

## 三峡环库多业共生耦合循环农业生态系统初构

熊伟<sup>1</sup>, 王久臣<sup>2</sup>, 汤文志<sup>3\*</sup>, 孔文斌<sup>1</sup>, 曾卓华<sup>1</sup>,  
欧阳柬<sup>3</sup>, 刘明<sup>3</sup>, 王国华<sup>3</sup>, 黄明<sup>4</sup>, 熊棣文<sup>5</sup>

(1. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401121; 2. 农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; 3. 重庆市农业委员会, 重庆 401121; 4. 巫山县特色经作生产管理站, 重庆 404700; 5. 吉林大学软件学院, 长春 130012)

**摘要:** 三峡蓄水后, 水流减缓, 自净力减弱, 主要支流绿藻虐生; 库区新生消落区出露成陆时正直多雨炎热潮湿的夏季, 基本丧失拦截、消纳和过滤农业面源污染的功能, 加重了长江污染。该文在研究库区优势特色农业发展和生态环境建设的基础上, 将库区水域、消落区和生态屏障区作为整体, 运用循环经济理论, 研究建立库岸柑橘、消落区湿地牧场、水域天然渔场 3 条环库绿色经济带, 集成 4 链交叉的多链循环经济组网模式, 创立 5 层阻隔拦截和吸收消纳面源污染的工艺技术, 围绕库区各主要农业产业发展, 把前端废弃物作为内生要素进入后端生产活动中, 在注重环境保护的形势下, 凝练出多业共生耦合农业循环经济模式和“345”推进方法。创建的巫山大昌湖特色循环农业生态示范园区, 实现了三峡库区柑橘、生猪、草食牲畜、长江鱼 4 大特色产业共生、要素耦合、整体循环、综合利用的产业生态链, 推动了三峡库区生态文明建设, 满足了库区特色农业发展、农移民增收和国家战略水资源库保护需求, 可为大型水库区生态农业发展和水资源环境保护提供参考。

**关键词:** 农业, 生态系统, 经济, 三峡库区

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.14.026

中图分类号: X171.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-14-0203-07

熊伟, 王久臣, 汤文志, 等. 三峡环库多业共生耦合循环农业生态系统初构[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 203-209.

Xiong Wei, Wang Jiuchen, Tang Wenzhi, et al. Establishment of integrative circular agro-ecology system for multiple agricultural industries in Three Gorges Reservoir Area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 203-209. (in Chinese with English abstract)

### 0 引言

三峡库区是中国战略淡水资源库, 农业农村工作的重点是移民安稳致富、生态环境建设和优势特色农业发展。随着农业产品需求不断增大, 规模种养业快速发展, 农业面源污染呈加剧态势。三峡库区是中国最大的战略性淡水资源库, 但是, 由于农村人地矛盾突出, 水库自净力下降, 新生消落区植被破坏, 环境状况堪忧。重庆农民人均耕地 846.7 m<sup>2</sup>, 库区移民

人均只有 386.7 m<sup>2</sup>, 客观现实要求库区必须通过发展效益农业, 依靠特色产业增绿、增收效果来实现经济效益最大化<sup>[1]</sup>。

柑橘、牲畜、长江鱼是三峡库区主要的特色农业, 其生产过程中弃用的粪污、滥用化肥农药、废弃桔渣和秸秆以及网箱养鱼等面源污染, 已成为库区水环境最大的污染源<sup>[2-3]</sup>。三峡成库后, 水体流速放缓, 自净能力下降, 面源污染、点源污染、流动污染严重危及饮水安全, 库区 23 条主要支流至少有一半以上在每年的 5-10 月都不同程度的发生水华现象<sup>[4]</sup>。水位涨落反自然枯洪规律的新生消落区, 面积达 348.9 km<sup>2</sup>, 出露成陆时正直炎热潮湿, 夏季暴雨频发季节, 基本丧失拦截、消纳和过滤农业面源污染功能, 地表径流携带的氮、磷和泥沙等长驱直入, 加重长江污染, 危及长江国家战略淡水资源安全<sup>[5-6]</sup>。

世界农业发展经历了原始农业、传统农业和现代农业 3 个阶段。以高投入和大量消耗石油为特征的现代化农业, 尽管在提高生产率方面发挥了积极作用, 但以环境破坏、资源浪费为代价换取眼前的高额经济效益, 直接导致了农业生态系

收稿日期: 2013-04-12 修订日期: 2013-06-26

基金项目: 科技部支撑计划“三峡库区(农业产业园区)循环经济标准化示范”(2006BAK04A14)课题; 星火计划“柑橘低碳循环标准化技术集成应用”(2012GA81100106)课题; 重庆市科技创新服务重点项目“三峡环库农业生态系统重构与特色循环生态经济发展研究”(cstc2012cx-rkx0041)课题资助。

作者简介: 熊伟(1964-), 男, 主要从事园艺作物良繁、生理、循环经济等研究。重庆 重庆市北部新区黄山大道 186 号, 401121。Email: 1438317698@qq.com。

※通信作者: 汤文志(1966-), 男, 长期从事农业循环经济研究工作。重庆 重庆市北部新区黄山大道 186 号, 401121。

Email: tangwz008@163.com

统退化、农产品安全性降低、环境污染增大等困扰农业发展的世界性难题<sup>[7-8]</sup>。近年来,美国、德国、瑞士等国家运用生态学原理,把传统农业精华和现代科学技术结合起来,构建农业生态系统,充分合理地利用自然资源,发展生态农业<sup>[9]</sup>,也称替代农业,有效地保护了农业生态环境,提高了农业生产力,促进了生态系统良性循环,规避了石油农业的弊病。

鉴于三峡成库时间较短,农业发展和消落区治理尚未形成有机整体,产业共生机制和技术储备不足,消落区生态恢复和治理开发滞后,生态环境、水土流失、面源污染问题比较突出<sup>[10]</sup>。依托科技部、农业部和重庆市的项目支持,开展多业共生耦合循环农业生态系统研究,通过巫山县大昌湖特色循环农业生态示范园区的实践,在发展特色优势产业的同时,逐步构建绿色、循环、低碳的经济运行机制,形成资源节约型和环境保护型生态农业产业结构,有效控制了面源污染,发展了特色农业生产,保护了长江水资源安全。

## 1 研究方法

### 1.1 技术思路

围绕三峡库区柑橘、草食牲畜、长江鱼和生猪等4大特色产业发展。依托绿化长江柑橘带、三峡库区消落区治理工程等,创建环库柑橘、湿地草场、长江鱼3条绿色产业带;运用生态农业原理,以特色产业发展为基础,循环经济为纽带,整合“畜-沼-果-渣-饲”、“果-渣-肥”、“畜-沼-果-草”、水分循环等4种循环经济模式;有效阻滞、拦截暴雨冲蚀和吸收、消纳养殖粪污、氮磷等面源污染,净化入库径流,发展柑橘、畜牧和长江鱼业,推动库区生态环境建设、保护长江淡水资源安全,实现库区增绿、农民增收目标。

### 1.2 技术工艺

围绕柑橘水果、牲畜、淡水鱼3大特色产业发展,整合环库4重循环农业产业链,构筑5层面源污染拦截网,创建三峡环库多业共生耦合循环农业生态系统<sup>[11]</sup>,指导建造巫山大昌湖特色循环农业生态示范园区(见图1)。

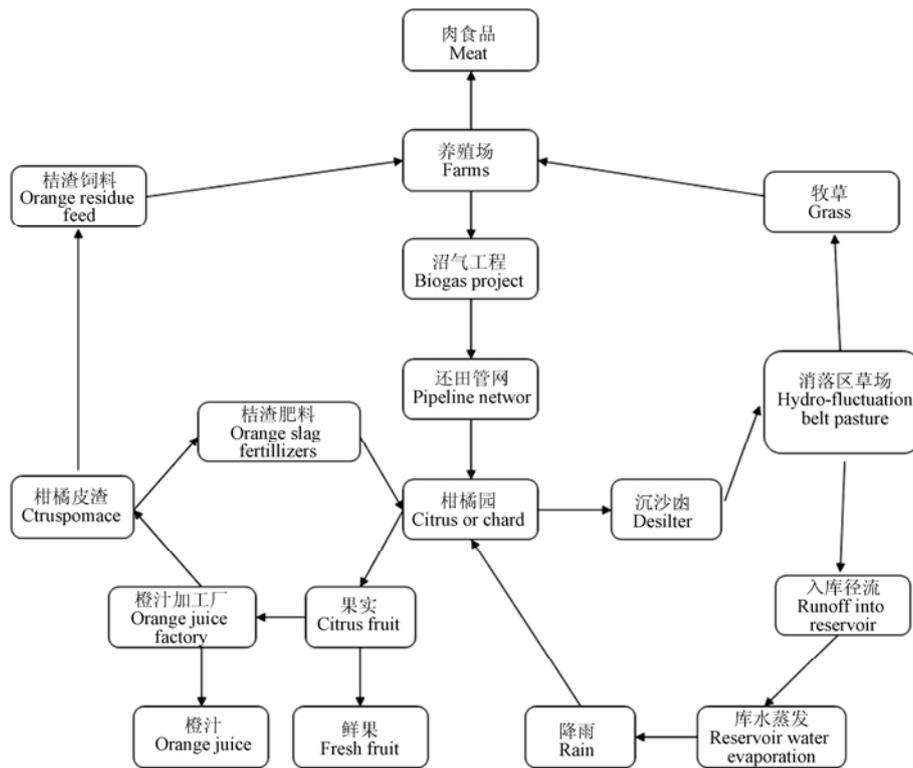


图1 三峡环库多业共生耦合循环农业生态系统工艺技术

Fig.1 Process technology of specialty recycling agriculture ecological demonstration system

## 2 环库多业共生耦合循环农业生态系统建设

按照工艺技术要求,研发沼液肥水一体还田装置、桔渣有机配方肥和营养诊断配方施肥等高新技术成果,依靠科技创新,把前端养殖、加工废弃物

作为内生要素进入后端柑橘、牧草、淡水鱼的生产活动中,充分发挥各业优势,形成乘数效应,推动协同发展。

### 2.1 三条绿色产业带

即三峡环库柑橘、消落区草场、天然渔场3条

绿色产业带。

环库柑橘带。规划在重庆三峡水库沿岸海拔 175~500 m 适宜区域，按照株行距(3~4) m×5 m 的标准，采用定植穴改土，表土回填生态建园技术，栽植柑橘良种 66 667 hm<sup>2</sup>，重构环库农业生态区。截止 2012 年，新栽 38 700 hm<sup>2</sup>，总面积达到 182 000 hm<sup>2</sup>，依托“绿化长江柑橘带工程”，建成环库柑橘屏障带。

消落区草场。选用自主选育的耐淹牧草狗牙根牧草新品种三峡 1 号，建设消落区湿地草场。该草独具耐淹、耐旱、耐瘠薄能力，在高温干旱和半淹

没状态均能良好生长。冬季水库蓄水时，该牧草进入休眠期，淹没水下也能维持生命，150 d 以上不会死亡；3 月中旬随着库区水位逐步下降，露出地面的三峡 1 号开始逐步返青变绿，萌生新株，利用出成陆地的消落区空闲地和光热同步的光温条件，生产牧草饲料，9 月份产量即可达 50 t/hm<sup>2</sup> 以上。在示范区，经淹水淘汰，形成纯正的三峡 1 号牧草群落，阻隔拦截、消纳面源污染和泥沙，保护长江一汪碧水；对照消落区土层裸露（云阳长江边），受波浪冲击江水浊黄（见图 2）。

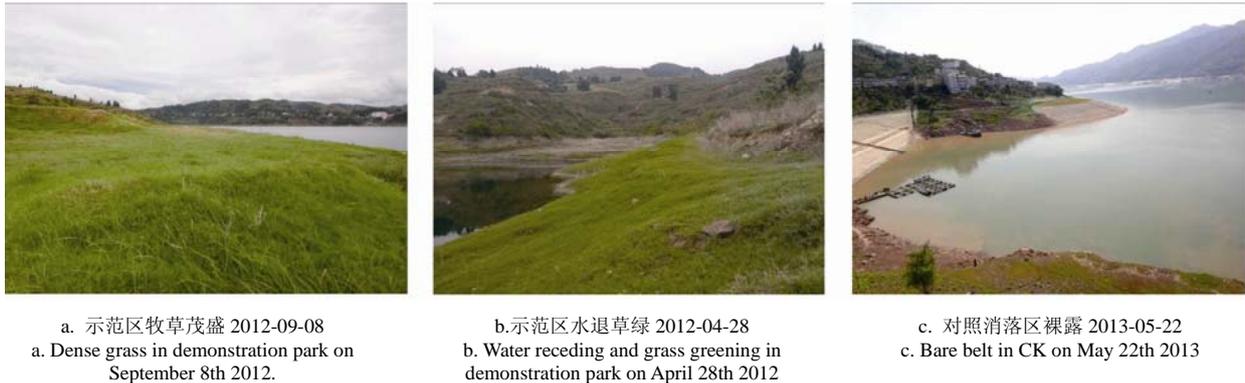


图 2 三峡大昌湖区消落区治理效果

Fig.2 Treating effect of Bydro-fluctuation belt in Dachang lake in Wushan

天然渔场。全部取消库区网箱养鱼，实行大水散养；增殖放流，每年按比例投放草鱼、白鲢、花鲢等鱼种，取食水中杂草、浮游生物等氮、磷富集物，保护长江水质。

### 2.2 四重循环链

即“畜-沼-果-渣-饲”、“果-渣-肥”、“畜-沼-果-草”、水分循环模式等 4 种循环经济模式，涵盖了园区涉及的柑橘、生猪、草食牲畜、长江鱼等主要特色产业及其废弃物的循环利用。

### 2.3 五层拦截网

针对三峡库区面源污染和水土流失的 3 个主要途径：一是畜禽粪污直排或经沼气工程后沼液二次排放；二是盲目施肥打药，导致的氮、磷等和化学农药的过剩流失<sup>[10]</sup>；三是暴雨径流，导致的水土流失。围绕特色柑橘、畜牧、渔业生产目的，统筹构建 5 层拦截网（见图 3），阻隔、吸收、消纳面源污染和泥沙径流，实现水资源达标入库。

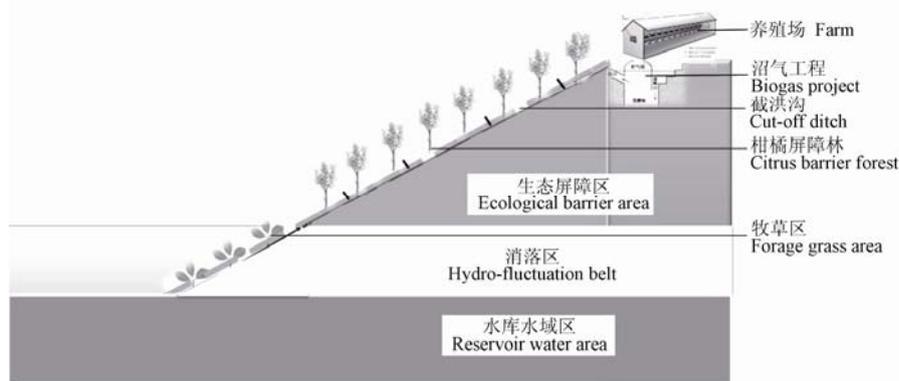


图 3 三峡库区五层拦截网

Fig.3 Five layer intercept network in Three Gorges Reservoir Area

沼气工程拦截。研发沼液管道调压和沉淀物自动收集排除装置及工艺，发明创造了沼液无害化处

理及管道施肥装置<sup>[12-13]</sup>，解决了管道沼液发酵爆裂和菌落群、鸟粪石堵塞等技术难点<sup>[14-15]</sup>。应用沼液

管网还田, 农民在田间地头插上软管, 实现沼液施肥灌水一体还田和零排放<sup>[16-17]</sup>。

柑橘林带拦截。应用低碳绿色管护技术, 推广太阳能杀虫灯、粘虫色板、捕食螨等生物理化防控措施, 替代化学农药; 采用叶片营养诊断指导施肥, 控氮减磷, 叶面喷施锰、锌、铜等缺乏重金属微量元素, 防控土壤施用重金属元素对地下水源的污染<sup>[18]</sup>; 推广应用秸秆、橘渣高温发酵自干燥技术和专用橘渣有机配方肥<sup>[19]</sup>, 消纳农业废弃物, 提升土壤有机质; 通过农业技术创新, 保持水土, 防控面源污染, 保护长江水资源安全。

截洪工程拦截。在库岸柑橘屏障林带中建造 1~2 条截洪沟拦截系统, 配套沉沙凼, 拦截泥沙入库。

湿地草场拦截。构建的消落区耐淹牧草带, 拦截、消纳面源污染和泥沙, 实现沿库径流达标入库<sup>[20]</sup>。

三峡长江鱼拦截。定期水质监测, 按比例投放草鱼、鲢鱼等消纳水草、浮游生物富集的氮、磷等物质, 维护生态平衡, 保护长江淡水资源免受污染<sup>[21]</sup>。

### 3 环库多业共生耦合循环农业生态系统构建

#### 3.1 农业生态系统的概念

按照逻辑学和系统学理论, 研究提出的“多业共生耦合循环农业生态系统”概念, 在三峡环库柑橘农业生态区和耐淹牧草湿地生态区构建中, 通过柑橘、生猪、草食牲畜、长江鱼等的多个产业链之间和产业链与生态链之间的多重循环经济链接, 形成多业共生、要素耦合、整体循环、综合利用的生态产业链, 有效地把种养业后端的粪污、橘渣、秸秆等有机废弃物作为内生要素, 投入到前端的柑橘、畜牧、渔业生产活动中, 满足了库区特色农业发展、农移民增收和国家战略水资源库保护需求<sup>[25-26]</sup>。

多业共生耦合循环农业生态系统: 是人类在特定区域建立的农业生态系统内, 以循环经济为纽带, 采用减量化、再利用、资源化的农业生产方式, 使区域内各种关联产业间资源、产品和废弃物角色发生相互转换, 实现关联产业共生, 生产要素耦合, 废弃资源综合利用, 从而延长产业链, 拓宽产业幅, 优化产业结构, 并在人为和自然共同支配下, 进行农副产品生产, 实现废弃物零排放的综合农业循环经济。

#### 3.2 农业生态系统建立的基础

理论基础—共生耦合。齐振宏等<sup>[22]</sup>提出: 耦合是指 2 个 (或 2 个以上) 的体系或运动形式之间, 通过某种相互作用而彼此影响以至联合起来的现象。在生态经济系统中共生与耦合是相通的, 核心是合作与协同, 也称共生耦合关系, 是建立环库多业共生耦合循环农业生态系统的理

论基础。

实施载体—生态系统。就是居住在同一地区的动植物与其环境是一个整体。由英国坦斯莱于 1935 年首先提出, 其后美国林德曼对塞达波格湖的研究, 揭示了营养物质移动规律, 奠定了生态系统能量动态理论。根据生态系统及其能量动态理论, 通过因地制宜发展优势特色产业, 在自然环境的共同作用下, 依靠人的主动介入, 重构了以柑橘林带为主的屏障区农业生态系统、湿地草场为主的消落区湿地生态系统、大水散养为主的水域区渔业生态系统, 在三峡库区构建了以生产特色农产品为主的复合型人工生态系统。

链接纽带—循环农业。运用物质循环再生原理和物质多层次利用技术, 在生产农产品过程中, 实现较少废弃物的生产和提高资源利用效率的农业生产方式。其原则是资源使用减量化、再利用、再循环, 基本特征是低消耗、低排放、高效率。

#### 3.3 实例

按照技术思路进行实证研究, 建设了巫山大昌湖特色循环农业生态示范园区。

示范区位于重庆市巫山县大昌镇, 是农业部和重庆市规划的长江上中游柑橘, 西南生猪、肉牛和肉羊的优势区。三峡成库后, 大宁河沿岸形成湖面达 11.8 km<sup>2</sup> 的大昌湖, 消落区面积约 5.76 km<sup>2</sup>, 现有规模养殖户 36 户, 主要特色产业是柑橘、生猪、草食牲畜和长江鱼。

按照规划方案, 在大昌湖环库海拔 500 m 以下区域, 发展晚熟柑橘 1 100 hm<sup>2</sup>, 园区具体经济效益指标 (见表 1)。

2009 年起, 在沿库消落区发展耐淹牧草和草食牲畜。建成覆盖 145~175 m 区域, 长度超过 2 km 的消落区草场示范带, 每年的 10 月至翌年 4 月, 三峡蓄水时, 草场被淹 4~5 月, 3~4 月水退时, 牧草又绿消落区, 其他植物受淹死亡, 9 月草甸厚度达 50 cm 以上, 覆盖消落区砾石滩区, 单产 33 t/hm<sup>2</sup>, 呈现耐淹、耐瘠、耐旱、丰产的显著效果, 经人工去杂、逐年淹没淘汰和种属间竞争, 逐步形成品种单一的优势群落, 美化了消落区环境。其中核心示范区, 栽植脐橙 135 hm<sup>2</sup>, 消落区发展湿地牧场 2 km, 配套肥水一体灌溉系统, 全面应用生物理化防控, 共安装太阳能杀虫灯 25 盏, 投放捕食螨, 悬挂混合色板防控虫害, 结合柑橘营养诊断, 遴选使用石硫合剂、波尔多液等无残留矿质农药, 化学农药使用量减少 70%<sup>[23-24]</sup>; 推广应用 N:P:K=13:2:6 的橘渣有机配方肥, 较过去应用的三元复合化肥减少用量 51.1% (纯量计算), 实现控氮减磷<sup>[24]</sup>。

表 1 巫山大昌湖特色循环农业生态示范区建成前后情况

Table 1 Comparison of circumstances before and after construction of Wushan Dachang Lake recycle agriculture demonstration park		建设前 (2008 年)	建设后 (2012 年)	增长率	预计完成后
		Pre-construction	Post-construction	Growth rate/%	Completely constructiong
经济效益 Economic benefit	柑橘面积 Citrus area/hm <sup>2</sup>	558.3	798	42.98	1100
	柑橘产量 Citrus yield/t	71.6	416	481.01	33000
	鱼种投放量 Fish yield/million	0.70	12.00	1614.29	15.00
	森林覆盖率 Forest coverage/%	35.3	42.0	18.98	50.0
生态效益 Ecological benefit	消落区治理长度 Hydro-fluctuation belt treatment length/km	0.0	2.0	—	64.0
	N、P、K 投放比列 N、P、K ratio	15:15:15	13: 2: 6	—	13: 2: 6
	每株化肥使用量 Fertilizer amount/kg	5.0	5.0	-51.1	5.0
	消纳柑橘皮渣 Given citrus pomace/t	0.0	303.7	—	2475.0
	水质 Water quality	Ⅲ类	Ⅲ类	—	Ⅱ类
	化学需氧量 COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	10.20 (Ⅰ类)	9.66 (Ⅰ类)	-5.29	Ⅰ类
	总氮 Total nitrogen/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.16 (Ⅳ类)	1.29 (Ⅳ类)	11.20	Ⅲ类
	总磷 Total phosphorus/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.04 (Ⅱ类)	0.04 (Ⅱ类)	—	Ⅱ类

注：1. 监测数据由巫山县农委、移民局和环保局提供；2. 化肥减量部分按元素纯量计算；3. 森林覆盖区域包括水域和城镇区域。

Note: 1. Monitoring data is from agricultural committee, immigration and environmental protection agency; 2. Fertilizer decrement calculated according to element scalar; 3. Forest covered area including waters and town.

建成的环库多业共生耦合循环农业生态系统，在发展柑橘、生猪、长江鱼等特色产业的时<sup>[27-29]</sup>，通过如下运行过程，达成长江淡水资源保护：

库周畜禽粪污经沼气池处理，沼气用作燃料，沼液经肥水一体灌溉系统，进入柑橘林带，实现施肥灌水一体；无养殖场和管网配套的地块，推广橘渣、秸秆有机配方肥，消纳农业有机废弃物，减少氮、磷流失污染。

发生病虫害为害。悬挂的太阳能杀虫灯可及时控制潜叶蛾、吸果夜蛾等；粘虫色板、毒诱灌诱杀柑橘粉虱、蚜虫、果蝇等害虫；红黄蜘蛛、锈壁虱等被捕食螨猎杀；根据柑橘叶营养诊断，遴选矿质农药，用药补肥，实现化肥的减量使用，基本实现化学农药的零使用。

遭遇暴雨或连阴雨为害。柑橘林会减轻暴雨冲击、滞缓流速，径流携带的泥沙被截洪沟和沉沙凼阻拦，少量的氮、磷等元素和泥沙，进入消落区，被湿地草场拦截，吸收和消纳，氮、磷等通过放牧或刈割带出；未被收割的牧草，冬季沉入江底，被草鱼等吞食，产生的粪污会导致浮游生物滋生，可被花鲢、白鲢等鱼类消纳，通过捕捞带出<sup>[21]</sup>，可避免长江水体的污染。每年 3—4 月退水后，牧草残留的匍匐茎萌发，又绿库区两岸。

#### 4 结论与建议

本研究表明，农业生产方式和栽培模式与生态

环境有着极为密切的关系，农业有机废弃物既是环境要素，也是生产要素。应用“多业共生耦合循环农业生态系统”概念，在巫山大昌湖特色循环农业生态示范园区实践，充分发挥区域内各主业优势的同时，通过各产业间多重循环经济链耦合共生模式，把前端废弃物作为内生要素进入后端生产活动中，规避了单链循环模式对自身产业以外的其他产业发生的负的外部作用，有效减轻农村面源污染，实现农业废弃物资源化利用和零排放，最大限度的保护生态环境，成为库区特色经济发展、移民安稳致富、消落区治理和生态环境保护的重要支撑。

建议，加强对生态循环农业的领导。编制《三峡库区特色循环农业发展规划》。做好顶层设计，制定总体规划和标准体系，强化科技创新，促进库区生态文明建设<sup>[30]</sup>。重点强化各学科间的交叉布局，以畜禽粪污弃用、化肥农药流失、加工废弃物处理和效果监测等核心问题为主攻方向，突破关键技术，熟化推进模式，坚持示范引领，推动产业结构调整和经济方式转变，依靠创新驱动，积极整合力量，有序推进。

#### [参 考 文 献]

- [1] 罗钰坊. 三峡库区循环经济发展与生态文明[J]. 重庆职业技术学院学报, 2008, 17(6): 65—66.  
Luo Yufang. Development of circular economy in three gorges reservoir region and construction of regional ecological civilization[J]. Journal of chongqing

- vocational and technical institute, 2008, 17(6): 65—66. (in Chinese with English abstract)
- [2] 臧小平, 吴国平, 涂敏. 长江流域湖泊水库水华防治对策[J]. 人民长江, 2009, 40(21): 5—9.  
Zang Xiaoping, Wu Guoping, Tu Min. A lgaee bloom control countermeasures for the lakes and reservoirs in the Yangtze Basin[J]. Yangtze River, 2009, 40(21): 5—9. (in Chinese with English abstract)
- [3] 第一次全国污染源普查公报[R]. 国家环保部, 2010-02-09.
- [4] 谭栖伟: 五因素制约着库区进一步发展[EB/OL]. 中国经济网, 2009年03月10日, [http://www.ce.cn/cysc/agriculture/gdxw/200903/10/t20090310\\_18449699.shtml](http://www.ce.cn/cysc/agriculture/gdxw/200903/10/t20090310_18449699.shtml)
- [5] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008—1017.  
Zhang Weili, Wu Shuxia, Ji Hongjie. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century[J]. Scientia Agriculture Sinica, 2004, 37(7): 1008—1017. (in Chinese with English abstract)
- [6] 罗雪峰, 熊伟, 杨灿芳, 等. 重庆三峡库区特色农业循环经济研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 405—409.  
Luo Xuefeng, Xiong Wei, Yang Chanfang, et al. Characteristics of agricultural circular economy in the Three Gorges Reservoir Region of Chongqing- A case study of the ecological agriculture pattern of "pig-biogas-orange"[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 405—409. (in Chinese with English abstract)
- [7] 李哲敏, 信丽媛. 国外生态农业发展及现状分析[J]. 浙江农业科学, 2007(3): 241—244.
- [8] 肖体琼, 吴崇友, 张文毅, 等. 国内外生态农业的差异对比研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(14): 4362—4363.  
Xiao Tiliang, Wu Chongyou, Zhang Wenyi, et al. Preliminary discussion on differences between domestic and foreign ecological agriculture[J]. Journal of Anhui Agri. Sci. 2007, 35(14): 4362—4363. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王小利, 马礼, 张永华, 等. 替代农业研究综述[J], 首都师范大学学报: 自然科学版, 2004, 31(2): 94—98.  
Wang Xiaoli, Ma Li, Zhang Yonghua, et al. Research of alternative agriculture[J]. Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition, 2004, 31(2): 94—98. (in Chinese with English abstract)
- [10] 欧阳柬, 陈玉成, 严素定. 重庆市化肥使用与残留的时空分异特征研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 43—45.  
Ou Yangjian, Chen Yucheng, Yan Suding. Spatial and temporal variability of fertilizer application and residue in Chongqing[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(5): 43—45. (in Chinese with English abstract)
- [11] 熊伟, 杨灿芳, 孔文斌, 等. 一种水库区特色农业生产及面源污染拦截生态系统: 中国 CN201310167982.9[P]. 2013-05-09.
- [12] 熊棣文, 熊伟. 一种沼液管道施肥装置: 中国 ZL200810069436.0[P]. 2008-08-13.
- [13] 熊棣文. 农用沼液无害化处理及沼液管道施肥装置[J]. 大学科普, 2010, 13(4): 86.
- [14] 熊棣文. 农用沼液重金属处理装置: 中国 ZL200710093212.9[P]. 2008-07-09.
- [15] 熊棣文, 解娟, 吴正亮, 等. 沼液无害化处理与利用成套设备工艺技术[J]. 南方农业, 2011, 5(5): 5—9.  
Xiong Diwen, Xie Juan, Wu Zhengliang, et al. A set of integrated fertilizer and water irrigation equipment on disposal of biogas slurry pollution-free and utilization[J]. South China Agriculture, 2011, 5(5): 5—9. (in Chinese with English abstract)
- [16] 熊伟, 王雪生, 夏仁斌, 等. 特大干旱下柑橘园非充分灌溉试验及抗旱与恢复生产综合技术集成[J]. 中国南方果树, 2007, 36(1): 3—5.
- [17] 夏仁斌, 李莉, 熊伟, 等. 三峡库区柑橘非充分灌溉综合技术[J]. 南方农业, 2007, 1(4): 38—39.
- [18] 熊伟, 夏仁斌, 吴正亮, 等. 重庆三峡库区柑橘园土壤酸性转化原因初探[J]. 中国南方果树, 2010, 39(3): 12—14.  
Xiong Wei, Xia Renbin, Wu Zhengliang, et al. Preliminary research on acidic transformation of citrus orchard soil pH in three gorges region of chongqing[J]. South China Fruits, 2010, 39(3): 12—14. (in Chinese with English abstract)
- [19] 熊伟, 张才健, 明方成, 等. 一种柑橘专用桔渣有机复合肥及制备方法[P]. 中国专利: ZL201010204644.4, 2010-10-13.
- [20] 刘芸. 桑树在三峡库区植被恢复中的应用前景[J]. 蚕业科学, 2011, 37(1): 93—97.  
Liu Yun. Application prospect of mulberry plants to vegetation restoration in three gorges reservoir area[J]. Science of Sericulture, 2011, 37(1): 93—97. (in Chinese with English abstract)
- [21] 翟旭亮, 李虹, 熊隆明. 重庆开启三峡水库生态渔业新时代[J]. 渔业致富指南, 2010(21): 20—23.
- [22] 齐振宏, 王培成, 冉春艳, 等. 基于循环经济的生态产业链共生耦合研究理论述评[J]. 生态经济: 学术版, 2009(2): 185—188.  
Qi Zhenhong, Wang Peicheng, Ran Chunyan, et al. Research summary on symbiosis and coupling analysis of eco-industrial chains based on circular economy[J]. Ecological Economy, 2009(2): 185—188. (in Chinese with English abstract)
- [23] DB50/T 487-2012, 柑橘营养诊断配方施肥技术规程[S].
- [24] DB50/T486-2012, 农用沼液管道还田技术规程[S].
- [25] 王久臣, 戴林, 田宜水, 等. 中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 276—282.  
Wang Jiuchen, Dai Lin, Tian Yishui, et al. Analysis of the development status and trends of biomass energy industry in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(9): 276—282. (in Chinese with English abstract)
- [26] 林聪, 王久臣, 周长吉, 等. 沼气技术理论与工程[C]//北京: 化学工业出版社, 2007.
- [27] 熊伟, 吴雪梅, 吴正亮, 等. 我国柑橘产销形势分析及提升三峡库区柑橘产业竞争力对策建议[J]. 2009, 26(7): 4—8.
- [28] 熊伟, 曾卓华, 孔文斌, 等. 2012年重庆柑橘生产形势及产销对策建议[J]. 中国果业信息, 2012, 29(11): 22—26.
- [29] 十八大报告文件起草组. 十八大报告辅导读本[C]//北京: 人民出版社, 2012.
- [30] 曾卓华, 李杰, 熊伟, 等. 重庆市农作物防灾减灾技术手册[C]//北京: 中国农业出版社, 2013.

## Establishment of integrative circular agro-ecology system for multiple agricultural industries in Three Gorges Reservoir Area

Xiong Wei<sup>1</sup>, Wang Jiuchen<sup>2</sup>, Tang Wenzhi<sup>3\*</sup>, Kong Wenbin<sup>1</sup>, Zeng Zhuohua<sup>1</sup>,  
Ouyang Jian<sup>3</sup>, Liu Ming<sup>3</sup>, Wang Guohua<sup>3</sup>, Huang Ming<sup>4</sup>, Xiong Diwen<sup>5</sup>

(1. Chongqing Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 401121, China; 2. Department of Agro-ecology and Resource Protection Station, Beijing 100125, China; 3. Chongqing Agriculture Committee, Chongqing 401121, China; 4. Wushan Cash Crop Management Station, Chongqing 404700, China; 5. Software College of Jilin University, Changchun 130012, China)

**Abstract:** The arable land per capita among the rural migrants located in the Three Gorges Reservoirs Area is only about 386.7 m<sup>2</sup>. The contradiction between people and their land is severe. After the impoundment of the Three Gorges Project, the water flow and the self-purification ability of the Yangtze River got slowed and declined which resulted in an overmuch growth of the green algae in main tributaries of the Yangtze River. Besides, to meet the electricity generation need in the dry winter or spring, and to prevent the deluge in the rainy summer, the Three Gorges Reservoir impound in the winter and spring, disembogue in the summer. Owing to this, the hydro-fluctuation belt along the river always outcrop into land in the hot and humid rainy summer, hence the hydro-fluctuation belt fail to intercept, absorb and filtrate the agricultural surface source pollution, which cause the increased pollution in the Yangtze River. The contradiction of the economic development and the environmental protection is severe.

This research considered the Three Gorges Reservoir Area, the hydro-fluctuation area and the ecological barriers area as an entirety, and combined the specialty agriculture industries, such as: citrus, livestock and fishing industry with the newly developed agricultural technologies, like the orange residue self-drying and high temperature fermentation under aerobic environment technology along with its dedicated organic fertilizers, the biogas slurry pipeline irrigation fertilization integrated device, citrus nutrition diagnosis testing fertilization technology and the new variety of submergence-tolerant pasture, on the basis of the principles of ecological agriculture and recycling economy. A recycling agriculture ecosystems demonstration area was built in the Dachang town, Wushan county, the hinterland of the Three Groges. Relying on the greening the Yangtze River citrus belt project, the hydro-fluctuation belt management project and forced removal of the cage fish culture facilities along the river project, we build three ecological economic zones which are reservoir bank citrus plantations, hydro-fluctuation belt wetland pastures and natural fishery around the reservoir bank to develop specialty industry economy.

In this project we integrated "pig-biogas-fruit-residue-feed", "fruit-residue-fertilizer", "livestock-biogas-fruit-grass" and water cycle, developing a new four-chain crossed recycling economy networking mode, and an anti-season hydro-fluctuation area ecologically recycling agriculture progression mode. By using the farming manure as the fertilizer and the irrigation water of the citrus, and using the waste of citrus processing or hydro-fluctuation belt pasture as the feedings of the livestock, we established a system that using the waste of the previous level as the production resource in current level. Due to this system we set up a citrus, pigs, grazing livestock, Yangtze fish and other specialty industrial that industrial symbiosis, coupling elements, the overall recycling and comprehensive utilization of industrial ecological chain in the very area. Also by building biogas project, citrus barrier forest, cut flood engineering, wetland pastures and fishery as 5-layer intercept network, we can block, absorb and digest the area source pollution. With this project we are able to increase the vegetation coverage of the reservoir bank, the income of the migrants and protect the environment of the Three Gorges Reservoirs Area.

The established specialty recycling agriculture ecological demonstration area in Dachang Lake, Wushan county will cover the core area of 135 hm<sup>2</sup>. The 2 km long hydro-fluctuation area will be fully covered by the pasture and the cover ratio of the forest will be over 80 percent. The whole area will be fully covered by plants, and those wastes like farming excrement, waste straw, citrus residue will be completely reutilized and achieve the accomplishment of zero emission. Besides, the citrus yield in the demonstration area will be about 30 tons each hectare and the yield of pasture will be about 33 tons each hectare, which means that the output value per hectare will be over 150,000 Yuan. This area is showing the possibility that increasing the migrants' income and purifying the Yangtze River synchronously.

**Key words:** agriculture, ecosystems, economics, the Three Gorges Reservoir

(责任编辑: 秦学敏)