

中国循环农业评价体系研究进展*

韩玉¹ 龙攀² 陈源泉^{2**} 隋鹏² 顾时贵³

(1. 石家庄信息工程职业学院 石家庄 050035; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院 北京 100193;
3. 国家半干旱农业工程技术研究中心 石家庄 050051)

摘要 循环农业的研究与实践是当前中国农业领域的热点,如何构建一套合理的循环农业评价体系是促进循环农业发展关键问题之一。本文梳理了近年来中国循环农业评价研究的概况,重点分析了中国循环农业评价的内容与指标体系、评价方法等。现有循环农业评价研究主要有两类:一是宏观层面针对国家和地区循环农业发展的综合评价,从经济与社会发展、资源减量投入、资源循环利用和资源环境安全4个方面构建指标体系评价该区域循环农业所带来的社会、经济和生态效益,或循环农业的有效性,此类研究占绝大部分;另一类是针对工业园区和企业或具体产业模式、农场,采用系统动力学、能值、生命周期评价等系统分析方法评价不同模式的物质循环与能量流动及其对环境的影响,目前这类研究的内容和方法存在较大差异,需要进一步探讨和深化。综合分析认为,要构建评价指标体系,需要在进一步明确循环农业的内涵和原理的基础上,选择有针对性的评价指标。不同的循环农业评价指标体系因为其服务的对象及目标不同,其构成也有所不同。针对评价对象,在国家、区域层面和园区/企业层面的评价重点应该有所区别,同时对于微观的循环农业发展模式/技术层面,其评价的内容和指标也应该区别于宏观层面的评价。有针对性地构建适于不同层面的循环农业评价体系,才能为制定科学合理循环农业发展规划提供参考。

关键词 循环农业 评价指标体系 评价方法 研究进展

中图分类号: F037 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2013)09-1039-10

Research progress of evaluation system for China circular agriculture development

HAN Yu¹, LONG Pan², CHEN Yuan-Quan², SUI Peng², GU Shi-Gui³

(1. Shijiazhuang Information Engineering Vocational College, Shijiazhuang 050035, China; 2. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. National Engineering Research Center in Semi-arid Agriculture, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract Research and practices on circular agriculture (CA) has been hotspots of Chinese agriculture development in recent years. CA plays a significant role in resource using, energy saving, emission reduction, enterprise and industry development, and farmer income improvement in China. How to build a suitable evaluation system is one of the top issues on the CA research and development. In this paper, the general progresses of CA researches were discussed, and the evaluating content, indicators and methods were summarized as well. Generally, the evaluation for CA was classified as two types. The first was macro-evaluation focusing on the national or regional scale, whose indexes were constructed base on the social and economic development, resource reduces, resource recycle and safety of resource and environment dimensions. The goal of this kind of evaluation was to determine the social, economic and ecological effects of CA development. Another kind was micro-evaluation focusing on the industrial park, enterprise, or local farm system scale, whose goal was assessment of the features of materials cycling and energy flow in CA systems, and the environment impacts as well. Many methods were introduced in this kind evaluation including system dynamic, emergy, life cycle assessment, etc. At the same time, there existed marked difference in evaluating content, indicators and methods for the micro-evaluation. Furthermore, the suitable evaluation index for different scales (national, regional, enterprise, detailed pattern or

* “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD14B03)资助

** 通讯作者: 陈源泉(1977—), 男, 副教授, 研究方向为农业生态与宏观农业。E-mail: rardc@163.com

韩玉(1973—), 女, 副教授, 研究方向为区域管理与营销。E-mail: hanyuhebei@126.com

收稿日期: 2013-06-23 接受日期: 2013-07-23

technology, etc.) were expected to further study, which should be according with the 4R rule (recycle, reuse, reduce and regulate) of CA.

Key words Circular agriculture, Evaluation indicator system, Evaluation method, Research progress

(Received Jun. 23, 2013; accepted Jul. 23, 2013)

循环经济已经成为许多国家积极探索和发展的可持续发展模式。农业发展面临着资源、生态、环境、能源等方面的严峻挑战,在循环经济思想的指导下,循环农业成为人们积极探索的农业可持续发展的重要模式。2006—2012年的中央一号文件均强调鼓励发展循环农业。2013年1月23日国务院发布了《循环经济发展战略及近期行动计划》,提出构建循环型农业体系。但是,中国循环农业的研究总体上尚处于起步阶段,理论研究和实践存在基本同步的趋势^[1],其发展的原则、概念内涵及原理尚在不断讨论完善之中^[1-6]。发展循环农业,是发展具有中国特色的农业现代化的重要方面,是建设现代农业、推进新农村建设的重大需求,也是建设资源节约型、环境友好型社会不可或缺的重要组成部分^[3]。近年来,国家有关部门加大了对循环农业及相关工作的支持,研究出台了多项政策措施,环保部门、财政部门出台了“以奖促治”方案,建设部门开展了“农村人居环境治理”,国家发展改革委员会设立了一批循环农业发展项目与农业清洁生产项目,农业部从2005年开始“农村清洁工程”建设,2007年提出“循环农业促进行动”,开展循环农业试点市工作,2011年出台了“关于加快推进农业清洁生产的意见”、“关于进一步加强农业和农村节能减排工作的意见”,提出了一批促进农业污染防治方案^[6]。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及集成示范”和“循环农业科技工程”科技支撑项目,项目按照“4R”原则[减量化(reduce)、再循环(recycle)、再利用(reuse)、可控化(regulate)]^[1-3],以建立农牧循环模式为核心,通过重大关键技术突破与技术集成示范,提升常规循环农业模式的技术水平,提高农牧业循环系统的物质循环效率和能量转化效率,有效控制有害物质和温室气体排放,最大程度地减轻农业环境污染,逐步建立适合我国国情的“农业资源-农业产品-农业废弃物-再利用或再生产”的循环农业模式与技术体系。发展循环农业的同时要同步开展关于循环农业发展的评价研究。首先,从宏观上,不同地区都开展了不同尺度、不同类型的循环农业实践,从宏观上如何评价循环农业的发展状态和运行效果,需要一套相对科学统一的指标体系;其次,在微观上,如何选择符合循环农业发展原则的技术/模式进行示

范推广,也需要有一套循环农业评价指标体系来对各种技术/模式进行科学筛选评价,避免发展的盲目性。因此,本研究重点梳理当前中国关于循环农业评价的研究进展,以期为制定科学合理的评价体系提供参考。

1 循环农业基本内涵与发展模式

要构建评价指标体系,需要在进一步明确循环农业的内涵、原则及原理的基础上,才能选择有针对性的评价指标。中国在循环经济概念不断普及的同时,从2004年下半年开始,一些学者提出了农业循环经济或循环农业的概念。2005年以后有关循环型农业的概念和内涵的研究和解释不断出现,学者们开始从不同的角度探讨如何发展循环农业。总体上,我国循环农业的概念经历了循环型农业、循环节约型农业、农业循环经济,最终演变为循环农业^[6]。目前,中国循环农业的研究无论是理论还是技术还处于初级阶段。关于循环农业的发展问题,在政府界、学术界和理论界有着不同的认识^[1]。尹昌斌等^[4-6]认为循环农业是循环经济理念在农业生产中的具体应用,目的是提高资源和环境承载能力,实现经济和环境协调发展;是运用可持续发展思想、循环经济理论与产业链延伸理念,通过农业技术创新和组织方式变革,调整和优化农业生态系统内部结构及产业结构,延长产业链条,提高农业系统物质能量的多级循环利用,最大程度地利用农业生物质能资源,利用生产中每个物质环节,倡导清洁生产和节约消费,最大程度地减轻环境污染和生态破坏,同时实现农业生产各个环节的价值增值和生活环境优美。高旺盛等^[2]提出循环农业是按照循环经济理念,通过农业生态经济系统设计和实现物质能量资源的多层次、多级化的循环利用,达到农业系统的自然资源利用效率最大化、购买性资源投入量最低化、可再生资源高效循环化、有害生物和污染物可控制化的产业目标;其核心技术原则是“4R原则”,即减量化(reduce)、再循环(recycle)、再利用(reuse)、可控化(regulate)。循环农业与传统农业的主要区别在于^[1-3]: ①在产业发展理念上,循环农业更加注意把循环经济理念应用到农业生产中,提倡农业生产全过程和农产品生命周期的过程控制。②在生产方式方面,循环农业摒

弃了常规农业一味地追求高投入、高产出、高消耗、高排放的生产方式,注重建立资源利用高效率、外部投入最低化、污染排放最少化的生产目标。③在产业模式上,常规传统农业往往局限于农业系统内部的小产业,忽略与相关产业的链接和循环,循环农业从整体角度构建农业及其相关产业的物质循环产业体系,使农业系统与生态工业系统相互交织构成大产业系统。

关于循环农业的发展模式,不同学者也有不同的归类。有把循环农业发展模式归纳为3类^[5]:一是以生态农业模式的提升和整合为基础的局部循环模式,二是以农业废弃物资源的多级循环利用为目标的内循环模式,三是以循环农业园区为方向的整体循环模式。也有归纳为5类^[2]:一是复合生物系统循环模式;二是农田秸秆直接还田循环模式;三是农牧产业链循环生产模式;四是农业废弃物再生利用循环模式;五是农业企业循环经营模式。总体上,由于我国地域广阔,地形、地貌、自然气候、植被类型等与农业相关的自然资源与环境类型多种多样,与此同时,各区域经济发展水平与人文社会环境也各不相同,导致全国农业发展类型与模式也复杂多样,用单一的分类方式很难概括所有的模式。因此,本文认为可以从不同角度进行归类:

(1)从管理主体的角度,可分为政府主导型、企业自主型和农户为主型。①政府主导型模式主要以政府的力量来推动与管理,如部分农业科技园区;②企业自主型模式主要是基于相对成熟的市场环境和产业基础,由企业主动出资建设并经营管理的发展模式;③农户为主型模式主要是模式尺度较小,一般适合于农田或农户家庭发展,虽然其发展可能受到政府的一定支持或者与企业/市场有一定的联系,但是管理主要还是由农户自己执行。

(2)从农业系统内外部的角度,可分为业内循环和业外循环。业内循环主要集中在农业系统内部的物质高效循环利用,包括了种植业、养殖业以及种养“耦合循环”的模式;业外循环主要是农业系统内部的投入、产出以及废弃物不仅在内部消化,还可能与系统外的加工业、服务业“耦合循环”,如种养加循环模式。

(3)从农业系统内部的角度,可分为种植业内循环、养殖业内循环和种养业互循环。种植业内循环模式一般适用于小尺度农田,如秸秆还田模式、秸秆堆肥模式、节水农业模式等;养殖业内循环主要发生养殖业内部的废弃物循环利用;种养业互循环实现了种植业与养殖业的物质循环利用,例如稻田立体种养模式(稻田养鸭、鱼)。

2 中国循环农业评价内容与指标体系

2.1 评价对象/范围

中国循环农业的评价是随着近年来全国各地循环农业的发展实践而开始大量出现,这是由于评价是在循环农业发展进行到一定阶段才进行的,伴随着各地政府部门对循环农业的重视程度加深而发展。不同地区不同发展状态的循环农业模式所产生的经济效益与生态效益不尽相同^[7],及时通过循环农业的评价可以进行正确的政策指导。基于评价的出发点不同,不同循环农业评价的内容也有所不同。表1为部分评价循环农业经济的文献基本信息,代表当前循环农业评价的基本内容。

目前循环农业的评价对象主要集中于省及地市级循环农业,包括江苏^[8-9]、河北^[10,31]、安徽^[11]、山东^[12]、吉林^[13,22]、重庆^[14]、广东^[15-17]、四川^[23]、陕西^[24]、北京^[28]、甘肃^[25]、黑龙江^[27]等省(市)。也有部分研究针对某一具体产业和具体的循环农业模式开展。如王瑞波等^[18]对北京市5种板栗产业循环农业模式展开评价,刘华周等^[19]对苏南稻麦农田循环生产模式进行评价,梁龙等^[20]对湖南某鸭场产业进行评价,李莎莎等^[21]采用系统动力学模型对江西一村庄的农牧生产模式进行模拟分析评价,李渝等^[26]对贵州省猪-沼-粮及菜(果)养殖场进行评估,周连第等^[29]对京郊尖岩村农业生物循环农业模式进行评估,钟珍梅等^[30]对福建省某养殖企业(以沼气为纽带的种养结合循环农业)的系统进行能值评价。

2.2 评价内容与指标体系

循环农业体系是由生命系统与非生命系统有机组成,既包括自然再生又有经济再生过程,在符合自然法则同时遵循经济规律,最终在物质输出为主要目标的开放式循环体系^[1-3]。因此,循环农业的总体目标是在农业生产周期中减少购买性资源、物质的投入量,减少废物和风险污染物的产生与排放量,提高自然资源和废弃物资源的循环利用,提高农业生产系统的产出量,实现农业系统经济和生态环境效益的“双赢”。一套好的评价指标体系能够遵从其评价对象的基本原则,且能全面真实地反映评价系统内部的资源与物质利用情况^[32],体现农业循环经济的内涵与基本特征。

不同的循环农业评价指标体系因为其服务的对象及目标不同,其构成也有所不同。综观现有评价研究可分为2类:一类是宏观层面针对国家和地区循环农业经济的综合评价,主要评价该区域内循环农业所带来的社会、经济和生态效益,或循环农业的有效性,此类研究占绝大部分;另一类是针对工

表 1 我国部分循环农业评价文献基本信息
Table 1 Evaluation for China circular agriculture in the selected papers

| 评价对象/范围 Evaluation object/scale | 评价内容 Evaluation content | 评价方法 Evaluation method | 发表时间 Published time |
|--|---|--|------------------------|
| 江苏省 Jiangsu Province ^[8] | 1985—2003 年农业循环经济发展水平综合评价 Comprehensive evaluation of regional agricultural recycling economy during 1985 to 2003 | 层次分析法 Analytic hierarchy process | 2005 |
| 南京市 Nanjing City ^[9] | 1985—2005 年的农业循环经济发展水平评价 Evaluation of agricultural recycling economy during 1985 to 2005 | 灰色关联分析 Grey correlation analysis | 2007 |
| 河北省 Hebei Province ^[10] | 1991—2005 年农业循环经济发展水平评价 Evaluation of agricultural recycling economy during 1991 to 2005 | 层次分析法与加权法 Analytic hierarchy process and weighting method | 2008 |
| 巢湖流域 Chaohu Basin ^[11] | 1990—2004 年农业循环经济发展描述性和综合性评价 Descriptive and comprehensive evaluation of agricultural recycling economy during 1990 to 2004 | 熵权法 Entropy weight method | 2008 |
| 山东省 Shandong Province ^[12] | 对该省 17 市进行循环农业经济发展程度评价 Evaluation of agricultural recycling economy of 17 cities of the province | 主成分分析方法 Principal component analysis | 2008 |
| 吉林西部 West Jilin ^[13] | 1985—2004 年该区农业循环经济综合评价与障碍度分析 Comprehensive evaluation and obstacle analysis of agricultural recycling economy during 1985 to 2004 | 能值评价 Emergy analysis | 2008 |
| 重庆市 Chongqing City ^[14] | 循环农业的区域测度分析 Regional evaluation of recycle agriculture | 专家咨询法、层次分析法 Delphi method and analytic hierarchy process | 2008 |
| 广东省 Guangdong Province ^[15] | 2007 年各市农业循环经济发展水平的综合指数 Comprehensive index of agricultural recycling economy in 2007 | 粗糙集理论 Rough set theory | 2009 |
| 广东省 Guangdong Province ^[16-17] | 各地市农业循环经济效率值 Economic efficiency value of agricultural recycling economy of cities | 数据包络分析(DEA) Data envelopment analysis | 2009, 2010 |
| 北京市 Beijing City ^[18] | 板栗产业循环农业模式的经济效益、社会效益和生态效益综合评价 Comprehensive evaluation of economic, social and ecological benefits of cycling modes of Chinese chestnut business | 层次分析法、模糊综合评判法 Analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation | 2010 |
| 苏南地区 South Jiangsu ^[19] | 典型稻麦农田循环生产模式及循环特征综合评价 Evaluation of recycling characters of rice-wheat rotation system | 专家咨询法、层次分析法 Delphi method and analytic hierarchy process | 2010 |
| 湖南鸭企业 Duck enterprise in Hunan ^[20] | 该鸭产业生命周期对环境的影响评价 Evaluation of effects of life cycle of duck industry on environment | 生命周期评价 Life cycle assessment | 2010 |
| 丘陵地区 Hilly area ^[21] | 建立循环农业模式动态仿真模型分析其合理性 Dynamic simulation model analysis and its rationality of recycle agriculture | 系统动力学 System dynamics | 2010 |
| 吉林省 Jilin Province ^[22] | 1990—2008 年循环农业发展水平综合评价 Comprehensive evaluation of recycle agriculture during 1990 to 2008 | 熵权系数法 Weight coefficient | 2011 |
| 射洪县 Shehong County ^[23] | 2000—2008 年循环农业投入、产出系统的有效性评价 Effectiveness evaluation of input, output of recycle agriculture during 2000 to 2008 | 数据包络分析(DEA) Data envelopment analysis | 2011 |
| 陕西省 Shaanxi Province ^[24] | 1996—2008 年循环农业发展综合评价 Comprehensive evaluation of recycle agriculture during 1996 to 2008 | 主成分分析方法 Principal component analysis | 2011 |
| 甘肃省 Gansu Province ^[25] | 2000—2009 年农业循环经济发展综合评价 Comprehensive evaluation of recycle agriculture during 2000 to 2009 | 综合指数分析法 Comprehensive index | 2011 |
| 贵州省 Guizhou Province ^[26] | 猪-沼-粮、菜(果)规模化养殖场循环农业模式能值投入产出分析评估 Emergy analysis of large farm recycle agricultural mode of "pig-biogas-crop (vegetable, fruit)" | 能值分析法 Emergy analysis | 2011 |
| 三江平原 Sanjiang Plain ^[27] | 2003—2008 年的循环农业发展现状进行综合评价分析 Comprehensive evaluation of recycle agriculture during 2003 to 2008 | 层次分析法 Analytic hierarchy process | 2011 |
| 北京市 Beijing City ^[28] | 2010 年北京市循环农业综合评价与分析 Comprehensive evaluation of recycle agriculture in 2010 | 层析分析法 Analytic hierarchy process | 2012 |
| 北京农村 Rural area of Beijing ^[29] | 京郊密云尖岩村农业生物循环系统生态经济能值评估 Emergy analysis of agricultural bio-cycle system in Jianyan Village, Miyun County | 能值评价 Emergy analysis | 2012 |
| 福建种养企业 Planting-breeding enterprise in Fujian ^[30] | 以沼气为纽带的种养结合循环农业系统能值分析 Emergy analysis of combined system of planting and breeding with biogas as the link | 能值评价 Emergy analysis | 2012 |
| 河北省 Hebei Province ^[31] | 石家庄不同生态区域循环农业发展障碍因素分析与评价 Obstacles analysis of recycle agriculture in different ecoregions of Shijiazhuang | 层次分析法 Analytic hierarchy process | 2012 |

业园区和企业或具体产业模式、农场而进行的评价,用以分析该系统内物质循环与能量流动,以及对环境造成的影响。

2.2.1 国家和地区循环农业的宏观综合评价

这类评价的内容主要包括了区域循环农业发展水平的评价、循环农业发展障碍或瓶颈等方面的宏观分析评价。在评价指标上,基本都综合考虑了生态、经济、社会以及资源环境几个方面进行构建评价指标。国家发展改革委员会和国家统计局等相关部门已经编制了宏观层面循环经济评价指标体系,该体系包括资源产出指标、资源消耗指标、资源综合利用指标、再生资源回收利用指标、废物处置降低指标5个部分,共包含20个具体指标^[33-34]。在参照此评价指标体系的基础上,学者们结合循环农业经济的3R[减量化(reduce)、再循环(recycle)、再利用(reuse)]原理选取评价指标体系。多数评价指标体系主要包括4个方面:(1)经济与社会发展指标,用来衡量循环农业所实现的经济与社会效益;(2)资源减量投入指标,用来反映农业生产中物质与能量的投入状况;(3)资源循环利用评价指标,用来体现资源的有效化程度及废弃物资源化能力;(4)资源环境安全评价指标,用以反映农业生产过程对资源环境的影响^[8,10-11,22,25,34-39]。在上述4个方面的指标下面又下设2级指标从而形成完整的指标体系。其中,经济与社会发展指标包括单位面积农业GDP产值、农民人均纯收入、粮食单产、单位面积农机总动力、单位畜禽产品率等,资源减量化指标包括化肥施用强度、农药使用水平、农膜使用水平、农业机械使用强度、农业耗水系数等,资源循环利用指标包括化肥有效利用系数、秸秆综合利用率、禽畜粪便资源化率、复种指数等,资源环境安全指标包括森林覆盖率、有效灌溉系数、河道污染综合指数、人均耕地等。也有研究将指标分为资源节约指标、环境友好指标、经济发展指标^[39];或农业经济发展、资源减量投入、农业产出、资源循环利用、生态环境^[40]。但总体上,循环农业经济评价指标大同小异(表2)。

2.2.2 园区和企业或具体产业模式、农场的评价

不同学者选择评价指标体系由于研究的对象不同而有所差异。例如,梁龙等^[20]采用生命周期评价方法,从不可再生资源、土地、水资源消耗,以及潜在的温室气体、环境酸化、富营养化、人体毒性、水体毒性、土壤毒性等方面对某循环鸭业产业体系进行评价;吕贞龙等^[40]对上海农场进行评价时选用水产品上市量、生猪出栏数、秸秆综合利用率、有机肥施用问题等特色指标;王瑞波等^[18]对北京市

板栗产业进行评价时设置经济效益、社会效益与生态效益3类指标,2级指标则根据当地实际设定行业及地方特色的指标,如成本利润率、妇女参与度、生物多样性等指标;刘华周等^[19]对江苏稻麦农田循环农业生产评价时选择的指标包括农田径流全氮与全磷流失量、化学农药施用强度、温室气体排放量、秸秆还田率、养分富集生物的农田利用率、氮磷循环利用等特色指标;李莎莎等^[21]采用系统动力学方法实现了对循环农业系统中各环节要素之间动态分析,对系统的过去到将来一个时间段内系统的持续表现进行动态评估;卢远等^[13]、李渝等^[26]、周连第等^[29]、钟珍梅等^[30]、岳敏等^[41]和彭建等^[42]采用能值方法从能值自给率、能值投资率、净能值产出率、环境负载率、能值货币比率以及系统可持续性指数等指标对不同循环农业模式进行分析评价。可见目前对于具体区域、具体产业或模式的微观评价的内容和方法差异较大。这一方面是对于具体微观层面的模式或评价对象的多样性造成的,不同的对象选择不同的评价指标是正常的;另外一方面,系统动力学、能值、生命周期评价等方法都是自成体系,难以相互比较。因此,这方面的研究有待于进一步探讨和深化。针对具体的循环农业模式或技术的评价,应该按照4R原则^[1-3]。笔者认为重点应该考虑人工辅助能的投入强度和比例(比如单位面积的化肥、农药、农膜、种子、机械、灌溉、人力、土建等辅助能的投入量及其占总系统投入的比例)、废弃资源再利用率(系统内部自身产生的秸秆、畜禽粪便的综合利用率;或者是系统利用外部有机废弃物的比例,如有机肥使用比例)、能量利用率(种植业系统主要指光、热等自然能的利用效率,养殖业及加工业主要涉及各种能量投入的利用效率)、水分利用效率、化肥利用效率、温室气体排放、农药和重金属残留、系统生产力及综合经济效益等方面。

3 循环农业评价方法

3.1 指标体系的构建原则

目前的研究大多是遵循循环经济的3R原理,并结合区域特点建立评价指标体系。在指标设计遵循的原则上,有学者认为选取评价指标需符合可比性、敏感性、综合性、实际运用价值性等原则^[43]。也有研究认为,循环经济评价指标体系应具有整体性、层次性、地域性、阶段性及动态性等特点^[44]。方中友等^[45]认为,农业循环经济评价指标体系构建原则包括综合性、相关性、主导性和可操作性原则;杨文等^[46]研究认为,农业循环经济评价指标体系应

遵循全面性与代表性相结合、科学性与实用性相结合、系统性与层次性相结合、可比性与可靠性相结合;王宝海等^[47]认为,应考虑评价指标的充分性、可行性、稳定性、必要性等因素。综合归纳来看,在评价循环农业的指标体系构建上,首先必须考虑循环农业的特点,要基于循环农业的基本内涵来构建指标,尤其是要体现4R的特点,循环农业的评价指标体系应与农业可持续发展评价或者生态农业评价指标体系有明显区别;其次,要遵循可操作性的原则,有些指标在数据获取或测定上比较困难的,可以采取替代指标;第三,要注意指标之间的相关性,尽量避免指标的重复性;最后,要注意指标的普遍适用性,尤其是在一级和二级指标的设计上不宜过于具体,要尽量具有一定的普遍意义,可以在具体指标的计算表达上体现特殊性。

3.2 指标权重的确定方法

评价指标体系建立后,如何进行指标权重分配是获得准确评价结果的重点。就目前研究来看,主要运用层次分析法、Delphi法(即专家咨询法)、熵权法等确定指标的权重。其中层次分析法常与Delphi法联用,利用专家评分结果建立两两比较的判断矩阵,从而计算得出不同指标项比重。此方法的不足之处在于评价过程中人的主观性降低结果的可信度;熵权法是利用评价指标的固有信息来判别指标的效用价值,在一定程度上避免了主观因素带来的偏差,但权重会随样本不同而有差异^[48]。总体来看,目前应用最多的还是基于专家咨询的方法来获取评价指标的权重,这是因为该方法可操作性强。为了尽量避免专家咨询方法的主观性带来的偏差,在具体操作时要尽量扩大专家调查的样本数;同时扩大专家的专业领域,不要仅仅局限于生态专业方面的专家,对于资源环境科学、作物学、动物学、经济学、管理学等相关专业的专家都要有所考虑。

3.3 主要评价方法

循环农业的评价方法可以从循环农业评价研究的2个范畴(宏观层面与生态工业园或企业层面)来分析。宏观层面的评价方法主要有:加权函数法、灰色关联度分析法、模糊综合评价法、主成分分析法、粗糙集理论分析法、数据包络分析法等。而生态工业园或企业层面则包括生命周期评价法、能值分析法、物质流分析等。

3.3.1 宏观层面评价方法

加权函数法是目前使用最多的评价方法,首先将某项指标数值标准化,再将标准化后数据与指标权重相乘加和,即可得到循环农业发展评价该指标的综合水平。灰色关联分析法是一种定量化比较分

析方法,是根据数列的可比性和相近性,分析系统内部主要因素之间的相关程度,其基本思想是根据曲线间的相似程度来判断关联程度,关键是确定评价的最优序列即参考数列^[49]。模糊综合评价法是将所有参评对象分类比较,将所有对象分成5个等级,利用参评者的最高值(或最低值)作为第1级或第5级,而中间数值为第3级,第1级与第3级的中间值则设为第2级,同样得出第4级数值,此方法对横向比较有良好的参考作用。主成分分析方法是多元统计分析中常用的方法之一,运用降维的思想,力保数据信息损失最小的原则下,对多维变量进行优化处理,通过线性变换以选出较少个数重要变量,从而更容易对评价对象进行计算分析^[12,24,50]。粗糙集理论是一种刻画不完整和不确定性的数学工具,无需借助数据以外的先验信息就可以对数据进行客观分析,避免了主观因素的干扰^[15]。数据包络分析是评价具有相同类型投入和产出的若干决策单元相对效率的有效方法,适用于多投入、多产出的边界生产函数的研究^[51]。

3.3.2 微观层面评价方法

生命周期评价是一个评价与产品、工艺或行动相关的环境负荷的客观过程,通过分析量化评价对象的整个生命周期的资源消耗和环境排放,评价这些资源消耗和环境排放的影响,并评估和实施影响环境改善的机会^[20,52]。该方法侧重分析产品或行动对环境的影响,不适应于对大范围复杂系统的评价。能值分析是把生态经济体系内的不同要素转换为太阳能值,把生态系统或生态经济系统中不同类别难以比较的能量统一起来,定量分析各类资源投入产出的利用状况^[41],有效地克服了传统分析中作为能量载体的不同物质的不可加和性,但同时也存在能值转换率等问题^[42]。物质流分析同样为投入产出分析,其基本原理是物质平衡理论^[53],通过量化某一物质或某一类物质流入、流出特定系统和在该系统内部的流动和储存状况,从而建立该系统内经济与环境之间的定量关系^[54]。

4 总结与展望

纵观我国目前循环农业评价的研究进展来看,总体归纳起来主要有:

(1)目前对循环农业的评价研究量大、面广,从国家级、省级评价直至市县级甚至村级评价都存在相关文献,几乎遍布全国各省份。但就其内容而言,宏观层面的评价主要分析循环经济的发展水平、发展程度、发展指数或农业循环经济的有效性,对循环农业技术体系、智力性资源消耗、污染治理

能力、节约指数以及循环能力^[55]的评价鲜有报道。

(2)进行评价指标体系构建时,已有文献从社会与经济发展、资源减量化投入、资源循环利用、资源安全等方面入手形成了比较完整具体的指标体系,对进行农业系统评价研究具有一定的参考意义。但此类评价所形成的指标体系大都相似,少有根据地方特点与行业特点进行选择,选择指标受市场价格的影响较大,且少有考虑土地资源与人力资源等消耗指标,因此不够全面。

(3)多数研究对循环农业的内涵认识不清楚,从经济学角度出发,把农业循环系统简单地当成“资源-废物-资源”闭环农业生产系统,将循环经济的评价理论套用在农业循环经济评价中,缺乏对循环农业本质的理解。实际上循环农业是以产品产出和保护生态环境为目的,所涉领域包括经济、社会、自然环境,所涉及的行业包括工业、农业、商业的开放式农业系统。

总之,循环农业评价的核心应该是不同区域、不同尺度、不同类型的循环农业模式究竟能在多大程度上减少资源的投入,提高资源的利用效率,控制污染物的排放以及投入资源的利用效率^[1-3]。需要进一步针对评价的对象,充分考虑不同区域的共性与特性问题;需要根据评价的尺度,国家、区域层面和园区、企业层面的评价重点应该有所区别;对于微观的循环农业发展模式/技术层面,其评价的内容和指标也应该区别于宏观层面的评价。总体来看,对于宏观方面的评价相对比较成熟,对于微观评价的研究严重不足,急需进一步深入研究,构建有针对性的适合于不同层面的循环农业评价体系。

参考文献

- [1] 高旺盛, 贾敬敦. 中国循环农业研究进展[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010
Gao W S, Jia J D. Research progress in China circular agriculture[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2010
- [2] 高旺盛, 陈源泉, 梁龙. 论发展循环农业的基本原理与技术体系[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(6): 731-734
Gao W S, Chen Y Q, Liang L. Basic principles and technology supporting for circular agriculture development[J]. Research of Agricultural Modernization, 2007, 28(6): 731-734
- [3] 高旺盛, 陈源泉, 董文. 发展循环农业是低碳经济的重要途径[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1106-1109
Gao W S, Chen Y Q, Dong W. Circular agriculture as an important way to low-carbon economy[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 1106-1109
- [4] 尹昌斌, 周颖. 循环农业发展的基本理论及展望[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1552-1556
Yin C B, Zhou Y. Theory and development trend of recycle agriculture[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(6): 1552-1556
- [5] 尹昌斌, 唐华俊, 周颖. 循环农业内涵、发展途径与政策建议[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(1): 4-8
Yin C B, Tang H J, Zhou Y. Suggestions on the intension, developing route & policy of circulating agriculture[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2006, 27(1): 4-8
- [6] 尹昌斌, 周颖, 刘利花. 我国循环农业发展理论与实践[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 47-53
Yin C B, Zhou Y, Liu L H. Theory and practice of recycle agriculture in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 47-53
- [7] 赵金龙, 何玲, 王军. 谈循环农业的模式及其评价方法[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1766-1767
Zhao J L, He L, Wang J. Discussion on the circulatory agriculture model and its evaluation[J]. J Anhui Agri Sci, 2007, 35(6): 1766-1767
- [8] 马其芳, 黄贤金, 彭补拙, 等. 区域农业循环经济发展评价及其实证研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 891-899
Ma Q F, Huang X J, Peng B Z, et al. A positive study of the evaluation on the development of regional agricultural recycling economy[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(6): 891-899
- [9] 孙建卫, 黄贤金, 马其芳. 基于灰色关联分析的区域农业循环经济发展评价——以南京市为例[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(3): 508-512
Sun J W, Huang X J, Ma Q F. Evaluation of the development of regional agricultural recycling economy by gray relational analysis—a case study of Nanjing City[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2007, 29(3): 508-512
- [10] 贾士靖, 刘银仓, 王慧军. 基于指标体系的河北省农业循环经济发展评价[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1230-1233
Jia S J, Liu Y C, Wang H J. Evaluation of the development of agro-recycling economy in Hebei Province using integrated index system[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(5): 1230-1233
- [11] 吴开亚. 巢湖流域农业循环经济综合评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(1): 94-98
Wu K Y. Comprehensive evaluation on the development of agricultural circular economy in Chaohu basin[J]. China Population, Resources and Environment, 2008, 18(1): 94-98
- [12] 冯华, 宋振湖. 山东省农业循环经济发展评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(4): 94-98
Feng H, Song Z H. Evaluation on development of the agriculture circular economy in Shandong Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2008, 18(4): 94-98
- [13] 卢远, 王娟, 陆赛. 区域农业循环经济能值评价的实证研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 482-487
Lu Y, Wang J, Lu S. Empirical research on emergy evaluation of regional agricultural recycling economy[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(2): 482-487
- [14] 陈玉成, 杨志敏, 陈庆华, 等. 重庆市循环农业的区域测度分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1580-1584
Chen Y C, Yang Z M, Chen Q H, et al. Regional measure of recycle agriculture in Chongqing City[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(6): 1580-1584

- [15] 李佳, 张元标. 基于粗糙集理论的广东省农业循环经济综合评价[J]. 广东农业科学, 2009(9): 275-278
Li J, Zhang Y B. Synthetical evaluation of agricultural circular economy in Guangdong Province based on rough set theory[J]. Guangdong Agricultural Science, 2009(9): 275-278
- [16] 张伟强. 基于 DEA 的广东农业循环经济效率评价[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(28): 13858-13860
Zhang W Q. Efficiency evaluation of agricultural circular economy in Guangdong Province based on DEA[J]. J Anhui Agri Sci, 2009, 37(28): 13858-13860
- [17] 秦钟, 王建武, 章家恩, 等. 广东省循环经济发展的生态效率研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 428-433
Qin Z, Wang J W, Zhang J E, et al. Eco-efficiency of circular economy development of Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 428-433
- [18] 王瑞波, 兰彦平, 周连第. 北京市山区板栗产业循环农业模式效益综合评价[J]. 农业技术经济, 2010(5): 85-91
Wang R B, Lan Y P, Zhou L D. Comprehensive evaluation of circular agriculture of Chinese chestnut industry in mountain areas of Beijing[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2010(5): 85-91
- [19] 刘华周, 陈海霞, 张岳芳, 等. 苏南稻麦两熟制农田循环清洁生产模式评价[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(6): 1395-1401
Liu H Z, Chen H X, Zhang Y F, et al. Evaluation of the circular clean production model of a wheat-rice double cropping system in south Jiangsu[J]. Jiangsu J Agric Sci, 2010, 26(6): 1395-1401
- [20] 梁龙, 陈源泉, 高旺盛. 基于生命周期的循环农业系统评价[J]. 环境科学, 2010, 31(11): 2795-2803
Liang L, Chen Y Q, Gao W S. Integrated evaluation of circular agriculture system: a life cycle perspective[J]. Environmental Science, 2010, 31(11): 2795-2803
- [21] 李莎莎, 郭艳清, 邓群钊. 基于系统动力学的循环农业动态评价研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(4): 2088-2092, 2117
Li S S, Guo Y Q, Deng Q Z. Study on the dynamic estimation of circular agriculture based on system dynamics[J]. J Anhui Agri Sci, 2010, 38(4): 2088-2092, 2117
- [22] 那伟, 祝延立, 庞凤仙, 等. 吉林省农业循环经济发展评价及优化对策研究[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(2): 209-212
Na W, Zhu Y L, Pang F X, et al. Evaluation on development of agricultural circular economy and optimizing countermeasure of Jilin Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(2): 209-212
- [23] 杨春, 杨利蓉. 基于 DEA 方法的射洪县循环农业发展效率评价[J]. 农业技术经济, 2011(4): 117-121
Yang C, Yang L R. Efficiency evaluation of agricultural circular economy in Shehong County based on DEA[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2011(4): 117-121
- [24] 赵金燕, 高建中. 陕西省循环农业发展综合评价[J]. 北方园艺, 2011(13): 208-210
Zhao J Y, Gao J Z. The comprehensive evaluation about the development of recycling agriculture in Shaanxi Province[J]. Northern Horticulture, 2011(13): 208-210
- [25] 马丁丑, 王文略, 马丽荣. 甘肃农业循环经济发展综合评价和制约因素诊断及对策[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(2): 204-208
Ma D C, Wang W L, Ma L R. Evaluation and diagnosis of trouble and countermeasures on development of agricultural recycling economy in Gansu Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(2): 204-208
- [26] 李渝, 蒋太明, 陶宇航. 猪-沼-粮、菜(果)循环农业模式能值分析[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(1): 148-151
Li Y, Jiang T M, Tao Y H. Energy analysis of pig-methane-grain, vegetable (fruit) circular agricultural model[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2011, 39(1): 148-151
- [27] 王艳, 王颖, 郝有利, 等. 三江平原农业循环经济的综合评价[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(2): 94-98, 103
Wang Y, Wang Y, Hao Y L, et al. Comprehensive evaluation on agriculture cycle economic in Sanjiang Plain[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2011, 23(2): 94-98, 103
- [28] 王爱玲, 周连第, 文化. 北京市循环农业综合评价与分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(29): 176-180
Wang A L, Zhou L D, Wen H. Comprehensive evaluation and analysis of recycling agriculture in Beijing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(29): 176-180
- [29] 周连第, 胡艳霞, 王亚芝, 等. 京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例[J]. 生态学报, 2012, 32(23): 7346-7354
Zhou L D, Hu Y X, Wang Y Z, et al. Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan Village as a case study[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7346-7354
- [30] 钟珍梅, 黄勤楼, 翁伯琦, 等. 以沼气为纽带的种养结合循环农业系统能值分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 196-200
Zhong Z M, Huang Q L, Weng B Q, et al. Energy analysis on planting-breeding circulating agriculture ecosystem linked by biogas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(14): 196-200
- [31] 范凤翠, 田玉, 李志宏. 不同生态区域循环农业发展障碍因素分析与评价——以石家庄市为例[J]. 河北农业科学, 2012, 16(9): 81-86
Fan F C, Tian Y, Li Z H. Analysis and evaluation of the obstacle factors of agricultural recycling development in different ecological regions—taking the city of Shijiazhuang as an example[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2012, 16(9): 81-86
- [32] 曾绍伦, 任玉珑, 王伟. 循环经济评价研究进展与展望[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 783-789
Zeng S L, Ren Y L, Wang W. Research of circular economy assessment: progress and prospect[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(2): 783-789
- [33] 雷学勤, 袁九毅, 潘峰, 等. 我国区域循环经济评价指标体系研究进展[J]. 环境与可持续发展, 2008(1): 15-18
Lei X Q, Yuan J Y, Pan F, et al. Research progress of circular economy assessment in different region of China[J]. Environment and Sustainable Development, 2008(1): 15-18
- [34] 柴玲玲, 万忠, 张禄祥. 广东省农业循环经济发展评价及区域差异分析[J]. 南方农村, 2010(2): 6-10
Chai L L, Wan Z, Zhang L X. Assessment of agricultural circular economic and the regional different in Guangdong Province[J]. Southern Rural Areas, 2010(2): 6-10
- [35] 杨玉蓉, 唐望庆. 湖南省农业循环经济发展评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12424-12426

- Yang Y R, Tang W Q. Evaluation of development of agricultural recycle economy in Hunan Province[J]. *J Anhui Agri Sci*, 2011, 39(20): 12424-12426
- [36] 李志军, 刘继生. 吉林省循环农业发展评价及优化调控研究[J]. *人文地理*, 2011(2): 98-102
- Li Z J, Liu J S. An evaluation on development of circular agriculture and its optimizing regulation of Jilin Province[J]. *Human Geography*, 2011(2): 98-102
- [37] 朱鹏颐, 张国. 福建农业循环经济发展评价与思考[J]. *东南学术*, 2007(3): 78-86
- Zhu P Y, Zhang G. Assessment and thinking on the agricultural circular economic in Fujian Province[J]. *South-Eastern Academic*, 2007(3): 78-86
- [38] 李娅婷, 张妍. 北京农业循环经济发展评价研究[J]. *环境科学与管理*, 2009, 34(1): 109-112
- Li Y T, Zhang Y. Study of the evaluation on the development of Beijing's agricultural recycling economy[J]. *Environmental Science and Management*, 2009, 34(1): 109-112
- [39] 王敏. 农业循环经济发展的评价体系及实证研究[J]. *东北农业大学学报: 社会科学版*, 2010, 8(6): 21-23
- Wang M. Assessing system and demonstrating study of circulating agricultural economic development[J]. *Journal of Northeast Agricultural University: Social Science Edition*, 2010, 8(6): 21-23
- [40] 吕贞龙, 龚志山, 顾国俊, 等. 上海农场循环农业的发展评价[J]. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2007, 28(4): 75-78
- Lü Z L, Gong Z S, Gu G J, et al. Assessments of circular agriculture in Shanghai Farm[J]. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 2007, 28(4): 75-78
- [41] 岳敏, 魏奋子. 基于能值分析的甘南藏族自治州农业生态经济评价[J]. *农业现代化研究*, 2009, 30(1): 96-98
- Yue M, Wei F Z. Based on energy evaluation for agricultural ecological system of Gannan Tibetan Autonomous Prefecture[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2009, 30(1): 96-98
- [42] 彭建, 刘松, 吕婧. 区域可持续发展生态评估的能值分析研究进展与展望[J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(5): 47-51
- Peng J, Liu S, Lü J. Retrospect and prospect of research on emergy analysis in the ecological assessment of regional sustainable development[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2006, 16(5): 47-51
- [43] 钟太洋, 黄贤金, 李璐璐, 等. 区域循环经济发展评价: 方法、指标体系与实证研究——以江苏省为例[J]. *资源科学*, 2006, 28(2): 154-162
- Zhong T Y, Huang X J, Li L L, et al. Assessing regional circular economy development: approaches and indicator systems: a case study in Jiangsu Province[J]. *Resources Science*, 2006, 28(2): 154-162
- [44] 徐凤君, 赵涛, 袁兰静. 循环经济综合评价指标体系的构建[J]. *内蒙古大学学报: 哲学社会科学版*, 2008, 40(6): 37-43
- Xu F J, Zhao T, Yuan L J. Study on the synthetical evaluation system of circular economy[J]. *Journal of Inner Mongolia University: Philosophy and Social Sciences*, 2008, 40(6): 37-43
- [45] 方中友, 陈逸, 陈志刚, 等. 南京市农业循环经济发展评价指标体系构建与对策[J]. *江苏农业学报*, 2007, 23(5): 487-491
- Fang Z Y, Chen Y, Chen Z G, et al. Establishment of indicator system for evaluation of agricultural recycling economy development in Nanjing City and its strategy[J]. *Jiangsu J Agr Sci*, 2007, 23(5): 487-491
- [46] 杨文, 李世平. 宁夏农业循环经济发展水平评价[J]. *农业技术经济*, 2008(6): 101-105
- Yang W, Li S P. Assessment on the development level of agricultural circular economic in Ningxia[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2008(6): 101-105
- [47] 王宝海, 李冬梅. 山东省循环农业的综合评价及实证分析[J]. *青岛农业大学学报: 社会科学版*, 2008, 20(3): 42-46
- Wang B H, Li D M. Comprehensive appraisal and empirical analysis on cycle agriculture in Shandong Province[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University: Social Science*, 2008, 20(3): 42-46
- [48] 潘安兴, 王芳. 基于熵值法的区域农业循环经济发展评价——以四川省为例[J]. *农机化研究*, 2008(7): 44-47
- Pan A X, Wang F. Evaluation of regional agricultural recycling economy development based on entroy—a case study in Sichuan Province[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2008(7): 44-47
- [49] 张宝东, 孙占祥, 白伟, 等. 基于灰色关联度分析的辽西地区典型种植模式评价[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(12): 2452-2456
- Zhang B D, Sun Z X, Bai W, et al. Evaluation of typical planting modes in western Liaoning Province based on grey relational analysis[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(12): 2452-2456
- [50] 罗丽. 新疆农业循环经济评价指标体系研究[J]. *生态经济: 学术版*, 2010(2): 156-158, 163
- Luo L. Research on evaluation of agriculture circular economy in Xinjiang[J]. *Ecological Economic: Academic*, 2010(2): 156-158, 163
- [51] 秦钟, 王建武, 章家恩, 等. 广东省农业循环经济发展的 DEA 分析与有效性评价[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 904-913
- Qin Z, Wang J W, Zhang J E, et al. Data envelopment analysis and efficiency evaluation on development of agricultural circular economy in Guangdong[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(6): 904-913
- [52] 姜艳君. 农业生命周期评价方法和技术体系分析[J]. *学术交流*, 2009, 181(4): 80-82
- Jiang Y J. Method and technologic systems of life cycle assessment in agriculture[J]. *Academic Exchange*, 2009, 181(4): 80-82
- [53] 邢芳芳, 欧阳志云, 杨建, 等. 经济-环境系统的物质流分析[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 261-268
- Xing F F, Ouyang Z Y, Yang J, et al. Material flow analysis for economic-environmental system[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 261-268
- [54] 武慧君, 袁增伟, 毕军. 巢湖流域农田生态系统磷代谢分析[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(12): 1658-1663
- Wu H J, Yuan Z W, Bi J. Phosphorus flow analysis of agricultural ecosystem in Chaohu Watershed[J]. *China Environmental Science*, 2010, 30(12): 1658-1663
- [55] 何玲, 刘秀娟, 王军, 等. 循环农业运行状态评价体系研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(9): 2802-2803
- He L, Liu X J, Wang J, et al. Research on the evaluation system of circulatory agriculture[J]. *J Anhui Agri Sci*, 2007, 35(9): 2802-2803