

湖州桑基鱼塘系统 “机械化养蚕—跑道养鱼”模式能值分析*

杨 眺¹, 吕凯伦¹, 王皓琪¹, 周浩澜¹, 吴宇航¹, 金航峰^{1*}, 金佩华^{1,2}, 黄凌霞³

(1. 浙江农林大学 动物科技学院 动物医学院, 浙江 杭州 311300;

2. 湖州师范学院, 浙江 湖州 313000; 3. 浙江大学 动物科学学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 本文利用能值理论对桑基鱼塘系统中“机械化养蚕—跑道养鱼”生产模式进行分析,通过计算各项资源的能值,得到了该模式的可再生当地环境资源能值、不可再生当地环境资源能值、可再生投入有机能源能值、不可再生工业辅助能源能值和总能值产出等数据,并在此基础上计算出该模式的能值投入率为63.92,能值收益率为3.17,环境负荷率为0.46,能值自给率为0.02。结果表明,与传统桑基鱼塘系统相比,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式有更高的经济发展水平,和更小的环境依赖性,是具有显著推广价值的典型生态农业模式,同时可以对系统结构进行进一步调整,对内部资源进行深入开发利用。

关键词: 能值;桑基鱼塘;机械化养蚕;跑道养鱼

中图分类号: S88-9,S964.8 文献标识码: A 文章编号: 0258-4069[2020]01-028-06

Emergy Analysis of ‘Mechanized Sericulture–Pond Recirculating Aquaculture’ Mode of Huzhou Mulberry–Dyke and Fish Pond System*

YANG Dan¹, LV Kai-lun¹, WANG Hao-qi¹, ZHOU Hao-lan¹,

WU Yu-hang¹, JIN Hang-feng^{1*}, JIN Pei-hua^{1,2}, HUANG Ling-xia

(1. College of Animal Science and Technology·College of Veterinary Medicine, Zhejiang A&F University,

Hangzhou 311300, China; 2. Huzhou University, Huzhou 313000 Zhejiang, China;

3. College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;)

Abstract: This study, emergy analysis theory was applied to analyze the ‘mechanized sericulture – pond recirculating aquaculture’ mode of Huzhou mulberry– dyke and fish pond systems. The environmental renewable emergy, environmental non– renewable emergy, renewable organicemergy, non– renewable industrial emergy and total emergy output data were all calculated. The results showed that,the emergy investment ratio was 63.92, the emergy yield ratio was 3.17, the environmental loading ratio was 0.46, and the emergy self– sufficiency ratio was 0.02. It indicated that ‘mechanized sericulture– pond recirculating aquaculture’ mode was a typical ecological agriculture model with high economic development level and little environment dependence. However, the system structure should be further adjusted, and the internal resources should be further developed.

Key words: Emergy; Mulberry–dyke and fish pond; Mechanized sericulture; Pond recirculating aquaculture

桑基鱼塘是遗存于我国南方太湖流域和珠江流域蚕区的一种传统的循环农业生态系统,并在国

际上享誉盛名。上世纪90年代,联合国粮农组织曾将它盛赞为“世间少有美景、良性循环典范”^[1]。浙

基金项目: 国家自然科学基金项目(31702188),浙江省公益性项目(2017C32017),浙江省自然科学基金项目(LQ17C170001),浙江省教育厅项目(Y201533221)

作者简介: 杨眺(1999–),女,浙江宁波人,本科生,主要从事动物科学专业的研究。E-mail: 260594919@qq.com

通讯作者: 金航峰,男,讲师。E-mail: jinhf@zafu.edu.cn

浙江省湖州市桑基鱼塘系统现存面积 $1.40 \times 10^8 \text{ m}^2$,其中包括 $4 \times 10^7 \text{ m}^2$ 桑地和 $1 \times 10^8 \text{ m}^2$ 鱼塘。该系统相对完整地保留了传统桑基鱼塘系统“桑—蚕—鱼”循环共生的生产模式,具有重要的历史价值和文化价值。2017年,联合国粮农组织正式将其确定为“全球重要农业文化遗产”^[2]。作为循环农业生态系统的典范,桑基鱼塘系统除提供桑叶、桑果、蚕茧和鱼等动植物产品外,还具有保持土壤、调节气候、涵养水源和观光旅游等多方面的价值,在保护湖州地区生态环境和促进经济可持续发展等方面发挥了重要作用。王静禹等^[3]对湖州桑基鱼塘系统的各项生态服务功能的价值进行了货币化计算,发现在超过100亿的总体生态系统服务价值中,休闲旅游价值和历史文化价值远远高于提供产品的价值。这说明桑基鱼塘系统需要以一个生态整体的形式存在,才能为社会提供更高的服务价值。

改革开放40年以来,我国的市场经济得到快速发展的同时,传统农业的生产模式也在不断变化。桑基鱼塘系统中,蚕业生产效益开始低于水产效益,“重养鱼、轻养蚕”的生产观念逐渐形成并占据主导地位,传统“桑—蚕—鱼”生产模式的整体性遭受破坏,桑基鱼塘面积逐年下降,严重影响地方农业生产的可持续性发展^[4]。同时作为典型的劳动密集型产业,该农业文化遗产的保护和传承工作面临的另一大难题就是农村地区普遍缺乏劳动力。近年来,家庭农场模式的出现和推广,使得更多的农村劳动力从兼业、副业农户转变为专业农户,这为做好该遗产的保护传承和创新发展工作提供了新的思路^[5]。

湖州市南浔云豪家庭农场位于湖州桑基鱼塘系统核心保护区内,是一家以桑基鱼塘为主体,实行“机械化养蚕—跑道养鱼”生产模式的家庭农场。“跑道养鱼”是指跑道养鱼技术,是一种集成了循环流水养殖、集中排污和生物净水等技术的生产模式,与传统水产养殖方法相比,具有更高的工业化、智能化和生态化水平^[6];“机械化养蚕”包括小蚕共育、机械伐桑和大蚕立体化饲养等环节,可以有效减少蚕业生产对劳动力资源的需求^[7]。为了客观评价“机械化养蚕—跑道养鱼”模式的推广价值,我们对该模式的生态性和经济性开展研究。

上世纪80年代,美国生态学家Odum H. T. 提出了能值理论,并逐渐发展称为评价生态系统可持

续性的重要方法。该理论以太阳能为标准,将生态系统中的所有能量和资源进行换算,定量分析各种自然资源和人类经济投入资源的价值,从而实现了对系统可持续性的客观评价^[8]。能值分析在国家^[9]、区域^[10]和地方^[11]生态系统的应用十分广泛,同时也适用于农业生态系统的研究。对于种养结合的复合生态养殖系统,朱冰莹等^[12]对“秸秆—羊—田”循环系统进行了能值评估,结果表明,系统终端产品的能值利用效率得到了显著提高,同时缓解了部分环境压力,但是生产效率和经济效益有所降低;高承芳等^[13]利用能值理论对马尾松低效林林下种草养鸡的种养结合模式进行了评价,结果表明该模式的产出效益明显大于传统模式,经济活力更强,环境负载更低,有显著的推广价值。而对于桑基鱼塘系统,国内仅有刘少慧等^[14]曾用能值理论对桑基—蚕—鱼塘的传统经营模式进行了可持续性评估,认为由于基塘比例的严重失调导致传统桑基鱼塘系统稳定性较差,并提出了适应经济发展和生态保护的桑基—蚕—鱼塘—大球盖菇和油基—鱼塘—湖羊两种新型模式。

本文利用能值理论对南浔云豪家庭农场的“机械化养蚕—跑道养鱼”生产模式进行能值的统计和分析,同时与传统桑基鱼塘生态系统的能值指标进行比较,评价该模式的生态性和经济性,并提出相关发展建议。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

本文以湖州市南浔云豪家庭农场为研究对象,该农场位于东经 120.12° 北纬 30.71° 附近^[3],包括桑园子系统、养蚕子系统和养鱼子系统。其中桑园子系统中有桑园面积 48000 m^2 ,桑树品种为农桑14和大十,主要用于生产养蚕所需的桑叶;养蚕子系统包括小蚕共育室和立体化养蚕设备,建设费用为59万元;养鱼子系统中有鱼塘面积 52000 m^2 ,其中包含3条由水泥铸成的长 25 m 、宽 5 m 、深 2.5 m 深的长形渠道,实现了“跑道养鱼、池塘养水”,渠内主要饲养品种为草鱼,系统建设费用为38万元。

1.2 研究方法

根据能值分析理论,可以将系统输入资源分为可再生当地环境资源(renewable local environmental resources, R_E)、不可再生当地环境资源(non-re-

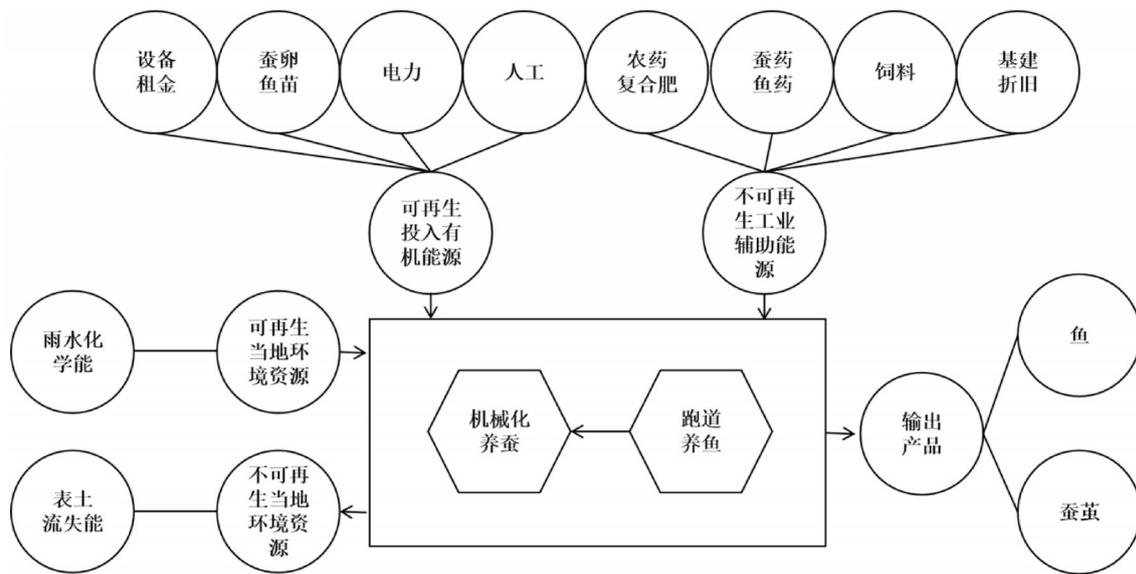


图1 “机械化养蚕—跑道养鱼”桑基鱼塘系统的能值流动图

Figure 1 Energy Flow Chart of ‘Mechanized Sericulture – Pond Recirculating Aquaculture’ Mode of Mulberry-Dyke and Fish Pond System

newable local environmental resources, N_E)、可再生投入有机能源(renewable purchased organic energy, R_0)和不可再生工业辅助能源(non-renewable purchased industrial auxiliary energy, N_I)^[8]。参照刘少慧^[14]的研究方法,在“机械化养蚕—跑道养鱼”模式中,可再生当地环境资源主要是雨水化学能;不可再生当地环境资源主要是表土损失能;可再生投入有机能源包括养蚕子系统中的蚕卵、养鱼子系统中的鱼苗,以及系统整体的电力、劳动力和机械设备租金;不可再生工业辅助能源包括桑园子系统中的复合肥和农药、养蚕子系统中的蚕药、养鱼子系统中的饲料和鱼药,以及系统整体的基建折旧。输出产品主要是蚕茧和鲜鱼。根据以上分类,绘制“机械化养蚕—跑道养鱼”模式能值流动图,如图1所示。

1.3 数据采集

于2019年3月对南浔云豪家庭农场“机械化养蚕—跑道养鱼”生产模式进行详细调研,调研内容包括:管理模式、养殖规模、基建费用、电力支出、人工费用,以及购买蚕卵蚕药、农药化肥、鱼苗鱼药等费用。参照孟祥海等^[15]的计算方法,将系统中的基建和设备投入按照15 a经营期进行分摊。同时根据Odum^[16]和蓝盛芳^[17]提供的数据,对于货币值统计的项目,直接由货币能值转换系数 9.86×10^{12} Sej/\$计算得到能值;对于非货币值统计的项目,需要先

根据能量折算系数计算得到该项目的能量值,再经能值转换系数计算得到对应的能值。其中雨水化学能和表土损失能的计算方法参考喻锋等^[18]的方法,具体如下:

雨水化学能=土地面积×年降雨量× 2.82×10^6 。由《2018年湖州市水资源公报》中得知该地区2018年度降雨量为1681.3 mm。因此,雨水化学能= $(48000-52000) \times 1.6813 \times 2.82 \times 10^6 = 4.74 \times 10^{11}$ J。

表土损失能=耕地面积× 3.18×10^6 ,其中耕地面积即系统中桑园面积48000 m²,因此,表土损失能= $48000 \times 3.18 \times 10^6 = 1.53 \times 10^{11}$ J。

2 结果与分析

2.1 能值输入与输出结构

“机械化养蚕—跑道养鱼”模式各项目的能值计算结果如表1所示。由表1可知,该系统的总输入能值为 1.10×10^{18} Sej。其中可再生当地环境资源 R_E 能值为 7.30×10^{15} Sej,占比为0.66%,主要是环境资源中的雨水化学能;不可再生当地环境资源 N_E 能值为 9.72×10^{15} Sej,占比为0.88%,主要是环境资源中的表土损失能;可再生投入有机能源 R_0 能值为 7.47×10^{17} Sej,占比为67.91%,主要为劳动力资源的能值(占系统总输入能值的44.82%);不可再生工业辅助能源 N_I 能值为 3.41×10^{17} Sej,占比为31%,主要为鱼塘子系统中饲料的能值(占系统总输入能值的

表1 “机械化养蚕—跑道养鱼”桑基鱼塘系统能值分析
Table 1 Emery Analysis for ‘Mechanized Sericulture – Pond Recirculating Aquaculture’ Mode of Mulberry-Dyke and Fish Pond System

项目	数量	能量折算系数	能量	能值转换系数	能值
可再生当地环境资源 R_e	雨水化学能	4.74×10^{11} J	/	4.74×10^{11} J	1.54×10^4 Sej/J
					合计
不可再生当地环境资源 N_e	表土损失能	1.53×10^{11} J	/	1.53×10^{11} J	6.35×10^4 Sej/J
					合计
可再生投入有机能源 R_o	蚕卵	7.99×10^3 \$	/	/	9.86×10^{12} Sej/\$
	鱼苗	8.14×10^3 \$	/	/	9.86×10^{12} Sej/\$
	电力	9.39×10^4 kW·h	3.6×10^6 J/kW·h	3.38×10^{11} J	1.54×10^5 Sej/J
	劳动力	8.12×10^4 h	7.5×10^5 J/h	6.09×10^{10} J	8.10×10^6 Sej/J
	设备租金	4.31×10^3 \$	/	/	9.86×10^{12} Sej/\$
	合计				7.47×10^{17} Sej
	总计				1.10×10^{18} Sej
不可再生工业辅助能源 N_i	农药	3.01×10^2 \$	/	/	9.86×10^{12} Sej/\$
	复合肥	5.54×10^3 kg	4.7×10^6 J/kg	2.60×10^{10} J	5.96×10^5 Sej/J
	蚕药	9.99×10^2 \$	/	/	9.86×10^{12} Sej/\$
	鱼药	1.57×10^3 \$	/	/	9.86×10^{12} Sej/\$
	饲料	2.28×10^4 kg	1.63×10^7 J/kg	3.72×10^{11} J	5.67×10^5 Sej/J
	基建折旧	8.78×10^3 \$	/	/	9.86×10^{12} Sej/\$
	合计				3.41×10^{17} Sej
输出	蚕茧	1.61×10^5 \$	2.55×10^6 J/kg	5.89×10^{13} J	2.70×10^4 Sej/J
	鱼	1.88×10^5 \$	6.29×10^6 J/kg	2.00×10^{11} J	9.30×10^6 Sej/J
	总计				3.45×10^{18} Sej

表2 “机械化养蚕—跑道养鱼”模式的主要能值指标
Table 2 Emery Indexes of ‘Mechanized Sericulture – Pond Recirculating Aquaculture’ Mode

能值指标	公式	得分	
		传统桑基鱼塘	机械化养蚕—跑道养鱼
能值投入率	$EIR = (R_o + N_i) / (R_e + N_e)$	9.56	63.92
能值收益率	$EYR = Y / (R_o + N_i)$	2.07	3.17
环境负荷率	$ELR = (N_e + N_i) / (R_e + R_o)$	0.64	0.46
能值自给率	$ESR = (R_e + N_e) / (R_e + N_e + R_o + N_i)$	0.09	0.02

19.18%)。总输出能值Y为 3.45×10^{18} Sej,其中蚕茧的能值输出为 1.59×10^{18} Sej,占比为46.09%;鱼产品的能值输出为 1.86×10^{18} Sej,占比为53.91%,两者比较接近。

2.2 能值评价指标分析

根据Odum^[16]和蓝盛芳^[17]的论述,本文选用能值投入率(emery investment ratio, EIR)、能值收益率(emergy yield ratio, EYR)、环境负荷率(environmental loading ratio, ELR)和能值自给率(emery self-sufficiency ratio, ESR)4个指标对“机械化养蚕—跑道养鱼”模式进行能值评估,并与刘少慧^[14]对传统桑基鱼塘系统的评估结果进行比较,计算公式和结果如表2所示。

2.2.1 能值投入率

当系统运行主要依靠人类投入资源,对环境的依赖程度较低时,能值投入率的值较大。从表2可

知,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式的能值投入率为63.92,是传统桑基鱼塘系统的6.96倍。这主要是因为与传统桑基鱼塘系统相比,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式中包含小蚕共育、立体化养蚕和跑道养鱼等项目,工业化和集约化水平较高,生产过程中受温度变化、自然灾害等环境因素的影响较小。目前跑道养鱼和小蚕共育的生产技术相对比较成熟,可以通过提高桑园管理过程中的科技化水平,改进立体化养蚕的自动化水平,来进一步提高系统的能值投入率。

2.2.2 能值收益率

当系统具有较高的生产能力和经济效益时,能值收益率的值较大。从表2可知,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式的能值收益率为3.17,比传统桑基鱼塘系统高53.14%。考虑到传统桑基鱼塘系统几乎没有基础建设费用,而“机械化养蚕—跑道养鱼”模式

在基建投资较大的前提下,依然收获了更高的经济效益,说明该模式具有较好的经济性。

2.2.3 环境负荷率

系统在运行过程中可能会产生大量废弃物,给环境带来较大的压力时,环境负荷率的值较大。从表2可知,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式的环境负载率为0.46,比传统桑基鱼塘系统低28.12%。这可能是因为在传统桑基鱼塘系统的养鱼子系统中,容易发生塘泥淤积、残饵腐烂和药物污染等问题,可能会对当地的生态环境特别是水质造成破坏。而在“机械化养蚕—跑道养鱼”模式中,养鱼子系统产生的废弃物被集中收集和處理,降低了环境压力。根据Cavalett Otávio等人^[19]的研究,系统环境负荷率小于2时,在生产过程中不会对环境造成明显的压力。所以“机械化养蚕—跑道养鱼”模式具有较好的生态性,而传统桑基鱼塘系统也远优于环境负荷率为5.88的单一鱼塘养殖系统^[14]。

2.2.4 能值自给率

当系统内部资源循环利用程度较低时,能值自给率的值较小。从表2可知,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式的能值自给率为0.02,比传统桑基鱼塘系统低77.78%。主要原因是传统桑基鱼塘系统中,桑叶用于喂蚕,蚕沙和桑叶残渣用于喂鱼,塘底淤泥一部分用于肥桑,系统内部资源得到了充分的循环利用,可以减少从市场购入桑园复合肥、养鱼饲料等生产资料。而“机械化养蚕—跑道养鱼”模式的桑园子系统中,养鱼产生的排泄物及吃剩的饵料会用作桑树生长的肥料,但养鱼子系统的饲料等生产资料几乎全部由市场购入,系统整体购入的市场资料相较于传统桑基鱼塘系统更多。说明与传统桑基鱼塘系统相比,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式对内部可利用资源的开发比较不足。

3 结论

本文以2018年云豪家庭农场的运营数据为标准,运用Odum H. T.的能值理论原理和方法,定量计算了反映“机械化养蚕—跑道养鱼”模式生态性和经济性的能值指标。结果显示:该系统的能值投入率(EIR)为63.92,比传统桑基鱼塘系统高5.96倍,科技水平更高,运行过程受环境影响更小;能值产出率(EYR)为3.17,略高于传统桑基鱼塘系统,经济

效益优势不明显;能值自给率(ESR)为0.02,低于传统桑基鱼塘系统,系统内部资源的利用水平较差;环境负载率(ELR)为0.46,低于传统桑基鱼塘系统,对环境的保护效果更好。这些指标表明,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式是典型的生态农业生产新模式,具有显著的推广价值。

4 讨论

从系统内资源利用配比来看,“机械化养蚕—跑道养鱼”模式的机械化养蚕子系统中,目前小蚕共育室提供的小蚕和桑园提供的桑叶数量过剩,可以适当增加立体化养蚕设备;跑道养鱼子系统中,目前水塘面积能承担更多的生物净化工作,可以适当增加养鱼跑道。蚕茧和鱼产品的生产技术相对成熟,生产规模的扩大能够显著提高经济收入。

从系统结构来看,根据刘少慧^[14]的研究结果,通过引入大球盖菇子系统,充分利用农作物的副产品,形成桑—蚕—鱼—大球菇模式,在系统能值投入基本不变的前提下,能值总产出比桑基—蚕—鱼塘模式显著提高。可以在原系统中养蚕子系统和养鱼子系统的基础上,适当增加其他子系统:如果桑子系统,通过合理密植叶桑来增加果桑种植面积,配套桑椹鲜果的加工设备,生产桑果汁、桑果酒等产品,延长产业链;食用菌子系统,利用桑园废弃物桑枝进行食用菌栽培,实现系统资源的充分开发;家禽养殖子系统,利用桑园的土地和剩余的桑叶、桑椹进行桑园养鸡,粪便可以增加桑园土壤有机质含量。目前云豪家庭农场已经开拓多种渠道对桑树资源进行综合利用,但是产能有限,输出产品的能值相对较低,需要进一步扩大生产规模,才能增加系统结构的稳定性,同时提高整体经济效益,在市场中获得更强的生存和竞争能力。

从技术集成水平来看,将物联网技术应用于跑道养鱼生产模式中,可以实现各项水质指标的实时监控和远程调节,可节约大量人力和物力;机械化养蚕生产模式是对传统养蚕技术的改革和创新,实现了养蚕过程的半自动化,但是系统中劳动力资源的能值占比依然过高(占总输入能值的44.82%),可以将物联网技术结合温室大棚应用于桑园的种植管理中,实现温湿度的实时监控、水肥一体化的远程控制、桑树病虫害的快速诊断等功能,有利于进

一步减少劳动力,节约成本。

从系统生态服务价值来看,根据王静禹等^[3]的研究结果,桑基鱼塘系统每年的休闲旅游价值为82.92亿元,占总生态服务价值的77.50%,说明可以结合养蚕科普、果桑采摘、鱼塘垂钓、新农村建设等内容,对该系统的休闲旅游价值进行深度开发。

参考文献

- [1] 刘通,程炯,苏少青,等. 珠江三角洲桑基鱼塘现状及创新发展研究[J]. 生态环境学报,2017,26(10):1814~1820.
- [2] 吴怀民,金勤生,殷益明,等. 浙江湖州桑基鱼塘系统的成因与特征[J]. 蚕业科学,2018,44(06):947~951.
- [3] 王静禹,周逸斌,孟留伟,等. 湖州桑基鱼塘生态系统的服务价值评估[J]. 蚕业科学,2018,44(04):615~623.
- [4] 丁农,金瑞丰,张金卫,等. 菱湖“桑基鱼塘”系统及其农业文化遗产的保护与利用[J]. 蚕桑通报,2015,46(01):5~8.
- [5] 易朝辉,段海霞,兰勇. 我国家庭农场研究综述与展望[J]. 农业经济,2019(01):15~17.
- [6] 戈贤平. 大宗淡水鱼跑道养殖技术研发进展[J]. 科学养鱼,2014(08):2~4.
- [7] 沈文泉. 新时代桑基鱼塘系统的保护传承与创新发展研究——以浙江省湖州市南浔区云豪家庭农场为例[J]. 遗产与保护研究,2019,4(01):34~38.
- [8] Odum H T. Self-organization, transformity, and information [J]. Science,1988,242(4882):1132~1139.
- [9] 韩增林,胡伟,钟敬秋,等. 基于能值分析的中国海洋生态经济可持续发展评价[J]. 生态学报,2017,37(08):2563~2574.
- [10] 杨青,刘耕源. 湿地生态系统服务价值能值评估——以珠江三角洲城市群为例[J]. 环境科学学报,2018,38(11):4527~4538.
- [11] 彭艳玲,晏国耀,马昕娅,等. 基于能值与改进 DEA-EBM模型的“青贮玉米-养殖”种养结合模式产出效率评估研究——以四川省“粮改饲”青贮玉米示范区为例[J]. 干旱区资源与环境,2019,33(12):68~76.
- [12] 朱冰莹,董佳,沈明星,等. 基于能值分析的秸秆-羊-田循环系统生产效率与可持续性评估[J]. 农业工程学报,2019,35(06):235~243.
- [13] 高承芳,黄颖,张晓佩,等. 基于能值分析的马尾松低效林林下种草养鸡耦合模式评价[J]. 中国生态农业学报,2018,26(12):1919~1928.
- [14] 刘少慧. 湖州桑基鱼塘系统经营模式评估与选择[D]. 山东师范大学,2018.
- [15] 孟祥海,周海川,张郁,等. 农牧渔复合生态养殖系统能值分析[J]. 生态与农村环境学报,2016,32(01):133~142.
- [16] Odum H T. Folio #2: Emergy of Global Processes. Handbook of Emergy Evaluation [M]. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, 2000.
- [17] 蓝盛芳,钦佩. 生态经济系统能值分析[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [18] 喻锋,李晓波,王宏,等. 基于能值分析和生态用地分类的中国生态系统生产总值核算研究[J]. 生态学报,2016,36(06):1663~1675.
- [19] Cavalett Otávio, Queiroz Júlio- Ferraz. Ortega Enrique. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil [J]. Ecological Modelling, 2006, 193(3/4):205~224.

(上接第27页)

参考文献

- [1] 吕鸿声. 栽桑学原理[M]. 上海:上海科学技术出版社,2008.
- [2] 朱志贤,于翠,李勇,等. 桑树抗逆性分子机制研究进展[J]. 湖北农业科学,2017,23:11~17.
- [3] 林天宝,魏佳,刘岩,等. 中晚秋“强桑1号”叶片生理生化变化的研究[J]. 蚕桑通报,2017,48(1):15~17.
- [4] 朱小文. 不同提取条件对植物组织SOD、POD和CAT酶活性的影响[J]. 食品科技2018,319(5):272~276.
- [5] 黄升谋,张宏波,余海忠. 水稻粒叶比与叶片SOD、POD、CAT活性及MDA含量的关系[J]. 杂交水稻,2017,4:76~80.
- [6] 何庆元,向仕华,吴萍,等. 盐胁迫对大豆POD、SOD和CAT同工酶的影响[J]. 安徽科技学院学报,2015,3:10~13.
- [7] 王伟玲,王展,王晶英. 植物过氧化物酶活性测定方法优化[J]. 实验室研究与探索,2010,04:26~28.
- [8] 龚岫,石英,韩毅强,等. 提取缓冲液pH值对植物组织中SOD、POD和CAT酶活性的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2017,2:8~12.
- [9] 崔玉东,侯喜林. 大肠杆菌K99和F41菌毛抗原的不同缓冲液热处理提取方法比较的研究[J]. 中国畜禽传染病,1998,20(5):281~283.
- [10] 杨芳,吕玲玲,施溯筠. 榆黄蘑可溶性蛋白的提取及其对羟自由基的清除作用[J]. 延边大学学报(自然科学版),2012,38(2):142~145.