持力度,引入PPP模式。

#### (3) 监管管理探索

其一,落实管护责任。建立农业循环经济工作责任制,明确任务分工,将生态循环农业基础设施管护责任落实到经营主体,督促和指导经营主体加强设施管护,为生态循环农业发展提供保障。其二,强化监督考核。建立农业循环经济评价指标体系和评价考核制度,对生态循环农业工作进行评价考核,评价考核结果与扶持政策相挂钩,要切实抓好生态循环农业的监督检查,将相关工作作为地方政府绩效考评的重要内容,并建立绩效考核和责任追究制度,推动农业循环经济规范化、标准化发展。

“绿水青山就是金山银山”这是我国生态循环农业发展的最终目标。然而对于经营者来说,如果把这个“绿山青山”变成自己的“金山银山”,即把环境效益变成经济效益则要从制度、机制和技术创新等方面加强探索。未来,生态循环农业的主要发展方向应是运用清洁化、绿色化理念推动农业产业链条的延伸,依靠新的农业技术革命、新的生态循环农业发展制度体系,解决当前现代农业发展进程中所面临的资源环境问题,推进农业的绿色生态化,致力使农业成为生产效益型的集约农业、资源节约型的生态循环农业、环境友好型的生态农业和食品安全型的绿色农业。

## 参考文献:

- 1 曹凑贵, 江洋, 汪金平, 袁鹏丽, 陈松文, 2017:《稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略》,《中国生态农业学报》,第09期,第1245-1253页。
- 2 段娜, 林聪, 刘晓东, 闻世常, 张晓军, 2015:《以沼气为纽带的生态村循环系统能值分析》,《农业工程学报》,第S1期,第261-268页。
- 3 高旺盛, 2010:《坚持走中国特色的循环农业科技创新之路》,《农业现代化研究》,第02期,第129-133页。
- 4 高旺盛, 陈源泉, 梁龙, 2007:《论发展循环农业的基本原理与技术体系》,《农业现代化研究》,第06期,第731-734页。
- 5 何琼, 杨敏丽, 2017:《基于国外循环农业理念对发展中国特色生态农业经济的启示》,《世界农业》,第02期,第21-25页。
- 6 胡亮亮, 唐建军, 张剑, 任伟征, 郭梁, Matthias Halwart, 李可心, 朱泽闻, 钱银龙, 吴敏芳, 陈欣, 2015:《稻-鱼系统的发展与未来思考》,《中国生态农业学报》,第03期,第268-275页。
- 7 刘金泉, 1990:《保农促工 兴工富县 聚财建农——良性循环经济发展战略初探》,《国土与自然资源研究》,第01期,第17-19页。
- 8 吕娜, 朱立志, 2018:《生态循环农业的发展模式及利益联结研究——基于河南省漯河市案例分析》,《中国农业资源与区划》,第04期,第83-89页。
- 9 孙波, 梁音, 徐仁扣, 彭新华, 王兴祥, 周静, 李忠佩, 赵学强, 2018:《红壤退化与修复长期研究促进东南丘陵区生态循环农业发展》,《中国科学院院刊》,第07期,第746-757页。
- 10 王晓荣, 郭文娟, 张琪, 2009:《陕北农户“四位一体”生态农业循环经济模式实例分析》,《水土保持通报》,第03期,第37-39页。
- 11 翁伯琦, 王义祥, 王煌平, 罗涛, 廖剑华, 林代炎, 2017:《福建省农业废弃物多级循环模式优化与集成应用研究进展》,《中国农业科技导报》,第12期,第91-103页。
- 12 徐文辉, 赵维娅, 2010:《浙江新农村庭院经济发展模式和树种选择》,《江苏农业科学》,第01期,第388-390页。
- 13 尹昌斌, 周颖, 2008:《循环农业发展的基本理论及展望》,《中国生态农业学报》,第06期,第1552-1556页。
- 14 尹昌斌, 周颖, 刘利花, 2013:《我国循环农业发展理论与实践》,《中国生态农业学报》,第01期,第47-53页。
- 15 张建, 2009:《农业循环经济理论的探讨》,《贵州农业科学》,第02期,第141-144页。
- 16 赵立欣, 孟海波, 沈玉君, 丁京涛, 张曦, 2017:《中国北方平原地区种养循环农业现状调研与发展分析》,《农业工程学报》,第18期,第1-10页。
- 17 Bongiovanni R., Lowenberg-Deboer J., 2004, "Precision agriculture and sustainability.", *Precision Agriculture*, Vol. 5, No. 4, PP 359-387.
- 18 Fishelson G., 1994, "The allocation and marginal value product of water in Israeli agriculture.", In: Isaac J., Shuval H. eds. PP 427-440.

- 19 King, F. H. (1911). *Farmers of forty centuries; or, permanent agriculture in China, Korea and Japan*. Harcourt.
- 20 Smith, A. (2006). Green niches in sustainable development: the case of organic food in the United Kingdom. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 24(3), 439-458.
- 21 Xuan, L. I., Baotong, D. E. N. G., & Hua, Y. E. (2011). The research based on the 3-R principle of agro-circular economy model-the Erhai lake basin as an example. *Energy Procedia*, 5, 1399-1404.
- 22 Zanden, J. V. (1991). The first green revolution: the growth of production and productivity in European agriculture, 1870 - 1914. *The Economic History Review*, 44(2), 215-239.

## 北京生态农场生产行为分析

李宁辉、李丽原、杨东群

中国农业科学院农业经济与发展研究所

### 1. 生态农业发展历程

随着经济的发展和居民生活质量的提高,人们对高品质、安全、营养的食物需求也在不断提高。而这些高品质、安全、营养食物的生产离不开良好的农业生态环境。因应这种社会需求,生态农业生产这一新的生产形态逐渐出现并不断发展壮大。

生态农业这一概念是 1971 年由美国密苏里大学土壤学家威廉根据从土壤学视角提出的,他认为经过土壤腐殖质,创建优秀的土壤条件,才会有康健的作物,小量的对作物施化肥,可能对作物营养有一定作用,不会导致环境的污染状况,但是不要使用化学农药,因为农药唯有达到特定的剂量浓度才能杀死标的生物,而这样会使它已对环境形成污染。1976 年,英国苏塞克斯大学农学家沃辛顿曾亲身投入到对欧洲有机农场的实践调查和测试。在 1981 年提出了对生态农业新的见解,她的观点是“生态农业是生态上可以自我维护,在经济上有生命力,在环境等很多方面不会孕育大的、久远的和不可接受的转变的袖珍型农业系统,选用的具体措施提倡尽量利用有机质肥料,在天然的情况下种植、养殖,并尽可能选取多种可再生资源的外部低输入,但并不拒绝使用农业机械。”

在 1970-80 年代开始,全世界大部分国家的研究者都对生态农业进行了探索和实践,从而使得生态农业获得了普遍认可。有一部分研究者提出:不管是美国的生态农业、有机农业,欧洲的生物农业、生物动力农业、低投入农业等,还是日本的天然农业都在特征上和实践上没有本质的不同,都可以叫做生态农业。

1980 年代初期生态农业的思想传入中国,并很快就被学术界关注,同时还展开了普遍的理论钻研和实践活动,形成了拥有中国特点的生态农业体制,推动了中国生态农业的成长。相关研究内容主要集中在对生态农业的态度和观念、发展模式与技术两个方面。

第一,生态农业的认知。绝大多数学者赞同和倡导在中国发展生态农业,认为生态农业可以促进中国的农业现代化建设、推进农业的可持续发展,生态农业可以治理土地荒漠化,有助于治理贫困、保障食品的安全性、合理使用自然资。

第二,生态农业模式与技术。探索实践了十大典型模式和配套技术,即:(1)北方“四位一体”生态模式及配套技术;(2)南方“猪—沼—果”生态模式及配套技术;(3)平原农林牧复合生态模式及配套技术;(4)草地生态恢复与持续利用生态模式及配套技术;(5)生态种植模式及配套技术;(6)生态畜牧业生产模式及配套技术;(7)生态渔业模式及配套技术;(8)丘陵山区小流域综合治理模式及配套技术;(9)设施生态农业模式及配套技术;(10)观光生态农业模式及配套技术。

## 2. 生态农场模式

1960 年代以来,英国、美国、日本、菲律宾和印度等国相继建立了一些典型的生态农场,取得了很好的综合效益。中国从 1970 年代开始研究并建立了几个不同类型的、试验性的生态农场。如中国广东珠江三角洲的桑基鱼塘、蔗基鱼塘、果基鱼塘等,这些农场可以说是在长期的农业生产实践中所创造的一种生态农场的雏型,都是根据生态学的理论,充分利用自然条件,在某一特定区域内建立起来的农业生产体系。在这个系统内,因地制宜合理安排农业生产布局和产品结构,投入最少的资源和能源,取得尽可能多的产品,保持生态的相对平衡,实现生产全面协调的发展。

自 1975 年以来中国生态农场的农业生产模式逐渐为国内生产者接受并快速发展起来,目前中国所创建的生态农业模式形成了农业生态系统良好的循环经济模式与格局,主要有:(1)稻鱼共生的生态农业模式,“稻田养鱼鱼养稻,稻谷增产鱼丰收”的稻鱼共生经验已逐渐为各地采用;(2)资源多层次循环利用的生态农业模式,形成秸秆—猪—沼气—田—秸秆的一级和二级生物转化循环利用的格局,其纽带为沼气;(3)以水产养殖业为主的生态农业工程,多半在水网地带、低洼地带、及沿海滩涂地带,实行立体养殖,通过食物链形成作物—家禽—沼气—鱼的循环网络;(4)农、牧、渔全面发展的生态农业模式,以种植水稻为主,以保护和改善生态的动态平衡为主导思想,以无污染和低污染的再生资源的获取和综合利用为主,发展农、林、牧副渔业和加工业,以求得最优的经济效益,同时达到保护和改善生态环境的目的。

## 3. 北京生态农场发展状况及存在的问题

由于市场条件优势,北京的生态农业发展处于中国前列。这些农场吸收了北京传统农业精华,结合现代科学技术,以多种生态模式、生态工程和丰富多彩的技术类型装备农业生产,取得了令人瞩目的成效。

为了更深入了解北京生态农业发展状况,2014 年 12 月至 2015 年 1 月我们对北京市 14 家生态农场进行了访问调查。这 14 家生态农场是:爱丰收家庭农场、分享收获农场、凤凰公社农场、平人农场、悟博苑农场、想田公司(农场)、北京永顺华蔬菜种植有限公司、美田阳光农场、诺亚农庄、三分地有机农场、德润屋生态农场、北菜园农产品产销专业合作社、沱沱公社有机农场、小毛驴市民农园。

调查内容包括公司基本情况、生产、销售、市场等方面的信息:公司创立人信息;公司成立时间;公司成立背景、历程;是否获得过财政或者基金等支持;公司职工人数、职工招聘来源;经营管理层有无农业专业人员、由谁来决定种植计划、由谁来实施种植计划;公司职工是否参加种植或养殖、种植或养殖工作外包雇佣情况、配送环节情况;目前种植面积及土地来源;客户数量及变化;客户主体分布;销售方式及所占份额;配送方式;支付方式;销售价格及有无季节变动;主要种植蔬菜品种及种植方式;最受欢迎的蔬菜品种;蔬菜商品率;有无蔬菜之外的产品;有机肥料使用情况;人畜粪尿的使用量(种类)以及来源、是否经过堆肥;是否购买有机肥料、厂家及品牌;使用有机肥料时遵循的原则、注意事项;哪些病虫害最为严重、采取了哪些措施;哪种杂草的危害最大、采取了哪些措施;目前面临的重大难题;是否定期以其他形式与消费者见面或沟通;如何做到信息传递;通过什么途径掌握消费者的需求;因为天气、病虫害等原因不能按计划提供蔬菜时怎么办、对客户是如何应对的、会否考虑从别处购买;展

望未来 5 年，经营规模会扩大还是缩小；是否进行了认证（无公害、绿色、有机）；今后的发展规划；是否知道其他农产品配送公司、相同点与不同点。

在这些生态农场中，悟博苑农场、德润屋生态农场成立于 2004 年，想田公司（农场）成立于 2006 年，凤凰公社农场、沱沱公社有机农场、小毛驴市民农园成立于 2008 年，平人农场、诺亚农庄成立于 2010 年，爱丰收家庭农场、北京永顺华蔬菜种植有限公司、美田阳光农场、三分地有机农场、北菜园农产品产销专业合作社成立于 2011 年，分享收获农场成立于 2012 年。

这些农场在成立及生产工生产经营中，有两家没有获得过财政或者基金等支持，即爱丰收家庭农场、悟博苑农场，其余都不同程度地得到过财政或者基金等支持，如农机补贴、购买有机肥的补贴、减免税政策、项目支持、大棚补贴等。土地来源均为从村集体租赁，或村担保从农户租赁。14 个农场土地面积平均 330 亩，但相差很大，最大的诺亚农庄有 1500 亩，最小的德润屋生态农场只有 12 亩。农场员工平均 70 人，但差异很大，最多的北京永顺华蔬菜种植有限公司有 300 人，最少的爱丰收家庭农场只有 2 人。为了控制人工成本，所有农场都采用临时雇工或季节性雇工。财政或者基金等支持与农场经营规模呈现出正相关性，规模越大的农场，获得的支持力度越大，获得的支持范围也越广，这也反映出政府或社会支持农场做大做强的倾向性。

这些农场的农业生产基本上都是以种植有机蔬菜为主，兼营养殖。生产中使用的肥料均为有机肥、堆肥等。对病虫害的防治主要是用杀虫灯、黄板、防虫网、生物制剂等。地里杂草都使用人工除草。显然，这些生产管理措施是任何生态农场都必须采取的。

14 个农场中，有 7 个没有对产品进行认证（无公害、绿色、有机），原因主要是费用或者可信度。这 7 个农场是：爱丰收家庭农场、分享收获农场、平人农场、悟博苑农场、美田阳光农场、德润屋生态农场、小毛驴市民农园，其中悟博苑农场坚持做 CSA 及 PGS 认证。在其余 7 个有认证的农场中，凤凰公社农场有德米特认证与欧盟认证，想田公司（农场）有无公害认证，北京永顺华蔬菜种植有限公司有机、绿色和无公害认证都有，诺亚农庄有几十个蔬菜品种的有机认证，三分地有机农场做了有机认证、但没有进行绿色和无公害认证，北菜园农产品产销专业合作社全部品种有有机认证，沱沱公社有机农场已做有机认证。调查数据表明，没有认证的农场基本上都是经营规模较小的农场，由于认证成本高，只有规模和的效益达到一定程度的农场，才会进行产品认证，以获得更好的市场认可。

展望未来 5 年经营规模会扩大还是缩小，有 7 个农场表示将维持现有规模，并且将充分开发农场、精细化农业发展、提高效率。这 7 个农场是：爱丰收家庭农场、平人农场、悟博苑农场、美田阳光农场、诺亚农庄、德润屋生态农场、小毛驴市民农园。其余 7 个农场表示将扩大经营规模，主要原因是：有客户需求、大力推广生物动力农业等。因此，生态农场的生存与发展依赖于农场所能实现的生产能力与市场条件。

对于农场对于今后的发展规划，主要体现在：将农场做大做强、生产的精细化、园区美化、踏实做好生态循环农业等。

但是，北京生态农场目前的发展现状也揭示出一个普遍性的问题，就是农场规模普遍较小。爱丰收家庭农场平常只有 2 个固定雇工、1 个临时雇工。凤凰公社农场人员 22 人。人员 22 人。平人农场 20 人，其中兼职 2 人。悟博苑农场以家庭劳动力为主，临时雇佣农村劳动力约 8 人。三分地有机农场职工人数十几人，长期工人 10 人，临时雇工 20-30 人。德润屋生态农场职工人数 12 人。沱沱公社有机农场农场正式职工人数 18 名，大棚合同工 60 名，季节工 40 名左

右。规模最大的是北京永顺华蔬菜种植有限公司人数最多，员工 300 多人，其中高级农艺师 2 人，中级农艺师 5 人，技术工人 68 人。

经营规模小带来的问题主要体现在以下几个方面。

一是生产管理方式和经营理念落后。这些小规模经营的农场建立时都具有一定的家庭作坊式生产性质，生产的产品主要是用于供给自家消费、或亲戚朋友、熟人购买，不具有现代生态农场应该具有的管理方式与经营理念。

二是没有中长期经营发展规划。由于经营规模小，市场竞争能力弱，这些小规模农场对未来的发展基本上只能是顺其自然，以生存为主。

三是科技实力弱，缺乏科技人员，没有发展后劲，从而影响生态农场做强做大。

四是没有能力支付产品认证，影响产品市场竞争力。

随着居民生活质量的提高，生态食品的市场需求将会越来越大。无公害蔬菜、无污染水果、绿色食品已显示它潜在的市场，生态农业的经济价值将大幅度提高。但目前中国生态农业的发展状况离市场需求还存在着不相适应的脱节。为此，必须牢牢抓住生态农业发展的关键所在，即生产管理方式、经营理念等方面必须很好地契合市场需求和发展规律、社会发展对生态环境的要求，发现问题并解决这些问题，努力建设好生态农场，以促进生态农业的快速发展。

附表、被调查农场基本情况

公司名称	地点	公司成立时间	是否获得过财政或者基金等支持	公司职工人数、职工招聘来源、其中，各部门职能以及职工人数	目前种植面积及土地来源	是否进行了认证（无公害、绿色、有机）	今后的发展规划
爱丰收家庭农场	顺义区	2011年	无	固定雇工2、临时雇工1，都来自附近村。春秋农忙时增加2人、20多天左右的。	村集体农地17亩。	否	增加农场超市，出售其他农场的产品。改善农场住宿条件。
分享收获农场	顺义区	2012年	肥料有政府补贴，购买有机肥的补贴。	人数20名，志愿者2名。每年约有30-40名志愿者。1位种植负责人，1位养殖负责人，此外还有客服人员、食育推广、营销广告等。	顺义基地种植面积40亩，其中大棚26个（6分地/个），目前有24个大棚用于种菜（3个种蘑菇），养猪16头、养柴鸡和乌鸡（林地100亩）。通州基地50亩露地。通州基地养殖30多头猪。	否，有财政支持的话可以考虑认证。	做大做强。
凤凰公社农场	海淀区	2008年	在举办生物动力农业培训课程过程中申请过相关基金资助学生。	人数22人。农耕部10人，主要是年龄较大的、有种植经验的外地农民。食育部5人，前台1人、客房1人，销售部2人，接待部1人，技术部2人（生物动力农业1人、农产品加工1人）。	30亩农地，全部为露地。大棚1个，用于果树育苗。果园38亩。	德米特认证与欧盟认证。	今后有为期2年的“凤凰耕读书院”计划，将生物动力农业与齐民要术、黄帝内经等相结合。培训对象是返乡青年、新农人。
平人农场	昌平区	2010年	政府的草莓补贴3万/50米。	20人，其中兼职2人。	租赁47亩农地，地租1500元/亩。暖棚6个，冷棚4个。	否。费用和可信度的原因。	生产的精细化、园区的美化。考虑增加菜地认领

悟博苑农场	顺义区	2004年	无	以家庭劳动力为主的经营模式，临时雇佣农村劳动力，约8人。	租赁顺义当地村集体土地。60%为露地，20%为冷棚，种植与养殖相结合。	否，坚持做CSA及PGS认证。	完成农业的技术，踏实做好生态循环农业，适当做初级加工。
想田公司（农场）	延庆县	2006年	农机补贴，免税政策，有一些奶牛项目做试点。	人数70多名。管理层10多人。生产（蔬菜种植10人、奶牛养殖3人）、配送、客服3个部门。配送部6个司机、1个主管。	村里做担保，跟农户签订农地租赁合同，750元/亩，期限17年。农地分为2部分（露地20亩和绿福隆的3个大棚，每个大棚有3亩地面积），2013年有一部分露地（大约10亩）已被农业局收回退耕还林。	无公害认证。	
北京永顺华蔬菜种植有限公司	朝阳区	2011年	植保站提供黄板、篮板、矿物油、苦参菊酯等，得到过各级政府项目支持的粉碎机、臭氧机（秸秆发酵回田）等。	员工300多人，其中高级农艺师2人，中级农艺师5人，技术人员68人。	总部基地种植面积268亩，暖棚26栋，20米的连栋日光温室两栋，冷棚10栋。	有机、绿色和无公害认证都做了。	来会考虑配送等其他销售方式。
美田阳光农场	顺义区	2011年	卷帘机，开风口机器，农用微型机械（耕地机）等得到50%—70%的补贴。冷库补贴。温室补贴，一次性补贴6万/棚。	长期雇工15位（90元/天），耕种季节再增加20人左右的临时工1-2个月（100元左右）。其他季节临时工十几人左右。	从村里集体用地和村民个人用地承包。承包面积120亩，其中露地有80亩，21个温室大棚（600平米/棚），冷棚6个（600平米/棚）。	没有认证，也不考虑，除非费用免费。	今年不侧重宣传，在此基础上重视维护客户，提高服务等。

诺亚农庄	平谷区	2010年	没有专门准备对有机种植的补贴，得到过针对北京市一般蔬菜种植的支持政策，例如大棚补贴等。	公司职员250人，管理层位农业专业的大学生和山东籍的技术人员，工人都是本地的农民。	土地面积共1500亩，分3块地，种植面积700亩，有机认证的种植面积300亩，土地来源都是流转的。有机认证的露地面积100亩，大棚200个。	已经做过几十个蔬菜品种的有机认证。	稳定产能，增加销售。会对会员集中的地区、小区重点发展会员。
三分地有机农场	顺义区	2011年	获得过国家对大棚的补贴。此外还有对土地、农机、农资补贴等。	职工人数十几人，生产主管1人，小组长2人，长期工人10人，临时雇工20-30人。养殖部1人，销售部2人（包括客服）。配送车2辆（其中1个是冷藏式）、师傅2人。包装部门2-4人。	2013年年底开始租用北务镇的160亩农地（租期30年、租金50-60万/年）。24个大棚，每个大棚建筑面积1.5亩，种植面积1.2亩。露地20多亩。目前使用当中的有5个蔬菜大棚、3个草莓棚。	做了有机认证。没有进行绿色和无公害认证。	目前有闲置的大棚，今后考虑销售模式的改进，例如配送量、配送时间等调整。
德润屋生态农场	昌平区	2004年	曾经接受香港社区伙伴实习项目支持。	公司职工人数12、职工招聘来源北京当地、其中，各部门职能以及职工人数管理1客服2，种植6，包装1，送货2。	约12亩，从当地农户手中租赁29年。其中，露地面积及用途7亩。	没有。	顺其自然。
北菜园农产品产销专业合作社	延庆县	2011年	各级政府的农业补贴及支持。	120人，其中，销售部包括内勤部5人和办事处（跑业务、销售、客服等）6人。生产部门大约100人，大部分是本地村民。	总面积400-500亩，300多个大棚，一个大棚6分地，棚间隔4分。有暖棚、春秋棚等。土地来源于小丰营村的流转土地。	全部品种有机认证。	

沱沱公社有机农场	平谷区	2008年	蔬菜大棚支持补贴以及当地政府的支持，平谷区支持了信息终端显示器、可以直接联网到区里。	农场正式职工人数18名，大棚合同工60名，季节工40名左右。分为生产技术部、后勤部和销售部。其中技术主管1名，技术员3名。雇工人员中本地与外地雇工比例为1:2。	总面积1050亩，其中，设施面积300多亩，露地700亩。春秋棚32个，每个棚面积2.5亩。砖制日光棚62个，每个面积0.6亩。传统土棚30个，每个面积1.2亩。露地除了蔬菜（200亩）之外，还种一些杂粮和花生等。养殖面积60亩左右。	已做有机认证。	做生鲜行业的领军企业，今后发展联合农场的可能性很大。致力于规范化建设。
小毛驴市民农园	海淀区	2008年	当初是在海淀区政府支持下成立的，包括资金支持 and 土地支持（3年免地租）。	目前员工人数，大田耕种员工20人（长期固定，本地村民，年龄40-60多，女性偏多）；办公室30-35人，其中包括推广部5人（制作明信片等宣传材料，捏面人作品）；会员部5人（负责租地业务和配送业务）；种植部技术人员2人；财务2人。后勤部4人；厨房4人；养殖部门5人。此外分场柳林村还有5人。	小毛驴在后沙涧村的面积230亩，除了20个低层小冷棚（3分地）之外都是露地（80亩）。在距离5-6公里的柳林村还有租地150亩（实际种植面积70亩），6个大棚（都是暖棚，1亩地/棚，4个在用）。	没有认证。	注重教育、扩大影响。

## 基于与 JIRCAS 合作研究的中国食物安全和气候变化展望

陈永福\* · 韩昕儒\*\* · 钱小平\*\*\*

\*中国农业大学经管学院 \*\*中国农业科学院农经所 \*\*\*国际农林水产业研究中心

### 1. 与 JIRCAS 的中日合作研究回顾与成果介绍

日本国际农林水产业中心(JIRCAS),这个名字是从我日本导师中川先生哪里首次听到的,当时正准备做中国粮食安全方面的论文,中川先生说:“你去 JIRCAS 去学学他们的模型吧”。在中川先生介绍下,在 JIRCAS 学习了约一周时间,当时大贺先生比较忙,主要是跟随小山先生学习,也结识了钱老师和中本先生等很多 JIRCAS 的研究人员。这次学习受益匪浅,对作者构建中国食物供求模型奠定了坚实的基础。

回国后,在小山先生和钱老师的帮助下,到 JIRCAS 与古家先生进行合作研究。此后,在 JIRCAS 中国项目中参与了与钱老师的合作研究,通过合作指导研究生,合作进一步得到加强,并取得了一定的合作成果。

在粮食安全和气候变化方面,合作出版了两本著作,即《2030 年中国食物供求展望》和《世界大米供求与预测》(图 1)。这两本著作很多地方得益于对于《International Food and Agricultural Policy Simulation Model》和联合国粮农组织的《World Food Model》的学习。



图 1 合作著作

同时还出版了相关论文,如人民币升值对世界大米市场的影响(Chen, Y., Chien, H., Furuya, J., & Koyama, O., 2009)、基于李嘉图模型的气候变化对中国农作物的影响(Chen, Y., Wu, Z., Okamoto, K., Han, X., Ma, G., Chien, H. and Zhao, J., 2013)以及基于中国农村固定观察点数据的农业政策、气候因素和谷物产出(Yong-fu CHEN, Zhi-gang WU, Tie-hui ZHU, Lei YANG, Guo-ying MA, Hsiao-ping Chien, 2013)等。

在与 JIRCAS 的合作研究中, 很重要的是培养了一批研究生, 正是合作研究的支持使得他(她)们能够在大米市场、食物供求、日本农业政策、玉米和饲料粮供求等方面出版了相关论文, 如中国目前饲料粮需求量究竟有多少(韩昕儒, 陈永福, 钱小平, 2014)、中国生猪价格发现形成机制研究(陈永福, 马国英, 吴蓓蓓, 钱小平, 2011)、气候因素、中间投入与玉米单产增长(麻吉亮, 陈永福, 钱小平, 2012)、基于 QUAIDS 方法的中国城镇地区农民工食物消费(Xinru Han, Yongfu Chen, 2016)和中国西部城市不同收入阶层猪肉需求影响因素(Jingjing Wang, Yongfu Chen, Zhihao Zheng, Wei Si, 2014)、中国扩大进口泰国大米的原因分析及展望(陈永福, 罗万纯, 钱小平, 古家淳, 2007)等。

## 2. 最近的合作研究

最近与 JIRCAS 的合作研究主要是参与了钱老师的中国项目部分, 主要集中于食物安全问题和日本农业政策对中国的启示方面的研究。

在著作方面,《2030 年中国食物供求展望》一书可以说是与 JIRCAS 合作研究成果的体现, 同时也是共同构建的中国食物供求模型(China Food Demand and Supply Simulation Model, 简称 CAU-JIRCAS CFDSSM)的体系性成果, 也集成了河北玉米供求模型(Hebei's Maize Demand and Supply Simulation Model, 简称 CAU-JIRCAS HMDSSM)的研究内容。下面对该书中, 基于上述模型的模拟结果进行简要说明, 详细结果内容请参照该书相关内容。

从基于中国食物供求模型(CAU-JIRCAS CFDSSM)的 2030 年中国食物供求预测结果来看, 预测基期为 2010 年, 预测范围为 2011-2030 年, 预测品种为谷物(包括大米、小麦、玉米和其他谷物)、油料及制品(大豆纳入油料范畴)以及畜产品(包括猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、禽蛋、奶制品)和水产品。

(1) 2030 年中国谷物将呈现供不应求的局面, 供求缺口为 0.66-1.99 亿吨之间, 中位方案预计结果为 1.28 亿吨, 自给率将下降至 80.5%。其中, 玉米是最主要的谷物净进口来源, 2030 年预计达到 0.72-1.60 亿吨, 中位方案预计为 1.12 亿吨, 自给率将下降至 67.7%。从谷物的需求结构来看, 食用需求在总需求中所占比重大幅降低, 而工业需求所占比重大幅增加。

(2) 如果将玉米的工业加工需求限制在产量的 30%以下, 2030 年中国谷物将处于净进口 2128.2 万吨至净出口 2542.6 万吨的范围内, 中位方案预计为净出口 269.8 万吨, 可以实现自给自足。其中, 玉米将变为净出口的状态, 中位方案下净出口量为 1838.2 万吨。

(3) 油料作物和植物油的供求缺口将进一步扩大, 而粕类产量则完全可以满足国内需求。中国油料作物的净进口量将在 2030 年达到 6605.7-9374.1 万吨之间, 中位方案预计为 8423.9 万吨; 植物油的供求缺口为 888.1-1073.6 万吨之间, 中位方案下的缺口预计为 1010.1 万吨; 粕类预计可以净出口 452.8-2039.1 万吨, 中位方案预计 1496.0 万吨。

(4) 2030 年畜产品和水产品产量基本满足国内需求, 贸易量的范围为净出口 611.1 万吨至净进口 1698.6 万吨之间, 中位方案预计为净进口 893.4 万吨。其中, 牛肉和禽肉在各种增长方案下均存在供求缺口。需进一步说明的是, 当畜产品和水产品达到高位方案的净进口时, 鉴于进口产品对国内饲料粮的节约, 则玉米净进口可能会小于 1 亿吨。这也表明未来畜产品与饲料粮之间的进口替代存在着不确定性, 这取决于未来政策制定者的食物安全战略抉择。

从以上结论可以看出, 不同的经济增长水平、不同的产业发展政策以及其他因素均会使玉米的供求形势发生较大变化, 在大豆进口已经接近 1 亿吨的背景下, 未来玉米供求变动存在着巨大的不确定性和严峻的挑战, 这进一步表明未来中国玉米供求问题仍将是食物安全乃

至世界食物安全问题的重中之重。

基于 CAU-JIRCAS HMDSSM 的模型结果显示, 2030 年河北玉米的供求平衡预计在净调出 994.0 万吨至净调入 2846.0 万吨之间变动。首先, 在不考虑地下水和气候因素对单产影响下, 2030 年, 河北玉米产量将达到 3129.7 万吨, 若不限制玉米工业需求, 2030 年, 河北玉米需求量将达到 3252.2-4080.7 万吨, 其中中位经济增长方案下需求量为 3633.6 万吨; 每年需从其他省份净调入玉米 122.5-950.9 万吨, 其中中位经济增长方案下净调入量为 503.9 万吨。若限制玉米工业加工, 2030 年河北将可净调出玉米 978.3-994.0 万吨。其次, 如果仅考虑气候和环境因素对单产影响, 2030 年河北玉米在各种子方案中均呈供不应求的态势, 需要从其他地方调入玉米, 净调入量在 161.9-2846.0 万吨之间。可见, 在工业化和城市化进程中, 农业产业尤其是和工业、能源密切相关的玉米产业正在经历前所未有的结构性变化。同时, 粮食主产区的粮食生产将越来越受制于其水资源和土地资源的压力。因此, 政府有必要及时调整相关产业规划, 未雨绸缪, 做好政策引导, 从而确保粮食及食物安全。

综合以上两部分的分析, 本书的总体政策建议是有必要把确保中国食物安全的战略和策略两个方面与食物供应通道相结合, 打造高效的食物安全体系。即:

从确保中国食物安全的战略出发, 既要重视和支持国内农业生产, 也要加大对国际食物市场及定价机制的关注, 以集合国内骨干研究部门和政府部门力量为主, 借助国际机构力量为辅, 建立有效的国际食物供应预警机制和应急处置信息中心; 通过把握国际食物市场运作机制和操作方式, 有效利用国际物流网络, 把物流、能源和食物战略与国家安全有机融为一体, 建立长期有效的国家安全体系。

从确保食物安全的策略出发, 首先, 中国农业需要“走出去”, 与资源禀赋较多的国家开展农业合作实现“共赢”。其重点应落在农业技术推广和基础设施建设投资的同时, 侧重于现有贸易物流集聚地区, 这不仅可以确保国际食物市场的稳定并开发可持续供应的粮源, 也可以确保食物运输效率和安全。其次, 面对不断增加的畜产品需求, 应该确保国内的畜产品生产链, 进口饲料粮保证国内畜产品产业持续发展, 保护农民利益和国家战略安全。

需要附加说明的是, 上述模拟结果, 只不过是根据过去发生的状况进行情景设计的结果, 其最主要的作用是进行预警。

在论文方面, 合作出版了气候变化对河北玉米影响的评价 (An assessment of climate change impacts on maize yields in Hebei Province of China)。该实证结果表明, 气温对河北玉米有显著负面影响, 降水会有正面影响; 位于纬度低于 39.832 度和经度高于 114.839 度的村庄所受气候温暖化的负面影响相对较大。2050 年的模拟结果显示, 与基期相比, 河北玉米单产会面临减产十分之一。因此, 有必要建立以公共综合服务中心为核心的气候适应性战略, 支撑村级层面的作物适应能力。

### 3. 未来的期待-加强合作和交流, 推动中日研究进步

从 1997 年开始, 与 JIRCAS 的合作研究已经达 20 多个年头, 对于未来合作我们有如下的期待:

期待与 JIRCAS 的合作研究将不断加强, 实现双赢。

期待合作集中于食物安全领域, 发展全球食物模型, 模拟营养层面的食物安全。

期待能够在中日农业政策支撑方面加大合作力度。

期待中日合作也更上一层楼。

## 参考文献:

- 1 陈永福, 韩昕儒, 朱铁辉, 钱小平, 蔡鑫, 朱文博. 中国食物供求分析及预测: 基于贸易历史、国际比较和模型模拟分析的视角[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(07): 15-26.
- 2 杨蕾, 钱小平, 陈永福, 武志刚. 河北省玉米供给反应研究——基于 2003~2010 年农户层面的动态面板分析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(07): 78-86.
- 3 蔡鑫, 陈永福, 韩昕儒, 朱铁辉, 钱小平. 日本农业支持政策的最新趋势及启示[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(07): 45-53.
- 4 韩昕儒, 李国景, 钱小平, 陈永福. 中国畜产品供求变动分析及展望[J]. 农业展望, 2015, 11(05): 72-81.
- 5 韩昕儒, 陈永福, 钱小平. 中国目前饲料粮需求量究竟有多少[J]. 农业技术经济, 2014(08): 60-68.
- 6 王晶晶, 钱小平, 陈永福. 我国生猪产业链价格传递的非对称性研究——基于门限误差修正模型的实证分析[J]. 农业技术经济, 2014(02): 85-95.
- 7 麻吉亮, 陈永福, 钱小平. 气候因素、中间投入与玉米单产增长——基于河北农户层面多水平模型的实证分析[J]. 中国农村经济, 2012(11): 11-20.
- 8 朱铁辉, 茹蕾, 陈永福, 马国英, 钱小平. 利用政策性金融贷款实施农业基础设施建设的理论与经验探讨[J]. 财政研究, 2012(04): 56-60.
- 9 陈永福, 马国英, 吴蓓蓓, 钱小平. 中国生猪价格发现形成机制研究——基于区域间价格关系的实证分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3279-3288.
- 10 陈永福, 钱小平. 中国对日食品出口影响因素分析——以日本农药残留检疫制度转变为例[J]. 农业技术经济, 2007(01): 72-79.
- 11 陈永福, 罗万纯, 钱小平, 古家淳. 中国扩大进口泰国大米的原因分析及展望[J]. 农业展望, 2007(01): 24-28.
- 12 陈永福, 钱小平, 罗万纯. 2005~2010 年中国大米供求预测[J]. 新疆农垦经济, 2006(09): 13-19.
- 13 Chen, Y., Chien, H., Furuya, J., & Koyama, O. The Impact of Renminbi Appreciation on the World Rice Market, Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ, 2009 43(4), 329-336.
- 14 Chen, Y., Wu, Z., Okamoto, K., Han, X., Ma, G., Chien, H. and Zhao, J.: The impacts of climate change on crops in China: A Ricardian analysis, Global and planetary change, 104: 61-74, 2013.
- 15 Yong-fu CHEN, Zhi-gang WU, Tie-hui ZHU, Lei YANG, Guo-ying MA, Hsiao-ping Chien, Agricultural Policy, Climate Factors and Grain Output: Evidence From Household Survey Data in Rural China, Journal of Integrative Agriculture, Volume 12, Issue 1, 2013, Pages 169-183
- 16 Xinru Han, Yongfu Chen. Food consumption of outgoing rural migrant workers in urban area of China: A QUAIDS approach. China Agricultural Economic Review, Volume: 8 Issue: 2, 2016
- 17 Jingjing Wang, Yongfu Chen, Zhihao Zheng, Wei Si. Determinants of pork demand

- by income class in urban western China. China Agricultural Economic Review, Volume: 6 Issue: 3, 2014
- 18 Yongfu Chena, Xinru Han, Wei Si, Zhigang Wu, Hsiaoping Chien, Katsuo Okamo. An assessment of climate change impacts on maize yields in Hebei Province of China. Science of The Total Environment. Volumes 581 - 582, 1 March 2017, Pages 507-517.

黑龙江省水稻生产发展问题

矫 江、宋丽娟

黑龙江省农业科学院 信息研究中心

前言

针对全国稻谷产大于销和库存量大新形势，为了减少种植面积，国家已采取降低保护收购价和休耕轮作等措施，这对黑龙江省水稻必然产生较大影响<sup>[1,2]</sup>。水稻是黑龙江省高产稳产和比较效益较好的主粮作物，今后水稻生产如何发展是应探讨的问题。

1. 水稻生产概况

近 30 多年，黑龙江省水稻种植面积呈增长趋势<sup>[3]</sup>。特别是 2004 年国家实施惠农政策以来，连续 10 年快速增长，年均增长 16.2 万 hm<sup>2</sup>，占全国同期水稻种植面积增量的 83.8%，是全国水稻种植面积增长最快的地区(表 1)。黑龙江省也成为国家最重要稻米产区之一。2016 年全省水稻种植面积 320.3 万 hm<sup>2</sup>，占全省农作物播种面积的 25.8%；产量达到 2255.3 万 t，占粮食总产量的 38.2%。水稻是仅次于玉米的第二大作物(图 1)。2017 年播种面积 322.3 万 hm<sup>2</sup>，占全国稻谷播种面积 10.7%；产量 2300.8 万 t，占全国稻谷产量 11.0%。

表 1 黑龙江生水稻增长情况			(万 hm <sup>2</sup> )
项目	黑龙江省	外省合计	全国合计
2004 年	158.8	2679.1	2837.9
2014 年	320.5	2710.5	3031.0
增 量	161.7	31.4	193.1
占比(%)	83.8	16.2	100.0

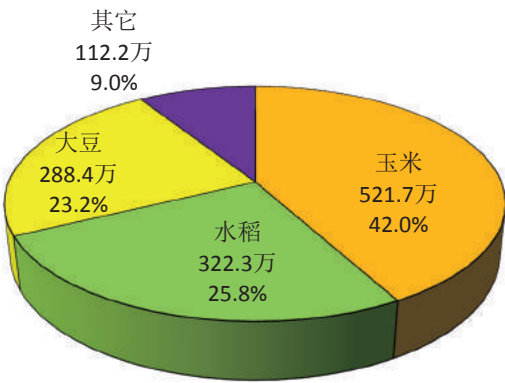


图1 2016年黑龙江省种植结构  
(中国农业统计年鉴)

2. 水稻生产主要特点

与全国其它稻区相比较，黑龙江省户均生产规模较大，机械化生产水平较高，特别是水稻主产区已基本实现生产全程机械化。中国稻谷粳稻多粳稻少，黑龙江省种植的全部是中国乃至世界少有的粳稻。除此之外，还有以下突出特点：

（1）高产稳产。黑龙江省水稻生育期虽较短，但随着种植面积的增加，单产水平也大幅度提升，已成为黑龙江省玉米、水稻和大豆三大作物中，单产水平最高，稳产性最好的作物(图2)。2013-2017 年平均单产为 7036.8 kg/hm<sup>2</sup>，比玉米高 16.0%，是大豆的 3 倍多。比全国同期稻谷平均单产还高 4.4%。水稻高产稳产的原因，主要是发生旱涝灾害少。由此看出若大面积“水改旱”，势必降低全省粮食生产能力和增加发生旱涝灾害的风险性。

（2）商品量大。稻谷的用途主要是加工食用稻米。黑龙江省种植面积虽然排在 31 个省(市区)第三位，但由于单季生产单产较高，产量则排在第二位。黑龙江人口较少，主食特点又是“米面兼食”，本省稻米消费少，稻米商品率超过 80%，商品总量则排在全国第一位，是典型的商品性生产(表 2)。全国商品稻米主要集中在南方稻区和东北稻区，黑龙江稻米商品量占全国商品稻米总量 1/3 左右，是全国最大的商品稻米产地。中国粳稻种植面积每年约占全国约 30%，黑龙江省种植全部是粳稻，商品量超过全国粳稻米商品总量的 2/3，是全国乃至世界最大的粳稻产地。由此可见，黑龙江省水稻生产对确保全国稻米口粮安全，特别是满足粳稻米市场需求发挥着有重要作用。

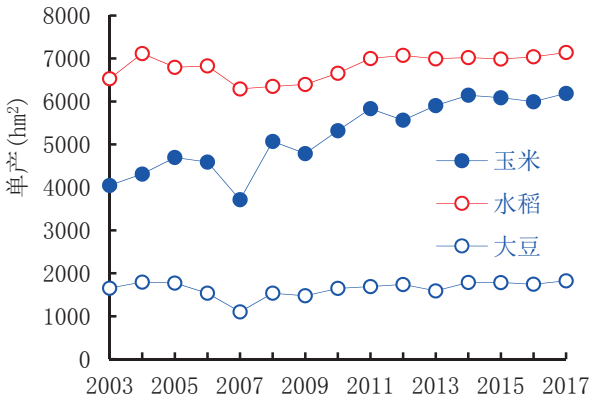


图2 黑龙江省粮食单产  
(中国农业统计年鉴)

表 2 2016 年我国各地稻米商品量分析

位次	面积		稻谷产量		人均稻米		商品稻米	
	地区	万 hm <sup>2</sup>	地区	万 t	地区	kg	地区	万 t
1	湖南	408.6	湖南	2602.3	黑龙江	403.7	黑龙江	1330.6
2	江西	331.6	黑龙江	2255.3	江西	298.0	湖南	811.5
3	黑龙江	320.3	江西	2012.6	湖南	259.4	江西	721.3
4	江苏	229.5	江苏	1931.4	湖北	195.7	湖北	330.8
5	安徽	226.6	湖北	1693.5	江苏	164.2	吉林	305.0
6	湖北	213.1	四川	1558.2	吉林	162.7	江苏	200.2
7	四川	199.0	安徽	1401.8	广西	159.8	辽宁	108.3
8	广西	196.0	广西	1137.3	安徽	153.9	广西	97.7
9	广东	188.9	广东	1087.1	四川	128.2	安徽	89.0
10	云南	113.0	云南	671.9	重庆	113.9	宁夏	15.5

矫江：中国统计资料 2016。商品量按扣除种子和不同地区稻米消费量计算。

（3）产品安全性好。黑龙江省水稻大面积种植历史较短，又多是肥沃的黑土地，化肥用量少。冬季严寒抑制虫卵和病菌越冬，加之作物生育时间短，温度又较低，病虫害种类较少，危害也较轻，化学农药用量显著少。按耕地面积计算，化肥和农药用量分别为全国平均用量的 67%

和 58%，与南方稻区相差较大(表 3)。即使是化学农药，80%以上又是对人危害较轻的除草剂，而对人危害较重的杀虫剂等则很少。黑龙江省人口密度小，特别是农村工业相对滞后，生活垃圾和工业污染很小，稻田灌溉用水清洁安全。其中 70%稻田为可饮用地下水灌溉，更安全可靠。目前争议较大的转基因产品，黑龙江省已出台条例严控管理<sup>[5]</sup>。经国家监测检查，水稻生产中和稻谷中均未发现种植和有转基因产品。这些都是黑龙江省生产绿色和有机稻米的基本保证。

表 3 2016 年粳稻生产资料投入

地区	农药		化肥	
	(元/hm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/hm <sup>2</sup> )	(%)
江苏	1439.3	184.1	546.8	152.7
吉林	393.8	50.4	332.0	92.7
黑龙江	453.6	58.0	239.7	66.9
全国	781.8	100.0	358.1	100.0

注：全国农产品成本收益资料汇编 2017。化肥为纯量，农药为金额，价格假定为统一价。

### 3. 发展对策建议

黑龙江省水稻生产需要插秧机等机械设备，育秧和稻田建设投入成本较大，一般不宜经常期大面积“水改旱”。目前，黑龙江省种植结构调整主要受国家粮食生产政策影响。近期在国家稻谷需要去库存的情况下，从长远发展看，建议国家采取以下对策。

(1) 走计划生产稻谷的道路。稻米是我国最主要口粮作物，确保口粮安全，缺了固然不行，但稻谷其他用途较少，多了国家高价收，建库长期储，形成陈米再降价卖，必然造成巨大浪费。随着肉蛋奶等消费量增加，人均稻米消费量必然呈稳定减少趋势。我国稻谷单产较稳定，只要国家合理规划种植面积，适度存储稻谷，我国就不会出现缺稻米问题。我国应该走根据人口数和人均消费变化，计划种植稻谷和适当存储稻谷的道路<sup>[6]</sup>。近期应重点引导干旱缺水、重金属污染区、望天田低产区和其它劣质区压缩面积。

(2) 严控稻米进口和走私。我国加入世贸，虽然有进口稻米配额，但在国家稻谷产大于销和国家保证收购稻谷的情况下，也应该通过发放指标、严查严管质量等措施严控进口。一般对特色高档米可适当进口，但低价米和走私米，应该彻底杜绝。这不仅是冲击我国稻米市场，还直接影响企业加工和增加我国稻谷存储量。日本严控进口稻米的经验值得我国借鉴。不仅是进口，我国还应给黑龙江省“产地企业直接出口权”，实现特色粳稻优质稻米直接出口，即可提升稻米商品价值，又可实现以出口代替存储目标。

(3) 支持黑龙江省发展水稻。黑龙江省有松花江流域过境水和国际界河水资源有待开发利用，只要建设蓄水和提水工程，还有扩大水稻种植面积的潜力。从水稻高产稳产，以及未来需求特色优质和安全性稻米角度看，国家应支持黑龙江省尽可能扩大水稻种植面积。这对国家提高粮食综合生产能力和确保口粮安全有重要意义。种水稻有利于减少旱涝灾害损失，“种稻治涝”也是黑龙江省粮食生产能力大幅度提高的成功经验。同时对减少水土流失，保护黑土地，也有重要意义。

(4) 建设国家“水旱转换田”。水旱转换田是有灌水条件，确保能种水稻，又可种旱田作物的固定标准化农田。种旱田作物，不能破坏灌水条件，确保下年可以种水稻。由此实现按国

家计划调种植作物的目的。黑龙江省春小麦主要灾害是6月的“掐脖旱”，若能满足灌水，也完全可以实现高产稳产。黑龙江省发展强筋麦等专用麦，对减轻华北冬麦区用水的压力，也有重要意义<sup>[7]</sup>。其它大豆、玉米和蔬菜等旱田作物也可以与水稻轮作生产。应在地势较高，不发生涝害的稻田，规划示范建设水旱转换田。

#### 结语

从气候和耕地条件，以及未来市场需求看，黑龙江省应尽可能发展水稻。但只有在国家采取综合措施，尽快去库存和压缩其它不适宜发展区稻谷产能的情况下，才能实现发展目标。黑龙江省应站在国家未来市场发展需求角度，呼吁国家出台有利政策，积极争取国家相关政策支持，确保实现水稻生产持续发展。

#### 参考文献:

- 1 关于小麦和稻谷最低收购价执行预案的通知[E], 国粮发〔2018〕99号: 2018-05-18.
- 2 关于2018年耕地轮作休耕试点实施方案[E], 黑农委联发〔2018〕53号: 2018-04-13.
- 3 代滢芸. 2017年黑龙江省水稻市场分析[J], 黑龙江粮食, 2018(5):15-18.
- 4 中华人民共和国农业部. 中国农业统计年鉴[S], 北京: 中国农业出版社, 2000-2017.
- 5 关于进一步加强转基因生物安全监管的通知[E], 黑政办规[2018]17号: 2018-03-16.
- 6 矫江. 中国应该计划种植水稻粮食科技与经济[J], 粮食科技与经济, 2004(4):26-27.
- 7 矫江. 关于建设水旱转换田的建议[J], 黑龙江省专家顾问委员会, 决策建议: 2015-04-13

(根据2017年北京学术研讨会多媒体报告, 结合当前新形式整理)

作者简介: 矫江, 男, 1957年1月生, 黑龙江省农科院原总农经师, 研究员, 农学博士。主要从事水稻生产和农业经济研究工作。现为黑龙江省农科院信息中心特聘研究员。

## 论有效利用农牧民的知识与智慧进行农业技术开发的可能性

中本和夫\* 李丽原\*\*

\*国际农林水产业研究中心 \*\*中国农业科学院农业经济与发展研究所

### 1. 在农业实践中有效利用非利害关系者的知识与智慧

在 JIRCAS-CAAS 农业科学技术合作研究的框架下, 本文作者在长达 13 年的时间里参与了关于稻作、畜牧、气候变化、环境问题等 4 项研究, 承担了其中社会学科范畴的研究课题。在此期间获得了以中国农业科学院为首的各高校、各省农业科学院、农业推广中心等机构相关人员的大力支持与协作, 并且在多样化的自然环境条件下与从事农业的农牧民进行了积极的交流。在研究课题的推进过程中关注到农牧民的想法与点子, 并围绕如何将其作用发挥于低成本化技术的开发中这一问题进行了一系列的研究活动。

关于有效利用和发挥生产当中的经验智慧方面的研究, 参与式开发模式一直以来备受关注。参与式开发模式是指请专家(研究人员等)一同参加农村开发的过程中, 创造出集体智慧, 共同解决问题的一种方式。但本文中涉及技术开发的是“非专家”, 技术开发的点子提出的主体是“非利害关系者”。这有别于以往的一些方法。那为什么本文中涉及的是“非专家”、“非利害关系者”呢? 关于这一点, 以“利用动物粪便中的种子改造草地”为例进行说明。在内蒙古自治区的半干旱地区, 利用羊粪的保水性栽培野生葱类的点子就是由黑龙江省的农民(非利害关系者)提出的。

### 2. 利用动物粪便中的草种振兴品牌羊肉产地

关于利用动物粪便中的草种改造草地的方法, 自 Harlan(1956)介绍以来, 展开了广泛的研究。这种将喂食过牧草种子的羊群进行放牧, 通过包含牧草种子的羊粪进行草地改良的技术被认为节省人力而且低成本, 又称之为“sheep method”。但随着研究的推进, 发现这种方法并不一定是省力型和低成本型的技术。这是因为如果粪便中的草种没能经过家畜的踩踏埋入土中就不会发芽、生根, 所以需要提前使用机械翻耕放牧场所。另外, 因为家畜不局限于在需要草种的地方排泄, 所以还需要人手将家畜赶到合适的场所。还有一个问题是喂食的草种在经过牛、山羊、羊等各种家畜的消化器官时有很大一部分会被消化掉。

我们最早在 2008 年通过黑龙江省农科院的研究人员获得了关于动物粪便中草种的利用方法。研究人员并不知晓“sheep method”，而是在与农牧民的交流当中得知此方法。这件事也给我们一个很好的启示，在农村调研当中不能只是单方面提问农民，而要用心留意那些基于农牧民知识经验的信息。通过以上做法，我们不仅得到了关于“sheep method”再发现的相关信息，还获得了例如通过对盐碱土壤积盐层造成龟裂从而实现裸地植被恢复等关于荒地绿化方面的很多有益信息。

假如我们是草地利用方面的专家，早已获得了“sheep method”相关信息，并对此种方法已经有了一定的研究，那恐怕即使听农科院研究人员说起这个话题，也很可能并不在意、很快忘记。而我们作为社会科学研究人员对此一直保持着浓厚的兴趣，随后在以内蒙古自治区为对象的研究课题中，有机会将粪便中种子利用作为羊肉的附加值技术加以探讨。

2014 年，在内蒙古自治区苏尼特右旗（北纬：112° 52′ 19″、东经：45° 50′ 14″）探讨涉及农户生活改善的循环型生产系统时向当地农牧民介绍了如何使用粪便中的草种进行草地改良的技术，当时有一部分牧民对此表现出浓厚的兴趣。生活在半干旱地区的牧民们虽然对植物从动物粪便中发芽这件事感到很新奇，但同时认为这种方法很有可能会解决他们一直以来关心的问题。自从 2002 年草原法颁布并实施以来，羊群的饲养方式从放牧改为圈养，羊群吃到多根葱(*Allium polyrhizum Turcz. ex Regel*)以及沙葱(*Allium Mongolicum Regel*)等野生葱类的机会减少，牧民们担忧这会导致品牌羊肉苏尼特羊的肉质下降（图 1）。

野生葱类是多年生植物，发芽之后很长一段时间会优先根部的生长，以适应半干旱地区的环境。与之相反，半干旱地区的一年生草种则采取短时间内繁衍后代的战略，在雨量充足的年份发芽，优先地面上部的生长。因此，当灌溉水充足时埋入土中的一年生草种会发芽，遮挡住野生葱类需要的阳光，使其枯萎。但如果利用好羊粪的保水能力，就可以将灌溉水量控制在最少限度，可以抑制一年生草种的发芽生长。鉴于以上原因，通过和当地牧民协商，得出了图 2 中所示方法。

遗憾的是随着我们以半干旱地区为研究对象的项目的结题，以上这个想法没有能够推进到实现阶段。对于热心协助我们研究工作的苏尼特旗养羊户感到很抱歉。如果今后还有机会进行半干旱地区的研究活动，我们就此项技术想再次进行探讨。

### 3. 通过土中埋入稻壳的盐碱草地改良

在中日合作项目“中国条件不利地区低投入环境友好型经营系统的构建（项目期间：2009-2010）中，以农业生产条件相对薄弱的黑龙江省盐碱地土壤地带为研究对象，分析评价了未开发地区引进饲料作物对农户经营产生的影响。当时利用稻壳用于盐碱地土壤改良的点子是由生产环境条件完全不同的水稻产区的农户提出的。



图 1 苏尼特右旗品牌羊  
(摄影：2015 年 3 月 5 日)

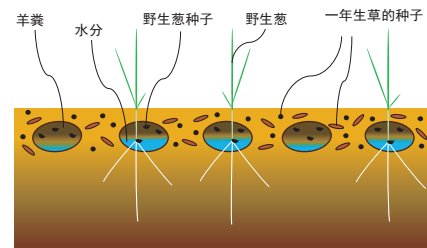


图 2 利用粪中种子进行野生葱的栽培

对于存在大面积盐碱地的中国东北部, 目前为止提出过很多土壤改良方法。例如, 石膏(硫酸钙,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 的投入对于 Na 型盐碱地的改良较为有效。但为了获得充分的改良效果, 需要向农地投入  $23\text{t/ha}$  的石膏<sup>[1]</sup>。从供给地的工业区到水稻产区的运输费用都有可能超出从农地获取的收益。此外, 还有一种方法是使用荒砂在土壤心土部分设置粗粒层将聚集的盐类排除的同时, 阻止毛细管现象, 防止盐类的再上升<sup>[4]</sup>。但是荒砂同石膏一样, 运输费用很高。而且由于荒砂是建筑业所需材料, 价格也比较高, 不适合作为土壤改良材料。

为了寻找更加经济且易运输的材料, 在与水稻农户的交谈中提到稻壳具有疏水性很高, 埋入土中避免接触空气可以历经数年不腐烂的特性, 进而得出了“稻壳作为土壤改良材料”的点子。经过进一步的探讨, 发现使用稻壳不同于石膏或荒砂, 在堆积和投入土壤时都不需要重型机械。另外, 黑龙江省的盐碱类土壤地带与水稻产地之间的距离相比较和作为石膏供应地的工业地带之间的距离要近。因为大米一般都是带壳出售, 所以在精米加工厂会有大量的稻壳。过去稻壳多被焚烧处理, 如果能作为土壤改良材料还原到草地, 从环境保护的角度而言也是有益的。为了实现上面介绍的想法, 在黑龙江省兰西县(北纬:  $46^\circ 32' 17''$ , 东经:  $125^\circ 28' 24''$ ) 实施了草地化试验。当地有很多养牛户在购买使用高价的进口苜蓿。所以, 如果试验成功对牧草生产户的收入提高也会起到很好的促进作用。试验地土壤 pH 值如下: 0–10cm 区间 pH8.3、10–40cm 区间 pH9.08–9.12, 显示高度的碱性。同时, 由于盐碱地具有透水性差的特点, 并不适合种植苜蓿。2009 年 11 月在地层表面铺上 10cm 厚度的稻壳, 之后使用犁地机将稻壳埋入地下 40–50cm 位置(图 3)。次年 4 月份播撒硫安  $100\text{kg hm}^{-2}$ 、过磷酸石灰  $1000\text{kg hm}^{-2}$ , 整地之后、播种被覆根瘤菌的种子  $15\text{ kg hm}^{-2}$ 。

2011 年 6 月和 8 月, 2012 年 7 月和 9 月, 每年两次进行收割(图 4)。土壤中埋入稻壳的试验区的产量相比没用稻壳的区域的产量增加了 33.2%, 平均产量达到了  $7803.9\text{ kg hm}^{-2}$ 。稻壳重量轻, 易搬运, 能轻松的埋入土中, 而且也容易购买, 是低成本型草地化技术的合适材料。埋入土壤中的稻壳历经 8 年, 现在(2017 年)还保持着原有形状, 没有分解。关于此项草地化技术的详细信息请参照期刊<sup>[2]</sup>。



图 3 使用犁地机将稻壳埋入土中  
(摄影: 2009 年 11 月 15 日)



图 4 取样调查产量  
(摄影: 2011 年 8 月 15 日)

#### 4. 利用牛粪发酵热的蔬菜栽培系统

在课题项目“农牧交错地区循环型生产技术的开发与评价（项目期间：2011-2015 年）”中对以半干旱地区农民的收入提高为目的的蔬菜栽培系统进行了评价。项目实施地区内蒙古自治区苏尼特右旗，在推进蔬菜种植业的振兴过程中面临着水资源的限制以及春季低温冷害两大问题。当地的冷冻期到 4 月中旬，而且因为气温低级以及强风的原因，地表附近的热气随着水蒸气而蒸发，因而 5 月份也会出现土壤冻结的现象。

苏尼特右旗属于牧区，很多牧户种植自家菜园。通过与这些牧户的积极交流，学习到半干旱地区种植蔬菜的窍门。在此过程中，得到了“利用家畜粪便的发酵热栽培蔬菜”的点子（牧户并没有实际操作）。通过探讨已有成果<sup>[3][8]</sup>以及日本的踏込温床（江戸时期开始使用的利用发酵热促进蔬菜生长的技术），以畜粪发酵热为基础，构建半干旱地区蔬菜栽培系统。蔬菜品种选择了适应半干旱地区，而且具有市场性的迷你南瓜。通过和当地菜农交流经验，探讨适合迷你南瓜的栽培系统。最终如图 5 所示，栽培系统不仅利用了牛粪的发酵热，而且还解决了阻碍当地蔬菜业发展的多个问题。例如为了储存牛粪发酵的热量在栽培系统的后方将牛粪堆积成 80cm 的高度（图 6）。如图 5 中标注的“防风”，在春季沙尘暴的背风方向设置栽培系统可以防止强风侵害刚发芽的嫩苗。另外，标注“防虫”是指防治沙漠螟虫的幼虫等害虫的对策，在试验地隔几年会出现一次大的沙漠螟虫虫害，严重危害蔬菜生产。因此将迷你南瓜的播种床，即直径 110mm 的氯乙烯管接头露出地面 2-3cm，防止沙漠螟虫靠近南瓜苗。为了能在中秋节（农历 8 月 15 日）或者国庆节（10 月 1 日）出售迷你南瓜，将播种床氯乙烯管的接头和大棚用塑料薄膜一起埋到土中确保地温，并于 5 月上旬播种。关于灌溉水系统，设置了两个路线。路线 A 是灌溉水直达迷你南瓜，路线 B 是灌溉水通过牛粪堆再到迷你南瓜。通常只打开 A 球形阀门，在需要追肥的时候打开 B 球形阀门，将发酵牛粪中的肥料成分输送到迷你南瓜。这项灌溉系统非常节水，和当地饲料用玉米栽培中使用的喷灌机相比，单位面积用水量可以降至 22%。

在迷你南瓜的出售环节，由于大部分农户没有自家车，通过高速大巴将南瓜运送到了北京。在北京请消费者实际品尝迷你南瓜，并征求了支付意愿。结果表明迷你南瓜可以大幅提高农户的收入，有利于生活水平的改善。另外，通过设置防风林，对于那些农地地力强的农户，如图

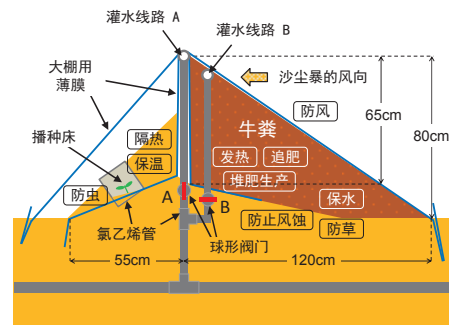


图 5 利用牛粪发酵热构建蔬菜栽培系统



图 6 在系统后方堆积牛粪

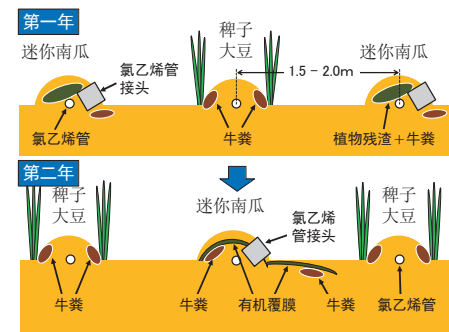


图 7 简易型栽培系统

7 所示可以建成将植物残渣用于覆盖的简易型栽培系统。在项目执行的后半年请农户试用栽培系统,并发现了问题点。关于牛粪发酵热栽培系统的构造以及农户的期待收益率等具体数据已在期刊<sup>[6]</sup>以及专利信息<sup>[9]</sup>公开发表。

#### 5. 利用畜粪浮力的有机水稻栽培技术

目前进行当中的课题项目为“主粮市场的品牌化战略解析”(项目期间:2016-2020 年)”。首先选择一种大米假设为品牌大米,并在黑龙江省实际种植,通过北京的消费者实际品尝,测算品牌的经济价值。而“利用畜粪的浮力种植水稻”的点子是由内蒙古的农牧民提出的。目前在探讨能否在假设的品牌大米种植中使用这个点子。在本期课题研究开始的前一年(2015 年),为了半干旱地区蔬菜种植业的振兴,尝试过使用羊粪制作液态肥。但是由于羊粪不沉入水中,大部分的羊粪浮在水面上不能发酵导致了液态肥制作以失败告终。当时,请来帮忙的农民说到“这要是水田就好了……”。在当地给蔬菜追肥时会用到羊粪,但是如果将没发酵的羊粪散布到农田,因为羊粪有浮力,灌溉时会流走。农户认为这个特点虽然对蔬菜种植不利,但对水田会起到节省追肥劳力的作用。通过和当地农民的共同探讨,发现羊粪的浮力这件事不仅适合于水田施肥,还有其他多种作用。

充分干燥、表面光滑的羊粪可以在水面上漂浮一个月以上。但从投放水中开始,羊粪中的肥料成分会逐渐溶出,水会浑浊变成黑红色<sup>[7]</sup>。漂浮的羊粪以及由此造成的水质的浑浊会阻碍阳光的照射,同时由于释放出的有机酸的影响,都有可能抑制水田杂草的生长。而且,在水稻栽培期间投入的羊粪在水面上经过发酵堆肥,随着次年春季的翻地,埋入土中为增加地力发挥作用。可以说只要把羊粪投入水田中,就有可能起到堆肥、施肥、抑制杂草的作用。为了检验以上的点子,经过和黑龙江省农科院水稻栽培以及土壤肥料专家的共同探讨,实施了釜试验。结果表明只靠羊粪溶出的肥料不足以供应水稻生长所需养分。如图 8 所示,使用稻草、米糠和豆粕等制成有机球状和羊粪一起投放到水田里以补充不足养分。但由于有机物的肥效会持续好几年,如果因为投放羊粪水田内已经积累了肥料成分以及矿物质,就需要减少有机球状物内有机肥料的量,或者增加只用稻草制作的有机球状,减少羊粪的投放量以此来维持土壤养分的平衡。

在调研中结识的水稻农户和水稻专家没有人知道羊粪可以漂在水面上一个月之久,更没有想到只要把羊粪投放到水田中就可以进行水稻的有机栽培,就有可能通过高附加值实现收入的提高。但在试验过程中发现,从距离水稻产区最近的年降雨量 500-600mm 的地区购买的羊粪由于水分含量太高投放到水田之后短时间内就沉底,不能发挥作用。另外,如果为保障效果从年降雨量 200-300mm 的半干旱地区购买羊粪的话,运输费用会影响到水稻经营,而且在远距离的运输过程中堆积的羊粪有自燃的危险。为解决以上问题,从水稻产地附近的养牛户购买了牛粪,并制作了牛粪薄片,以期发挥同羊粪相同的效果(图 9)。

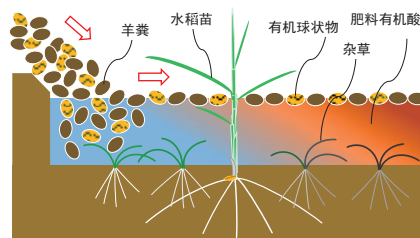


图 8 使用羊粪进行有机水稻种植



图 9 具有浮力的牛粪薄片

黑龙江省是中国养牛头数第二的省份。由于冬季气温在零下 15-25℃，需要冬季加温的沼气的效益费用比会很低。另外，从水稻收割到第二年插秧期间微生物停止活动，除非有加温设施，不然水稻残渣的堆肥是不可能的。因此出现了有机资源的非法投放和焚烧，循环利用难以实现。目前推进的牛粪薄片是利用严冬季节的低温条件，为实现有机资源利用的低成本化和农业生产的零排放，中日双方的科技工作者一同协商和探讨的。

#### 6. 非利害关系者的点子和环境保全型农业

作为非利害关系者的农牧民所提出的设想和点子很有可能对环境保全型农业系统的构建也有效果。这是因为非利害关系者对其他的农业地区以及农业部门的生产现状并不熟悉，对于那里使用的源于工业产品的农业生产材料也不具备相关知识。因此，只能围绕身边存在的有机资源构思点子，而这些点子往往在不经意间和直接关系到食品安全的有机农业生产或者致力于环境减负的环境保全型农业系统构建产生关联。虽然目前还没有进行能够证明环境减负的数据收集和分析工作，但下面从温室效应与减少碳排放的角度探讨包括可能性在内的各项技术。

首先，在“通过土中埋入稻壳的盐碱类土壤改良”技术中，埋入土中的稻壳长期不腐烂，可以起到碳素保存的效果。含有大量碳酸盐类的盐碱土壤地带，本身就是巨大的碳素保存库。稻壳埋土的做法不会改变碳酸盐类的化学性质（不会产生二氧化碳），只改变盐类在土壤中的分布状态，可以兼顾碳素保存和农业生产。其次，在“利用牛粪发酵热的蔬菜栽培系统”技术中，牛粪是在塑料薄膜覆盖的密闭环境中发酵，所以二氧化碳等温室气体会被封闭在薄膜内部。通过在薄膜内外放置的水槽内的藻类比较（NH<sub>3</sub>的影响也很大），薄膜内藻类的增殖会比较快。在经过了高温发酵期的牛粪上浇水时加入陆地藻类和微生物，有可能对温室气体起到吸收和分解的作用。再次，在“利用畜粪浮力的有机水稻栽培技术”中，通过有机物在水面上好氧发酵，可以抑制 CH<sub>4</sub> 的产生，同时生长中的水稻可以吸收一部分二氧化碳。

作为社会科学专业的我们这次能挑战专业外的研究问题，得益于中方技术研究人员的的大力支持与协助。中国和其他国家一样，论文数量依然是评价研究人员的重要依据。但在项目实施期间，在各个研究对象地区遇到了很多不只执着于论文发表，而将农牧民生活改善为己任的研究人员。这些研究人员将农牧民的很多好点子好设想充分发挥到技术开发当中，为并不一定能写出论文的研究工作耗费了很多时间和精力。正因为有了这些研究人员的大力支持，才得以实现了以上几种点子进入试验、实施阶段。借此机会，深表谢意。

#### 参考文献：

- 1 Chun S. et al. Sodic soils reclaimed with by-product from flue gas desulfurization: corn production and soil quality. *Environmental Pollution*, 2001, 114, p. 453-459.
- 2 高中超等. 稻壳深施对盐土物理性质和苜蓿产量的影响. *土壤通报*. 2014, 45(4), p. 991-995. (中文).
- 3 Gasser J.K.R. ed. *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1985, 281p.
- 4 Guo, G. et al. Improvement of salt-affected soils part 1: Interception of capillarity. *Biosystems Engineering*, 2006, 94 (1), 139-150.
- 5 Harlan, J. R. Theory and dynamics of grassland agriculture. D. Van Nostrand

- Company Inc. 1956, 281p.
- 6 中本和夫等. 北方半干旱地区有机蔬菜种植及经营效果评价. 干旱区资源与环境. 2016, 30(7), p. 101-107. (中文).
  - 7 中本和夫等. 论技术开发中如何利用农牧民的知识与智慧. 干旱区资源与环境. 2017, 31(2), p. 14-19. (中文).
  - 8 Seki, H., Kiyose, S. and Sakida, S. An experimental system for the recovery, accumulation, and utilization of heat generated by bamboo chip biodegradation using a small-scale apparatus. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2014, 70(1): 1-11.
  - 9 塔娜等. 一种利用牛粪发酵热的蔬菜栽培系统. CN104770243A, 2015-7-15. (中文).

## 结 语

## 结 语

山本由紀代

JIRCAS 高付加価値化 Program Director

在日中农业科技交流小组会议框架下，国际农林水产业研究中心（国际农研 / JIRCAS）和中国农业科学院（中国农科院 / CAAS）从 1997 年开始的合作研究到了迎接 20 周年的时候，于 2017 年 7 月 22 日在北京中国农科院会堂召开了「JIRCAS-CAAS 农业科学技术研究合作 20 周年学术研讨会」。

出席研讨会的有全国政治协商会议常委兼全国政协经济委员会副主任的陈锡文先生，农业部国际合作司副司长张陆彪先生，日本驻华大使馆参赞伊藤优志先生等来宾，以及合作研究单位的中国农业科学院国际合作局，农业资源与农业区划研究所，农业经济与发展研究所，农业环境与可持续发展研究所，农业部食物与营养发展研究所，中国水稻研究所，国务院发展研究中心，中国科学院南京土壤研究所，中国农业大学，明治大学，农研机构农业环境变动研究中心，国际农研等机构的项目参与人员，以及日中两国的研究人员，学生等 130 多名出席了研讨会。

研讨会上陈锡文先生以「当前中国农业面临的问题及对策思路」为题做了主题演讲，国际农研的钱小平女士以「合作研究项目概要—20 年的合作与交流」为题介绍了合作研究成果及人才培养等情况。1997 年以后，国际农研与中国农科院共开展了 5 期合作项目，研究领域由自然科学和社会科学构成，由此研讨会也分为两部分，第一部分主要以栽培和农业环境为主的自然科学成果部分「面向可持续发展的农业环境研究」，第二部分是农业经济及生产趋势研究的社会经济方面研究成果「农业经济与农村社会发展研究」，分别介绍了研究成果。本研究报告（Working Report）以此研讨会的发表内容为主，概括了国际农研与中国农科院 20 年多领域研究合作的历史和重要研究成果的珍贵的研究报告。

20 年的时间，日中两国的技术发展和社会结构发生很多变化，特别是中国经济发展瞩目。据 IMF 的统计，合作研究开始时的 1997 年的名义 GDP，日本是 44,147 亿美元（世界第二位），中国是 9,653 亿美元（世界第 7 位），到 2017 年日本为 48,732 亿美元（世界第三位），中国为 120,146 亿美元（世界第二位）是日本的 2.5 倍。日中和平友好条约也迎来了 40 年，今年 10 月日本政府正式宣布结束实施了 40 年的对华 ODA。从研究经费，发表论文的数量等显示科学技术能力的各种指标上，中国有着飞跃发展。国际农研本着从事「提高发展中国地区的农林水产业的技术发展进步的实验研究」基本方针，与中国的研究迄今为止以可持续的农业生产，食物的稳定供给，减少环境负荷等解决中国农业问题为主的内容实施，从两国的发展看今后我们可以考虑为亚洲地区乃至世界的发展中地区的发展做出贡献的合作研究方式。

此报告介绍的多项研究成果，国际农研和中国农科院多年来共同建立的伙伴关系及其研究基础，今后更好地利用这些成果和基础，设定日中两国共同研究方向开展更加充实的合作，期待着新的发展。

**JIRCAS-CAAS 農業科学技術研究協力の歩み  
- 20 周年記念シンポジウム プロシーディングス -**

**President : Masaru IWANAGA**

**Editorial Secretary:**

Masayoshi SAITO    Director, Research Planning and Partnership Division

Eizo TATSUMI    Head, Information and Public Relations Office

**Published by**

Japan International Research Center for Agricultural Sciences

Tsukuba, Ibaraki, 305-8686 JAPAN

Tel. +81-29-838-6313

<https://www.jircas.go.jp/>

**JIRCAS Working Report No.87**

平成 31 年 3 月 25 日発行

発行者：国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター

理事長 岩永 勝

〒305-8686 茨城県つくば市大わし 1-1

TEL 029(838)6313 (代表)

印 刷：朝日印刷株式会社つくば支社

© by Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 2019

© Reproduction and reprint of content herein are authorized only with prior written permission from JIRCAS

