

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（王曉榮ら、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」(发改環資〔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450m³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、生態果樹園區、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m³、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m³、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m³、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m³、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m³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」¹⁾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²⁾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

¹⁾ 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。

²⁾ 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、土壌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、土壌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、土壌凝結・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壌水分の保持・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、土壌を改良し、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・土壌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, 赵維娅, 2010:「浙江新農村庭院經濟發展模式和树種选择」,『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讨」,『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.