

发展循环农业是低碳经济的重要途径*

高旺盛¹ 陈源泉¹ 董文^{1,2}

(1. 中国农业大学循环农业研究中心 北京 100193; 2. 中国农村技术开发中心 北京 100045)

摘要 低碳经济是当前世界应对全球气候变化问题倡导的新的经济发展思路, 农业节能减排是发展低碳农业的重大任务。本文认为发展循环农业是农业节能减排的重要路径。主要体现在: 发展农田循环生产模式, 增强农田碳汇功能, 实现物质减量化投入, 促进低碳农业发展; 发展农牧结合循环模式, 减少废弃物污染, 提高畜牧业竞争力; 发展农菌循环链, 延长农田产业链, 提高农民收入; 发展复合生物循环模式, 增加生物多样性, 提高农业自然资源利用效率; 发展农业企业循环产业模式, 实现农业节能减排的工程化。

关键词 气候变化 低碳经济 节能减排 循环农业

中图分类号: F320 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2010)05-1106-04

Circular agriculture as an important way to low-carbon economy

GAO Wang-Sheng¹, CHEN Yuan-Quan¹, DONG Wen^{1,2}

(1. Circular Agriculture Research Center, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. China Rural Technology Development Center, Beijing 100045, China)

Abstract Low-carbon economy is a new developing economic thinking that responds to global climate change. In this paper, energy saving and emission reduction in agriculture is presented as an important low-carbon agriculture development method. This is mainly achieved through circular agriculture development. The ways of circular agriculture development in China includes enhancement of cropland carbon pools and cropland input reduction via developing circular production patterns. It is also an important way to develop combined circular pattern of cropping and pasture for reducing pollution from wastes and improving the competitive strength of pasture. Extending production chains in croplands and increasing farmer income via improving circular chains of edible fungi also make it viable. Meantime, a well developed circular agriculture increases biodiversity, improves the use efficiency of natural resources, enhances engineered energy saving and emission reduction. Developing circular industrial patterns and agricultural enterprises is another important way.

Key words Climate change, Low-carbon economy, Energy saving and emission reduction, Circular agriculture

(Received Jan. 27, 2010; accepted May 26, 2010)

低碳经济是当前世界应对全球气候变化问题倡导的新的经济发展思路, 引起世界广泛关注。其核心是建立“低消耗、低排放、低污染”的经济体系^[1-2]。循环经济理念早于低碳经济, 其核心思路是改变传统的“资源-产品-废品”生产体系, 实现“资源-产品-废弃资源再生利用-循环利用”的生产体系^[3]。由此可见, 二者的出发点是一致的, 都是强调改变传统的产业方式以及生活模式, 关注环境友好和资源节约, 是可持续发展战略的具体体现。农业是中国最大的产业, 也是节能减排任务最重的产业之一。如何采取科技途径, 发展低碳农业, 促进农业节能减排成为当前和今后更长时期内摆在科技领域面前的一项艰巨任务。

1 农业节能减排是发展低碳农业的重大任务

气候变化已成为当今世界发展面临的共同难题。根据 IPCC(2007)的报告^[4], 如果全球平均温度增加 1~3℃, 粮食生产潜力会增加, 但如果超过这一范围, 则会降低; 如果温度升高超过约 2~3℃, 很可能所有区域都将会减少净效益增加净损失; 如果温度升高 4℃, 全球平均损失可达国内生产总值(GDP)的 1%~5%。世界银行在 2009 年 9 月发布的《2010 年世界发展报告: 发展与气候变化》^[5]中称, 发展中国家在面对气候变化带来的威胁时更为脆弱, 将承受气候变化潜在影响的 75%~80%。其原因很大程度上是

* “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD89B01)资助

高旺盛(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为保护性耕作与循环农业。E-mail: wshgao@cau.edu.cn

收稿日期: 2010-01-27 接受日期: 2010-05-26

由于发展中国家对农业的依赖性强, 环境恶化使自然资源的压力不断增大, 并增大了农业管理的复杂性。

2009年11月9日, 世界粮农组织呼吁增加低碳农业投资, 认为低碳农业既能遏制气候变化, 又能增加发展中国家的粮食产量^[6]。我国《第二次气候变化国家评估报告》的初步结果显示: 近百年来我国地表平均气温上升, 极端事件趋多趋强; 未来气候变暖将进一步加剧^[7]。中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所的研究指出, 初步估算, 温度升高、农业用水减少和耕地面积下降会使中国2050年的粮食总生产水平较2000年的5亿t下降14%~23%^[5]。农业是温室气体排放的重要源, 主要包括稻田CH₄排放、农田N₂O排放。全球平均而言, 农业源温室气体排放占排放总量的20%, 中国农业源温室气体排放占总排放量的17%^[8]。根据《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》, 1994年中国温室气体中CH₄排放主要来自农业活动和能源活动, 而农业活动排放约占50.15%, 农业活动是CH₄的最大排放源, 其中反刍动物排放占29.70%, 水稻种植排放占19.73%; N₂O排放主要来自农业活动, 农田直接排放约占60.3%, 间接排放约占19.5%。由此可见, 农业减排的潜力很大, 需要从政策和技术等多个层面展开研究^[9]。

2 发展循环农业是农业节能减排的重要路径

循环农业是按照循环经济理念, 通过农业生态经济系统的设计和管理, 实现农业系统的光热自然资源利用效率最大化、购买性资源投入最低化、可再生资源高效循环化、有害污染物最少化目标的农业产业模式^[10]。通过科技创新, 发展循环农业是应对农业节能减排, 促进低碳农业发展的重要途径。根据笔者组织的全国循环农业项目研究的初步结果以及有关成果, 实现循环农业的基本模式及途径有以下5个方面。

2.1 发展农田循环生产模式, 增强农田碳汇功能, 实现物质减量化投入, 促进低碳农业发展

低碳农业的核心是减少农业的现代物质投入, 实现节肥、节药、节水、节能, 同时增强农田土壤的碳汇功能。种植业的循环生产体系建设需通过秸秆还田、科学施肥、少免耕等技术提高农田的碳汇能力。主要技术途径包括:

(1) 秸秆直接还田循环利用模式。据研究表明^[11], 少免耕和秸秆还田可减少农业碳排放总量的4%~7%。国家保护性耕作项目组多年研究表明, 秸秆还田可减少温室气体的排放, 与常规耕作相比, 我国保护性耕作技术可减少碳排放5%~20%。江苏省长期定位试验结果表明, 秸秆还田+翻耕还田3年后土壤有机质比对照增加4.7%~13.0%。四川省连续8年双免秸秆覆盖可使土壤有机质明显提高, 在不

施肥耕种条件下, 通过粮豆轮作, 基本可以维持土壤有机质的平衡。湖南省的研究结果表明, 水稻-水稻-冬闲耕作制有机质含量较监测前有所下降, 而水稻-水稻-绿肥(紫云英)、水稻-水稻-油菜、水稻-水稻-小麦3种耕作制则均有一定的上升。

(2) 减少化肥和农药使用量, 减轻农业生产中的碳排放。用粪肥、堆肥或有机肥替代或部分替代化肥, 提高土壤有机质含量; 通过秸秆还田增加土壤养分, 提高土壤保墒能力, 进而提高土壤生产力。利用生物之间的相生相克关系防治病虫害, 减少农药、特别是高残留农药的使用量。这些技术的应用都有助于促进低碳农业的发展。全国循环农业项目实施中, 各地区结合区域实际, 研究提出了多种“秸秆还田+化肥调控”的综合减量化技术模式, 通过秸秆还田的肥田作用, 在一定程度上减少了化肥投入, 实现了减肥不减产甚至增产的目标。江苏省制订了两熟制农田综合减量化技术集成示范操作规程, 其关键技术为: 秸秆还田-旋耕-机条播(小麦)或机插(水稻)-化肥、农药减量-机收。示范结果表明: 稻麦周年产量略有增产(3.83%), 秸秆还田率达100%, 化肥减少20%以上, 化学农药减少33%~50%, 农田生态环境明显改善。

2.2 发展农牧结合循环模式, 减少废弃物污染, 提高牧业竞争力

我国是畜禽养殖大国, 尤其近年来规模化养殖的迅速发展, 产生了大量的畜禽粪便和废物。畜禽粪便易进入水体, 既造成养分流失又导致水质污染, 但粪便高效回田循环利用技术的系统性和可操作性亟待提高。因此, 加强农田种植业废弃物直接还田、堆肥还田等技术以及种植业产业链延伸技术, 牧业生产废弃物安全还田技术等的研究, 是实现农田生产过程废弃物“资源化”就地循环利用、加环增值及畜牧业废弃物回田循环利用的迫切需要。

(1) 畜禽粪便肥料化利用技术。北京市对鸡粪与玉米秸秆室外堆肥、蔬菜废弃物沤肥以及有机肥安全利用进行了系统研究, 延庆县的绿富隆有机农业基地的无土栽培基质配方实现了全部使用有机肥作为肥源。广东省也开展了以牛粪和蘑菇渣为原料的好氧堆肥研究。甘肃省的研究显示, 采用微生物辅助降解和化学C/N调节法进行有机肥堆制, 可较大幅度降低化学肥料的投入量, 以牛粪、作物秸秆为原料, 辅以微生物菌剂堆肥后用于大田玉米生产, 具有减投30%化学氮肥的潜力; 以牛粪为原料, 进行C/N调节堆肥后用于制种玉米生产具有节投50%化学氮肥的潜力; 糠醛渣化学处理后用于制种玉米生产, 在用量为32.65 t·hm⁻²时, 具有替代50%化学氮、磷肥的潜力

(2) 能源化利用技术。主要指废弃物“沼气”利

用技术。如湖南省课题组研究了稻草高效持续产沼气调控技术,发现整株处理稻草更容易与沼液混合,通过微生物发酵反应,可提高沼气产生速率和沼气产量。

(3) 综合化利用技术。废弃物产生的沼液、沼渣可用于蔬菜、花卉、马铃薯、水稻等多种作物的高效栽培。例如,广东省的“猪-沼液-蔬菜”模式实现了猪场废水无害化处理及其种植牧草与蔬菜的循环利用。湖南省研究显示,菌渣、菌渣+沼渣能明显地提高油菜籽产量,施用有机废弃物后,肥料成本减少 43.1%~50.0%,油菜籽收入增加 7.0%~10.4%,净收入增加 20.7%~39.7%。

(4) 养殖业废弃物还田循环利用技术集成。对畜禽养殖废弃物还田关键技术、还田过程对土壤理化性状及作物产量影响的分析和测定、沼气生产及残余物还田技术、养殖业废弃物高效直接还田技术、养殖业废弃物的快速腐熟还田加工技术、玉米秸秆资源化技术以及北方寒冷地区沼气干发酵技术与设备研究等多项技术的集成,建立养殖业废弃物高效循环利用技术体系,取得了较好的应用效果。

2.3 发展农菌循环链,延长农田产业链,提高农民收入

食用菌具有繁殖速度快、生物学效率高的特点。栽培食用菌的主要原料是农林牧业的副产品,采收食用菌后的菌渣可作为有机肥料,食用菌产业的特点是循环、高效、节水、无污染。发展食用菌循环链,延长农田产业链,是提高农民收入的重要途径。以福建省为例,通过稻草堆制发酵技术、优质高产栽培管理技术、菌渣循环利用技术等关键技术的集成,构建了以食用菌产业为核心,以水稻生产为主的农作物秸秆资源高效循环利用模式和技术体系。该课题主要应用 4 种模式循环开发作物秸秆与菌渣:

(1) 秸秆-食用菌-菌渣选作菌料-种植业模式。该循环模式是以作物秸秆栽培食用菌为主要环节,辅以菌渣再生利用作为草生菇的栽培料,以实现一料两用两收获。但食用菌的菌渣再作为基质栽培另一菇类,关键要解决好培养料养分平衡和调控。课题组应用食用菌菌渣再生栽培几种菇类的研究已有相关报道,相关研究表明,食用菌菌渣所含营养成分较高,用于栽培另一种食用菌时,菌丝生长迅速,效果甚好。下一步将建立秸秆-食用菌-菌渣再生利用型农业循环模式的生产标准,以利于规范操作。

(2) 秸秆-食用菌-菌渣选作饲料-种植业模式。食用菌收获后,菌渣中仍含有大量的活性微生物和食用菌丝以及未被吸收的营养物质和微量元素。将食用菌菌渣经过一定的工艺发酵,可作为饲料蛋白质替代源。据测算,1.87 kg 菌渣相当 1 kg 麦草,具有一定的利用价值。因此,菌渣可酌情选用作为饲料或饲料添加剂,既可饲喂草食动物,也可饲喂肉食

动物,以此来构建秸秆栽培食用菌以及菌糠发酵处理作为饲料添加剂的农业循环模式。

(3) 秸秆-食用菌-菌渣直接回田-种植业模式。食用菌渣疏松透气,营养成分高,可直接还田、覆盖茶园和果园,增加土壤有机质积累和有益微生物繁殖,改善土壤环境条件,提高土壤氮、磷有效性,因此可与秸秆栽培食用菌构成秸秆-食用菌-种植业循环利用型的农业开发模式。

(4) 秸秆-食用菌-菌渣制作肥料-种植业模式。食用菌渣经过工艺处理可制成不同类型、不同系列的专用或复合有机肥,目前菌渣制作有机肥的工艺已日渐成熟。随着菌渣制作有机肥工艺与技术的不断改进,秸秆-食用菌-有机肥-种植业循环利用型的农业开发模式的应用前景将十分广阔。

2.4 发展复合生物循环模式,增加生物多样性,提高农业自然资源利用效率

我国是光热资源相对比较丰富的国家,尤其是大部分高产农田地区具有充分的光热资源,具有发展农田循环种植模式的潜力。根据研究,我国的复种指数在依靠现代技术的前提下,尚有增加 10~15 个百分点的资源潜力,主要技术途径是发展多元化的间作、套种以及复种模式。另一方面,目前对自然资源,尤其是水资源、磷、钾等稀缺型资源的利用效率不高,循环利用体系尚未建立。全国平均种植业的光能利用率仅不足 1%,而理论上农田光能利用率可达到 5%左右。骆世明^[12]认为,改变高碳农业的方法就是发展生物多样性农业。生物多样性农业由于可以避免使用农药、化肥等,某种意义上属于低碳农业。

(1) 复合种植模式。间套作可以实现肥料减量化:包括利用豆科作物固氮和不同作物互补效应来实现肥料的减量化。例如甘肃省张掖市禾本科/禾本科间套作(小麦/玉米带田间作)节水、省肥增产、高效种植模式核心示范田平均产量达到 $14\ 175\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比农民习惯种植方式平均增产 $1\ 950\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅在 14%以上,节水 $1\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,节约磷肥(过磷酸钙肥料) $525\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,节本增收 $3\ 300\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。禾本科/豆科间作(玉米间作针叶豌豆)固氮、活化磷素的高效种植模式核心示范区,间作豌豆籽粒产量达 $3\ 150\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增收 $8\ 175\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$;玉米产量达 $14\ 205\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均增产 $1\ 275\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,节约氮肥(尿素) $225\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,节本增收 $10\ 425\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

间作促进增产增收:如广东省研究香蕉间作花生和大豆每公顷可分别增收 2 280 元和 4 800 元;甜玉米/大豆间作模式土地当量比大于 1,甜玉米的产量、经济效益也分别提高 1.96%、7.86%,养分利用率比单作提高 65.48%。多种多熟高效模式:例如,广东省的“蔬菜-中晚稻-蔬菜”水旱轮作循环高效种植模式与传统蔬菜种植模式相比,光温水肥土资源

综合利用率提高 30 个百分点, 单位农田化肥、农药施用量减少 20% 左右, 经济效益平均提高 20% 以上, 农田产量平均增加 27.8% 以上。湖南省的研究表明, 翻耕移栽油菜-双季稻模式的生物产出和经济产出最高, 晚稻产量达 $7\ 947\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比冬闲-双季稻模式增产 11.9%, 光能利用率达 1.41%。四川省的“粮-(秸秆)-中药材”还田模式, 整草覆盖和粉碎覆盖后中草药附子平均增产 7.01% 和 10.43%, 秸秆腐熟还田后, 增产 10.77%~21.5%。棉田间套复合模式: 河南省筛选了麦/棉//瓜、麦/棉//瓜//菜、麦/棉/菜 3 种复合模式, 复种指数提高 3~5 个百分点, 光热资源利用率提高 10%, 购买性资源投入成本下降 20%, 农田总生产力提高 10% 以上, 农田生物多样性指数显著提高, 单元综合经济效益提高 10% 以上。

(2) 林(果)-粮(菌)复合模式: 例如, 陕西省关中平原的猕猴桃套种洋葱年收入为 $31\ 500\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、套种韭菜年收入为 $27\ 000\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、套种白术年收入为 $22\ 500\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$; 北京市、河北省的杨树|| (低温平菇-高温平菇、高温香菇或黄背木耳-鸡腿菇) 循环高效种植模式, 纯收入 $121\ 125\sim 200\ 700\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(3) 复合种养循环模式: 稻田养鸭: 湖南省研究表明, 稻田养鸭可使稻田杂草减少 28.8%、除草剂使用量减少 35.3%, 各种水稻病虫害减少 70%~80%, 农药施用量减少 95%, 化肥用量减少 65%~75%, 每公顷可减少农药成本 600~900 元、化肥成本 150 元、减少用工 1.5 个。“草-畜禽(鱼)-稻”循环: 江西省通过猪粪-苏丹草和黑麦草-养鱼-鱼塘水和塘泥种植水稻模式、猪粪和沼肥-苏丹草和黑麦草-养鹅-鹅粪种植水稻模式, 解决猪粪、鹅粪的有效利用问题, 水稻施用鹅粪增产效果最好, 产量最高, 达 $8\ 700\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比施猪粪增产 4.2%, 比施沼液肥增产 1.8%, 比施化肥增产 13.0%, 比施塘泥增产 31.8%, 比不施肥增产 50.0%, 说明采用猪-草-鹅-稻循环方式是一种比较好的模式。

2.5 发展农业企业循环产业模式, 实现农业节能减排的工程化

近年来, 在局部区域(村、镇、流域、科技园区) 基于资源环境基础, 构建企业型的循环农业生产模式, 实现生态经济的双重高效产出成为各地探索实践的重点, 这类模式的突出特点是系统的经济效益高。这类模式以企业经营为主, 注重资源的多元循环综合利用和产业链接, 突出了模式的经济效益, 同时也实现了生态环境的保护, 是比较高级的循环农业发展模式。

案例 1: 杭州正兴牧业有限公司。该公司对 1 100 头存栏奶牛、4 900 头存栏猪规模养殖场的污水采用“厌氧 UASB+稳定塘+人工湿地+农业利用”、畜粪堆肥工程进行废弃物、污水处理, 组建了沼-水-肥耦合循环农业模式。每日处理污水 145 t, 年处

理污水 4 万 t, 利用粪便 1.1 万 t; 可日产沼气 $400\ \text{m}^3$ 。每年可消减污染物 $\text{COD}_{\text{Cr}}\ 278\ \text{t}$, $\text{BOD}\ 140\ \text{t}$, $\text{SS}\ 153\ \text{t}$, 减少 $\text{NH}_3\text{-N}\ 61\ \text{t}$ 和 $\text{TP}\ 2.97\ \text{t}$ 。整个循环经济模式年总收益达到 44 万元, 如考虑农业增收及环境效益则达到 124 万元, 每公顷增收约为 12 825 元。

案例 2: 福建星源养殖场: 福建福清市星源农牧业开发有限公司, 开展以规模化养猪场为单元的循环农业集成技术与示范。主要研究并配套了 7 项技术: ①完善健康养殖体系; ②完善固液分离技术; ③配套沼气发电技术; ④污水净化消纳技术; ⑤循环利用开发技术; ⑥生态系统能值分析; ⑦复合有机肥料生产。目前, 固液分离产生的猪粪渣栽培双孢蘑菇 $50\ 000\ \text{m}^2$; 引种 10 个品种的杂交狼尾草开展牧草品种示范, 建设 $1\ \text{hm}^2$ 狼尾草消纳净化污水的示范片; 投产菌渣及猪粪堆肥发酵生产有机肥生产线, 实现年产有机肥 11 000 t; 利用沼液施肥 $14.67\ \text{hm}^2$, 氧化塘利用沼液养鱼 $3.33\ \text{hm}^2$, 年产鲜鱼 12500 kg。该基地循环系统已基本建成并初步实现产业化运行。

致谢 2007 年国家科学技术部启动了“十一五”科技支撑计划重点项目“农田循环高效生产模式与技术体系研究示范”(2007BAD89B00), 项目首席专家为高旺盛教授。该项目设置 18 个课题, 分别在全国 14 个省区实施。经过两年研究实践, 初步探索了我国循环农业的适宜模式以及先进、适用、高效的技术路径。本文涉及的一些案例主要来源于各课题组的 2 年总结报告, 在此表示感谢!

参考文献

- [1] 任力. 低碳经济与中国经济可持续发展[J]. 社会科学家, 2009(2): 47-50
- [2] 金乐琴, 刘瑞. 低碳经济与中国经济发展模式转型[J]. 经济问题探索, 2009(1): 84-87
- [3] 杨志, 张洪国. 气候变化与低碳经济、绿色经济、循环经济之辨析[J]. 广东社会科学, 2009(6): 34-42
- [4] IPCC. 2007: Summary for policymakers[M]//Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 7-22
- [5] 中国贸易救济信息网. 气候变化威胁粮食安全, 低碳农业应运兴起[EB/OL]. <http://www.cnan.gov.cn/jctj/t20091216-322175.phtml>
- [6] 粮农组织呼吁增加低碳农业投资[EB/OL]. <http://nongye.sina.com.cn/rollnews/20091110/13565536.shtml>, 2009-11-09
- [7] 李新玲. 我国是气候变化受害国 近百年地表温度平均上升 1.1 度[EB/OL]. http://news.shangdu.com/201/2009/11/18/2009-11-18_262964_201.shtml, 2009-11-18
- [8] 董红敏. 湖北恩施启用沼气 CDM 项目实例[J]. 农业工程技术: 新能源产业, 2008(5): 23-26
- [9] 黄耀. 中国的温室气体排放、减排措施与对策[J]. 第四纪研究, 2006, 2(5): 722-732
- [10] 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
- [11] 范建. 保护性耕作体系独特适用, 农民一学就会[N]. 科技日报, 2009-11-10
- [12] 骆世明. 我国农业发展可用低碳农业代替高碳农业[EB/OL]. http://www.ce.cn/cysc/agriculture/gdxw/200908/17/t20090817_19591465.shtml, 2009-08-17