

# 三峡库区低碳农业发展模式与减排对策

腾耀华<sup>1</sup>, 张军以<sup>2</sup>, 苏维词<sup>3,4</sup>

(1. 松桃自治县环境保护局, 贵州 铜仁 554100; 2. 贵州师范学院 地理与旅游学院, 贵阳 550003;  
3. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047; 4. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵阳 550001)

**摘要:**在对三峡库区自然环境及生态农业发展存在问题分析的基础上,运用类比方法估算了三峡库区农业系统温室气体的排放量,结果显示 2008 年三峡库区耕地 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 的排放量分别为 10, 7, 0.5 万 t/a。在此基础上进一步提出了山地综合立体开发模式、立体生态渔业养殖模式、水土流失综合防治模式、特色循环生态农业复合模式 4 种低碳农业发展模式及相应的减排对策。

**关键词:**三峡库区; 碳排放量; 发展模式; 对策

中图分类号: F303; X322

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)02-0226-05

## Study on Low—Carbon Eco-agriculture Model and Reduction Countermeasures in the Case of Three Gorges Reservoir

TENG Yao-hua<sup>1</sup>, ZHANG Jun-yi<sup>2</sup>, SU Wei-ci<sup>3,4</sup>

(1. Songtao Autonomous County Environment Protection Bureau, Tongren, Guizhou  
554100, China; 2. Department of Geography and Tourism, Guizhou Normal College, Guiyang  
550003, China; 3. Department of Geography, Chongqing Normal University, Chongqing 400047,  
China; 4. Institute of Mountain Resource, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Based on the analysis on the characteristics of natural environment and problems of circular eco-agricultural development, analogy method was used to estimate the agricultural system of greenhouse gas emissions in the Three Gorges Reservoir Area. The results showed that the reservoir area the amount of farmland emissions CO<sub>2</sub> was  $1.0 \times 10^5$  tons, CH<sub>4</sub> was  $7.0 \times 10^4$  tons, and N<sub>2</sub>O was  $5.0 \times 10^3$  tons in 2008, respectively. Based on the estimation of greenhouse gas emissions from agricultural production of Three Gorges Reservoir Area, suggestions on low—carbon eco-agriculture development models of Three Gorges Reservoir area were put forward. These models include integrated mountain stereoscopic development models, three—dimensional ecological fishery breeding models, the prevention and control of soil erosion model, characteristics—based ecological agriculture circulation composite models and the reduction measures.

**Key words:** Three Gorges Reservoir; carbon emission; development model; strategy

温室气体排放引起的全球气候变暖已成为人们关注的焦点,陆地生态系统中农田生态系统是温室气体的主要排放源之一<sup>[1]</sup>。20 世纪 80 年代,IPCC 报告指出全球稻田 CH<sub>4</sub> 排放量每年高达 110 Tg,约占全球 CH<sub>4</sub> 排放总量的 1/5<sup>[2]</sup>,IPCC 第 3.4 次评估报告指出:近 50 a 全球气候变暖主要是人类活动大量排放温室气体的增温效应造成的。农业作为国民经济的基础产业是温室气体的第二大重要来源,排放量

介于电热生产和尾气之间<sup>[3]</sup>。1994 年中国温室气体清单报告指出了 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 共 3 种温室气体的排放源和吸收汇,其中农业活动排放了 92% 的 N<sub>2</sub>O 和 50% 的 CH<sub>4</sub><sup>[1]</sup>。土壤中有有机物经微生物分解,以 CO<sub>2</sub> 的形式释放到大气,CH<sub>4</sub> 可在淹水的农田中经发酵作用产生,全球 1/2 以上的 N<sub>2</sub>O 来自土壤的硝化和反硝化过程<sup>[4]</sup>。同时我国农业中反刍动物消化及粪便的 CH<sub>4</sub> 排放量分别为 2.38~6.67 Tg/a

收稿日期:2011-09-23

修回日期:2011-12-18

资助项目:贵州省科学技术基金项目(黔科合丁字[2011]2294);国家社会科学基金项目(10CJY044);重庆市自然科学基金项目(CSTC2007BB7225);贵州省高层次人才特助经费基金项目([TZJF2008]022);贵州省省长基金(黔省专合字[2010]76);贵州省科技计划项目(黔科合院所能[2010]4001);贵州省科技攻关计划项目(SY[2010]3015);贵州省科学技术基金项目“黔科合 J 字”[2011]2033

作者简介:腾耀华(1982—),女,贵州松桃县人,学士,主要从事环境监测和水土保持研究。E-mail:tyh8209@126.com

和  $0.55 \sim 0.77 \text{ Tg/a}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  约  $0.246 \text{ Tg/a}$ <sup>[5]</sup>。农业生产对温室气体排放的贡献,已成为加速全球变暖不容忽视的人类活动之一<sup>[6]</sup>。农业生态系统的碳库不仅是全球碳库的重要组成部分,且是最活跃的部分。在农业生产活动的影响下,土壤碳库的质和量变化迅速,影响土壤肥力及作物产量,给区域乃至全球环境带来影响<sup>[7]</sup>,同样农业土壤固碳对温室气体的累积贡献巨大,积累量占人类活动释放到大气中  $\text{CO}_2$  的  $1/4$ <sup>[8]</sup>。因此,减少农业温室气体排放,对缓解全球气候变暖具有重要意义。

## 1 三峡库区循环生态农业发展滞后的主要原因

三峡库区处于长江两岸分水岭范围,东起宜昌,西至重庆,长约  $662.9 \text{ km}$ ,属典型的生态脆弱区,是我国仅次于黄土高原的另一个水土流失敏感区,为我国生态环境保护的重点地区<sup>[9]</sup>,生态地位极其重要。三峡库区农业发展以传统粗放农业发展模式为主,农业生产中注重资源的投入,大量使用化肥、农药,在使用过程中产生大量的温室气体导致潜在气候变化,农业生产管理水平低,农业生产链中碳排放量高,转变农业发展模式,发展低碳循环生态农业,是库区生态建设的根本需要。

### 1.1 耕地资源短缺,自然灾害频繁,农业发展条件差

三峡库区地跨大巴山断褶带、川东褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带,地貌以山地、丘陵为主。河谷平坝占  $4.3\%$ ,丘陵占  $21.7\%$ ,山地占  $74\%$ 。2008年,库区耕地面积为  $195\,588 \text{ hm}^2$ ,小于  $10^\circ$  的耕地只占  $21.9\%$ 。据不完全统计仅库区重庆段地质灾害点总数约 755 处,总体积约  $12.59 \text{ 亿 m}^3$ ,其中滑坡 527 处,体积  $10.96 \text{ 亿 m}^3$ ,崩塌(含危岩)203 处,体积约  $1.3 \text{ 亿 m}^3$ ,泥石流 25 处,体积约  $0.34 \text{ 亿 m}^3$ 。从 20 世纪 70 年代末开始,洪涝灾害每年都有发生,伏旱频率高,绝大部分区域伏旱频率  $\geq 60\%$ <sup>[10]</sup>,农田水利设施不完善,年久失修,可用率低,2008 年灌溉水田仅占耕地总面积的  $31.96\%$ 。

### 1.2 人地矛盾尖锐,水土流失严重,生态系统脆弱

2008 年库区农业人口  $1\,385.67$  万人,人口密度  $261 \text{ 人/km}^2$ ,居西部地区 12 省(自治区)之首。调研显示,库区农户成员的平均受教育年限短,综合文化素质低。2008 年人均耕地面积  $0.050 \text{ hm}^2$ ,低于联合国粮农组织规定的人均  $0.053 \text{ hm}^2$  警戒线水平,2008 年库区还林还草面积  $24\,021.64 \text{ hm}^2$ ,三峡水库蓄水后部分位于河谷平坝的耕地被淹没,根据  $175 \text{ m}$  蓄水方案,共淹没耕地  $2.38 \text{ 万 hm}^2$ ,其中水田  $0.74 \text{ 万 hm}^2$ ,旱地  $1.64 \text{ 万 hm}^2$ ,柑桔地  $0.49 \text{ 万 hm}^2$ <sup>[11]</sup>,使人

地矛盾更加突出。2005 年库区仅重庆段年均土壤侵蚀总量  $8\,774.55 \text{ 万 t}$ ,土壤侵蚀模数  $3\,776.59 \text{ t/(km}^2 \cdot \text{a)}$ ,水土流失面积比例  $52.84\%$ ,其中中度以上侵蚀面积占  $76.33\%$ 。此外,库区农村能源结构仍以薪柴和秸秆直接燃烧为主,使地表植被受到严重破坏,生物多样性下降,易造成水土流失,使生态基底环境脆弱化。

## 2 三峡库区农业系统温室气体排放量估算

2008 年库区耕地面积为  $195\,588 \text{ hm}^2$ ,粮食作物播种面积  $351\,396 \text{ hm}^2$ ,耕地中水田、旱地面积分别为  $86\,617, 108\,971 \text{ hm}^2$ 。农业生产中温室气体的  $\text{N}_2\text{O}$  排放源主要有农田施肥、动物排泄物处理及生物质燃烧; $\text{CH}_4$  主要是由土壤在厌氧条件下或生物质在缺氧条件下发酵由产甲烷菌等产生,在农业生产中主要来自水田; $\text{CO}_2$  排放来自作物的播种、灌溉、收割、干燥以及化肥等的间接排放。据估算现代农业生产中播种、灌溉、收割、干燥以及肥料工业的温室气体排放量平均分配到全球的农田则为  $100 \sim 130 \text{ kgC/(hm}^2 \cdot \text{a)}$ <sup>[12]</sup>,则三峡库区仅农业生产中播种、灌溉、收割、干燥以及施肥造成的温室气体排放量约  $25\,426.44 \text{ tC/(hm}^2 \cdot \text{a)}$ 。李长生<sup>[4]</sup>等通过 DNDC 模型对四川 1990 年  $1.15 \times 10^7 \text{ hm}^2$  农田的  $\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$  排放量进行估算其排放量中值分别为  $3.62 \times 10^6, 1.545 \times 10^6, 8.2 \times 10^4 \text{ t/a}$ ,四川省耕地每年的  $\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$  平均排放量分别为  $0.315, 0.134, 0.007 \text{ t/(hm}^2 \cdot \text{a)}$ 。由四川省年平均排放量估算 2008 年三峡库区  $\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$  年排放量分别为  $861\,610.22, 26\,208.792, 1\,388.674 \text{ t}$ 。重庆农业生态系统是川渝地区  $\text{N}_2\text{O}$  的主要排放地区之一,杨俊<sup>[13]</sup>等研究表明,2000—2004 年重庆地区农业生产系统的  $\text{N}_2\text{O}$  的平均排放量为  $13\,860 \text{ t/a}$ ,其中农田直接排放  $\text{N}_2\text{O}$  达  $8\,300 \text{ t/a}$ ,2004 年  $\text{N}_2\text{O}$  的平均排放量与估算结果相差较大,分析原因由四川省的年耕地平均排放量的数据具有时效差,且当前农业生产中大量的使用机械、农药、化肥等。因此,2008 年三峡库区耕地的  $\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$  年排放量估计可分别达到  $10 \text{ 万 t/a}, 7 \text{ 万 t/a}, 0.5 \text{ 万 t/a}$ 。

## 3 三峡库区发展低碳循环生态农业的模式选择

按因地制宜,比较优势的原则,结合库区特殊的自然地理环境及三峡水库水质安全对库区农业发展提出的更高环保要求,提出了库区 4 种低碳循环生态农业发展模式,详见表 1。

### 3.1 山地综合立体开发利用模式

三峡库区山地与丘陵占 95.7%, 复杂的地貌环境、丰富的生物多样性及独特的小气候环境, 为发展多样化生态农业提供了基础, 可利用山地丘陵地表面积大的优势, 充分利用其立体空间, 进行立体梯度开发, 提高森林及森林土壤碳汇, 我国南方森林碳汇成本仅为 1.51 美元/tC<sup>[14]</sup>, 成本低可大规模推广。如中山带: 坡度较大, 水土流失风险大, 以建设水源涵养林, 防护林为主, 辅以灌丛、草被, 宜种植马尾松、杉、桉树等树种, 以林—灌—草混交为佳。低山缓坡带: 根据缓坡区不同的土壤特性, 发展经果林, 种植黄梨、猕猴桃、油桐、核桃等品种。同时, 林下辅以阴生药用植物, 如党参、吴茱萸、薯蓣、太白贝母等。丘陵缓坡带: 以生态环境效益优先, 对坡耕地进行土地综合整治, 如坡改梯, 改良土壤肥力等, 提高耕地质量, 发展旱地种植业、经果林及耐旱蔬菜(如辣椒)及本地地道药材的种植, 对不宜进行整理的土地, 进行还林还草, 适当发展畜牧业。根据海拔高度及坡度, 采用立体递进的复合方式, 在沿江河谷的河川平坝采用果—粮—菜—猪—沼—渔水陆循环型高效生态农业模式, 在丘陵缓坡区采用桔—粮—经—畜—桑—沼共生互惠型高效生态农业模式, 在中山区域采用林—粮—油—薯—草—畜水土保持型高效生态农业模式, 在海拔高度超过 800 m 以上的中高山区采用干果—药—茶—烟—草名优土特型高效生态农业模式<sup>[15]</sup>。选择立地适应性强的本地植物种类作为环境背景基调种群, 充分利用土地及空间资源, 在突出经济效益时兼顾生态效益。

### 3.2 立体生态渔业养殖模式

库区河流众多, 水生态环境多样, 为鱼类和其它水生生物提供了优良的栖息条件, 开发前景广阔。三峡水库是典型的河道型水库, 水位变化幅度较大, 直接影响到鱼类栖息, 监测表明建库前干流流速平均为 2.3 m/s, 支流平均流速在 0.5 m/s 以上, 蓄水后回水区水流平均流速为 0.1~0.5 m/s, 支流回水区平均流速在 0.1 m/s 以下, 导致鱼类、藻类等水生生物生境条件变化<sup>[16]</sup>, 影响库区渔业的发展。因此, 库区生态渔业的发展可适当转向水田立体生态渔业, 库区鱼类资源丰富, 如铜鱼、鲢鱼、黄颡鱼、草鱼、圆口铜鱼、长吻鱼等, 可发展稻田养鱼, 立体放养, 按食物链原理, 鱼类习性、食性及生态位, 合理搭配混养结构, 充分利用水域空间和天然饵料, 减少食物链的营养级, 提高饵料等资源的利用效率。2008 年库区水田面积 86 617 hm<sup>2</sup>, 也可发展稻田养鱼和秸秆养藕结合, 稻田中杂草和底栖动物数量多, 浮游生物少, 因此稻田

养鱼以放养草/鲫鱼、非鲫、革胡子鲶等肉食性鱼类为主, 少量搭配鲢/鳙鱼, 混合放养, 既减少了稻田有机物发酵产生的 CH<sub>4</sub> 等温室气体, 又提高了生物质的利用效率。

### 3.3 水土流失综合防治模式

三峡库区地形以山地丘陵为主, 地表起伏频率大, 水土流失和生态破坏严重。改善库区脆弱的生态环境就必须增加地表覆被度, 提高生物多样性, 改善植被群落结构。建设发展规模性的水土涵养林、经果林、林灌混交林等生态型林业, 提高植被覆盖率, 改善植被群落结构, 提高森林碳汇, 按人工造林固碳率 1.4 t/(hm<sup>2</sup>·a) 计算, 库区森林覆盖率提高 1%, 将年增加森林碳汇 11.06 万 t<sup>[17]</sup>。根据不同的立地条件, 一是建设水土流失防护林带, 在坡度 25° 以上的陡峻山坡、坡耕地及库区河源区, 以营造水源涵养林、防护林为主的防护林体系, 种植松(马尾松、华山松、巴山松)、杉、槐、栎类、黄栌、化香、油桐等<sup>[18]</sup>, 实行林—灌—草混交搭配, 增加生物多样性, 提高植被系统的稳定性。二是在丘陵缓坡带以坡改梯土地整理为基础, 发展集约型经果林及旱田种植业, 结合林下空间, 饲养鸡鸭等家禽, 提高资源利用率, 并可防治林木病虫害。此外, 政府应加大对库区生态环境问题治理的投入力度, 已有研究表明对现有生态环境问题的治理有利于库区土地生态安全状况的改善<sup>[19]</sup>。

### 3.4 特色循环生态农业复合模式

三峡库区农业生产仍以粮食种植为主, 可利用库区山地丰富的生物资源及独特的小气候环境发展林果、药、茶等特色循环生态农业, 减少农业生产过程中废弃物的产生, 提高农业碳汇, 并使原生生态系统得到休养和自我修复。可依托库区现有的名优特色作物为基础, 发展高效绿色果园、茶园, 利用地貌的立体空间, 在适宜的山地丘陵区, 以生态经济学原理、气候生态学原理、生态工程学和多种群稳定性原理为指导, 选择立地适应性强的乡土植物种类为生态本底的基调植物<sup>[20]</sup>, 建设特色循环生态农业。如发展以经济林果和养殖(牛、羊)为主体, 林草结合的循环生态复合农业, 建立牛(羊、猪)—沼—果—林/草的循环生态模式(图 1), 进行了退耕还林还草, 改善了原生态环境, 又可以“经”养农缓解人地矛盾。

针对三峡库区乡村旅游的兴起及不断发展, 可因地制宜地建设生态农园, 以农业生态保护为目的兼具教育功能发展休闲农业经营模式, 如生态农园、有机农园、绿色农园等, 为游客提生态休闲、生态教育、生态餐饮等服务; 休闲渔园, 利用水面资源发展水产养殖, 为游客提供垂钓、观赏、餐饮等服务, 发展农业生态旅游既是低碳产业, 又可提高农民收入。

表 1 三峡库区不同生态农业发展模式比较

模式类型	途 径	目 标	适应范围
山地综合立体开发利用模式	综合利用山地的立体空间和土壤资源,进行梯度立体开发利用	保护、改善和重建以森林植被(含果、药、茶、竹等)为主的库区山地生态系统,提高库区生态环境容量和稳定性,增加森林及森林土壤碳汇	中低山丘区域
立体生态渔业养殖模式	充分利用有限的水域面积,立体放养,不同种混养	水质保护、延长库坝运行寿命和构筑库区水环境生态安全,减少 CH <sub>4</sub> 等温室气体排放	河流、塘湾等水域
水土流失综合防治模式	利用混交植被固土,涵养水源	涵养水源、防治水土流失,修复和重建山地生态系统,增加森林碳汇	中低山丘易林、适林区
特色循环生态农业复合模式	面向市场,发展节水节地农业和 实施农业产业化经营,发展具有地域资源优势的绿色农产品	实现农业增效和结构优化,提高资源利用效率,减少废弃物产生,减少碳排放,提高农业土壤碳汇	水土资源匹配程度高的低缓丘陵区及平坝区

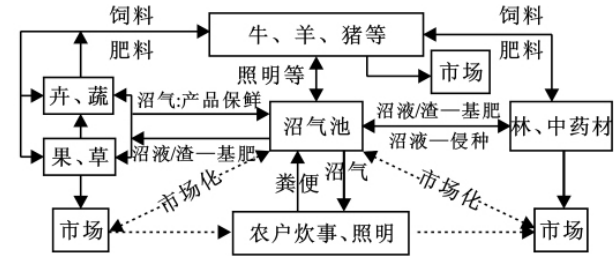


图 1 牛(羊、猪)－沼－果－林模式

4 对策建议

农业生态系统具有巨大的固碳潜力,植物通过光合作用吸收 CO<sub>2</sub> 释放氧气,据估算我国作物与草本植物每年通过光合作用以生物量形式固碳约 304 Pg 即每年吸收 115 万 t 二氧化碳,释放 80 万 t 氧气<sup>[5]</sup>。

4.1 推广稻田免耕法,提高土壤碳汇

库区是重庆市主要的水稻种植区,水稻种植是 CH<sub>4</sub> 主要的排放源,实施稻田水旱轮作,推广强化栽培体系,适度排水放干,可有效减少温室气体排放。研究表明,水旱轮作稻田 CH<sub>4</sub> 排放通量比冬水田低 54.1%~65.1%,冬水田水稻采用强化栽培方式既可提高产量又可减少 CH<sub>4</sub> 排放<sup>[21]</sup>。根据水稻生长期的需水状况,对稻田进行适度排水放干,实行轮作、复种/品种多样化等措施,减少 CH<sub>4</sub> 排放。耕作土壤有着巨大的固碳潜力,对 44 种类型的土壤的含碳量进行概算后发现,我国土壤的含碳量约为 185.7 Pg(土壤平均深度 0.88 m),是植被碳库容量的 30 倍<sup>[5]</sup>,通过改变土地利用方式,采用免耕,可保存土壤的碳含量并增加土壤生物物质,利于土壤固碳,如稻田免耕能将更多的碳累积于农田土壤碳库中<sup>[22]</sup>。此外,免耕减少了农业机械的使用,直接减少了化石燃料的消费,同时土壤有机物含量增加,减少化肥的使用,间接减少了碳排放。

4.2 强化农业生产差异化管理

针对库区环境多样,农业生产系统的时间和空间差异化显著的特点,进行差异化管理。如调整作物的

播种日期、改进轮作方式、提高复种/品种多样化;农牧业养殖体系、农林兼作,开发适应性品种、保护水生生态系统,对荒地进行还林还草、改进种植方式来增加土地的生产力,如扩大油菜种植、减少冬闲农田比重。在农业生产过程管理上,采用增加土壤生物物质和改善作物种植管理,提高土壤的碳汇,如实现稻田水旱轮作,推广强化栽培体系,适度排水放干<sup>[23]</sup>,农用泥炭土和退化土地进行恢复,改善化肥使用方式(按生长阶段施肥、测土施肥等);强化自然固氮过程等技术,改进生物质的管理和循环。推广有机质还田,有机无机肥的混合施用能够增加土壤表层碳储量,潘根兴<sup>[24]</sup>等研究表明,长期施用有机肥或有机肥无机肥混施可显著提高土壤表层碳库容量,降低土壤呼吸的碳排放作用。

4.3 建设以沼气为核心的庭院循环经济模式

三峡库区农村生活用能的主要来源是薪柴和秸秆直接燃烧。1999—2004 年的农村能源构成以秸秆为主占 37.22%~43.92%,沼气比重仅占 0.82%~2.81%<sup>[20]</sup>。利用库区湿热的环境条件,适于沼气发酵,采用多层次、再循环利用的农业生态工程学原理,对农业及日常生产活动中产生的废弃物进行循环利用(图 2),可达到保护和改善生态环境,减少温室气体的目的。农户饲养的禽、畜粪便经沼气池发酵,沼渣作鱼饲料或肥田,沼液用作果树、苗木的有机肥,沼气作生活燃料(做饭、照明等)或养殖场内家禽卵化、禽舍增温的能源,畜、禽粪便经沼气厌氧处理后减少了温室气体排放,沼渣回田培肥土壤或用于经果林林下套种牧草等,既可给果树保湿/温、减少土壤水分及土壤流失,使果树增产,又减少了化肥的使用,间接地减少了温室气体排放;果树、花木的叶、秸秆等作为家畜的饲料,其他回田;水果、粮食等部分自家食用、部分包装上市或加工处理。以上循环模式,在减少温室气体排放的前提下,增加了农民收入,提高了农民建设的积极性。

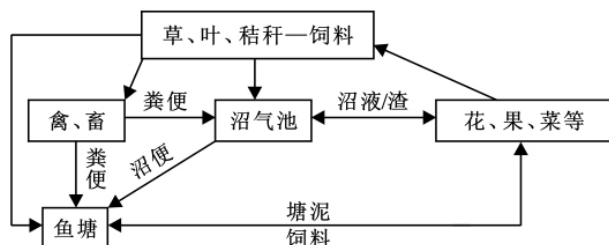


图 2 庭院式循环经济模式

#### 4.4 提高农产品附加值,发展库区特色精细生态农业

要实现库区农业结构转型,必须使农业发展面向市场,发展节水节地农业及实施产业化经营,发展具有地域资源优势的绿色农产品,实现农产品的高附加值,在不增加农田面积的前提下,实现农业增效和结构优化。库区光热资源充足,建设以节能日光温室为主的精细农业,采用微滴灌技术、土壤消毒与改良、反光幕补光等技术,发展高附加值蔬菜、名贵中草药种植,如党参(川党参)、天麻、青蒿等名优地产品种,对生产全过程进行科学管理,提高资源利用效率,减少温室气体排放。此外,库区植物资源丰富,据 2005 年国务院三建委、国家林业局根据三峡工程生态与环境监测系统陆生动植物监测重点站的监测结果,库区有维管植物 6 088 种,其中包括亚种、变种等 1 100 多个,充分利用库区丰富的植物资源适度发展复合农牧生产,建设与发展农牧养殖体系,可因地制宜发展“果(桑)—菜(药)—畜(猪)—沼气—有机肥还田”、“牛(羊、猪)—沼—果—林”等循环生态模式,提高利用效率,减少碳排放,实现库区农业与生态的持续协调发展。

#### 参考文献:

- [1] 李迎春,林而达,甄晓林. 农业温室气体清单方法研究最新进展[J]. 地球科学进展,2007,22(10):1076-1080.
- [2] 李晶,王明星,王跃思,等. 农田生态系统温室气体排放研究进展[J]. 大气科学,2003,27(4):740-749.
- [3] 赵其国,钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. 生态环境学报,2009,18(5):1609-1614.
- [4] 李长生,肖向明,Frolking S,等. 中国农田的温室气体排放[J]. 第四纪研究,2003,23(5):493-503.
- [5] 吕耀,章予舒. 农业外部性识别评价及其内部化[J]. 地理科学进展,2007,26(1):123-132.
- [6] 李明峰,董云社,耿元波,等. 农业生产的温室气体排放研究进展[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2003,34(2):311-314.
- [7] 李长生. 土壤碳储量减少:中国农业之隐患:中美农业生态系统碳循环对比研究[J]. 第四纪研究,2000,20(4):345-349.
- [8] 杨学明,张晓平,方华军. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. 地理科学,2003,23(1):101-106.
- [9] 王鹏程,肖文发,张守攻,等. 三峡库区主要森林植被类型土壤渗透性能研究[J]. 水土保持学报,2007,21(6):51-57.
- [10] 秦志英. 重庆市综合自然灾害分区研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2000,25(3):310-315.
- [11] 胡德龙;贺金生. 三峡库区农业持续发展的重要途径:农林复合系统(Agroforestry)建设[C]//面向 21 世纪的中国生物多样性保护:第三届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集,1998:348-353.
- [12] 逯非,王效科,韩冰,等. 农田土壤固碳措施的温室气体泄漏和净减排潜力[J]. 生态学报,2009,29(9):4993-5006.
- [13] 杨俊,韩圣慧,李富春,等. 川渝地区农业生态系统氧化亚氮排放[J]. 环境科学,2009,30(9):2684-2693.
- [14] 王礼茂. 几种主要碳增汇/减排途径的对比分析[J]. 第四纪研究,2004,24(2):191-197.
- [15] 方创琳,冯仁国,黄金川. 三峡库区不同类型地区高效生态农业发展模式与效益分析[J]. 自然资源学报,2003,18(2):228-234.
- [16] 苏维词,张军以. 河道型消落带生态环境问题及其防治对策:以三峡库区重庆段为例[J]. 中国岩溶,2010,29(4):445-450.
- [17] 刘江. 中国可持续发展战略研究[M]. 北京:中国农业出版社,2001:431-442.
- [18] 苏维词,滕建珍,陈祖权. 长江三峡库区生态农业发展模式探讨[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(1):83-86.
- [19] 张军以,苏维词,张凤太. 基于 PSR 模型的三峡库区生态经济区土地安全评价[J]. 中国环境科学,2011,31(6):1039-1044.
- [20] 杨德伟,陈治谏,廖晓勇,等. 三峡库区小流域生态农业发展模式探讨:以杨家沟、戴家沟为例[J]. 山地学报,2006,24(3):366-372.
- [21] 韩广轩,朱波,江长胜,等. 川中丘陵区稻田甲烷排放及其影响因素[J]. 农村生态环境,2005,21(1):1-6.
- [22] 李成芳,曹凌贵,汪金平,等. 不同耕作方式下稻田土壤  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  的排放及碳收支估算[J]. 农业环境科学学报,2009,28(1):82-86.
- [23] 张军以,苏维词. 基于低碳经济的生态农业发展模式与对策[J]. 农业现代化研究,2011,32(1):2482-2488.
- [24] 潘根兴,周萍,张旭辉,等. 不同施肥对水稻土作物碳同化与土壤碳固定的影响[J]. 生态学报,2006,26(11):3704-3710.