

# 农林复合模式区域适宜性评价指标体系构建<sup>①</sup>

## ——以广东省猪-沼-脐橙模式为例

芦园园<sup>1,2</sup>, 赵玉国<sup>1\*</sup>, 卢 瑛<sup>3</sup>, 章家恩<sup>3</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

**摘要:** 农林复合模式的区域适宜性评价工作, 目前国内外研究涉及很少。以广东省低山丘陵区的典型农林复合模式猪-沼-脐橙为例, 从自然条件和社会经济条件两个角度, 分析模式内部各构成要素猪、沼、脐橙的区域发展影响因素; 并进一步剖析模式内部各组分依存关系, 最终得到模式区域发展的综合评价指标体系。可以为其他农林复合模式的区域适应性评价提供指标体系建立原则和方法上的参考。

**关键词:** 猪-沼-脐橙; 农林复合模式; 适宜性评价; 指标体系

中图分类号: S9

协调好经济发展、粮食安全、生态环境保护之间关系是我国农业发展和土地利用所面临的关键问题之一。同时, 温饱问题解决后, 我国居民膳食结构也在进行着大的调整, 这表现在对蔬菜、水果、高蛋白食品的需求数量和质量日益提高。循环农业、生态高值农业的发展模式正是符合了这些需求, 成为近几年来农业和农村发展的热点方向。

农林复合模式作为循环农业、生态高值农业的雏形, 在我国多个地区都有发展和推广应用。很多研究对农林复合模式的效益进行了对比和评价<sup>[1-6]</sup>, 鲜有对其区域发展适宜性的评价研究工作。每一种农林复合模式都由两个以上组分构成, 其区域发展潜力是模式内部各组分在自然条件和社会经济条件双重影响下决定的, 同时其发展现状又明显受到当地政策和种植养殖习惯的影响。因此, 相对于单一的作物适宜性评价, 农林复合模式的区域适宜性评价是一个复杂的过程, 需要从各构成组分角度遴选独立评价指标, 同时需要在对组分间物质、能量流动平衡关系分析的基础上, 筛选共性影响指标, 并最终集成建立综合评价指标体系<sup>[7]</sup>。

我国亚热带丘陵地区面积广大, 水热资源较为丰沛, 是发展农林复合等高值农业的理想区域, 猪-沼-果模式是该区域的一种典型农林复合模式<sup>[8]</sup>。猪-沼-

果复合模式适合田少山地多、以栽种经济作物和果木为主的地区, 即以沼气为纽带, 连动畜牧业、果业、种植业等相关产业共同发展的生态农业模式; 它是农区、丘陵山区农民对土地利用的主要形式, 是推进农业、农区林业等可持续发展的主要土地利用方式<sup>[9]</sup>。

在现有的适宜性评价研究中, 关于猪-沼-果复合模式适宜性评价指标体系构建的文献较少, 现有的文献多从单一的种养殖或沼气的区域适宜性角度展开指标体系的研究<sup>[10-14]</sup>, 很少从模式整体角度出发进行系统的适宜性评价指标体系建设研究<sup>[15-17]</sup>。本研究以广东省为研究区域, 以猪-沼-脐橙复合模式为例, 对农林复合模式适宜性评价的指标体系构建进行探索性研究, 以为农林复合模式的区域适宜性评价指标体系筛选提供一些参考和借鉴。

### 1 农林复合模式区域适宜性评价指标体系构建原则

农林复合模式区域适宜性评价指标体系构建原则相同于一般的适宜性评价, 应该遵循显著性、稳定性、主导性、易操作性、可比性、科学性、层次性等原则<sup>[18-21]</sup>, 不同之处在于应该强调内部利用和结构性原则, 即进行适宜性评价指标体系选取时需要对农林复合模式内部各个组分的相互关系和内部构成进行

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2009BAD6C6B007)、科技部基础性工作专项(2008FY110600)和土壤与农业可持续发展国家重点实验室基金项目(0812000068)资助。

\* 通讯作者(ygzhaoy@issas.ac.cn)

作者简介: 芦园园(1986—), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事农林复合模式评价方面的研究。E-mail: yylu@issas.ac.cn

分层次剖析。

农林复合模式的区域适宜性评价指标体系构建需从部分和整体两个角度分层次展开,本研究从自然和社会经济条件两个角度对猪-沼-脐橙复合模式的3个组成部分“猪、沼气、脐橙”单一模式区域适宜性逐一进行分析,找出各个单一模式区域适宜性影响因子;再整体上考虑复合模式内部的结构和相互依存利用关系,给出整个复合模式的区域适宜性评价指标体系。

依据上述适宜性评价指标体系构建原则,结合农林复合模式自身的特点,分层次、分步骤地进行猪-沼-脐橙模式评价指标的筛选。

## 2 猪-沼-脐橙模式区域适宜性评价自然条件分析

### 2.1 脐橙种植

对脐橙的区域适宜性研究,主要从自然条件进行分析。脐橙在某一区域能否较好地生长,主要受气候、地形、土壤条件等3方面因素综合作用的影响。

**2.2.1 气候条件** 脐橙是一种对气候非常敏感的果树<sup>[22]</sup>。温度是影响脐橙分布和种植的主要因素,当气温达到 $12.5^{\circ}\text{C}$ 时脐橙开始生长,适宜生长温度为 $13^{\circ}\text{C} \sim 36^{\circ}\text{C}$ ,最适年均温度为 $18^{\circ}\text{C} \sim 19^{\circ}\text{C}$ ;  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年活动积温要求 $4\ 500^{\circ}\text{C}$ 以上,但 $6\ 000^{\circ}\text{C} \sim 6\ 500^{\circ}\text{C}$ 最为适宜;极端最低气温多年平均值需 $> -5^{\circ}\text{C}$ ,否则会造成冻害致死<sup>[22-23]</sup>。可以用年均温度、生长期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温和冬季的极端最低温等指标作为适宜性评价的备选因子。

脐橙生长还需要适宜的水分和空气湿度状况,通常年降雨总量在 $1\ 000\ \text{mm}$ 以上为宜,空气相对湿度在 $40\% \sim 80\%$ 之间为好<sup>[23]</sup>;脐橙虽属耐阴性较强的果树,但日照与脐橙高产优质关系密切<sup>[24]</sup>,一般年日照时数 $1\ 600\ \text{h}$ 以上较适宜。

此外,脐橙的生长过程还易受到低温冷害、高温热害、干旱和冰雹大风等自然灾害的影响,造成减产甚至绝产。

气候因子适宜等级决定了脐橙在区域的空间分布,因此气候因子的适宜性等级应按照整体空间分区结合短板限制原则进行划分,如利用年均温从整体上划分适宜等级,低于某个临界值的极限条件则作为短板原则加以限制,划定出不适宜等级范围。

**2.1.2 地形条件** 不同海拔高度具有不同的水热组合特征,对作物的生长和分布会产生很大影响<sup>[25]</sup>。海拔较高,交通相对不便,不利于种植生产管理和销

售,且高海拔地区温度较低,易于引起果树冻害。

坡度较大,易导致水土流失,另外对果园施肥、喷药等管理方面也会造成不便<sup>[26]</sup>;低洼处,地表易于积水,长期腌渍腐烂根部,还会影响果树的采光状况,不宜种植。

坡向对日照时数、太阳辐射强度、温度及湿度等都有明显影响<sup>[25]</sup>。因此,脐橙栽培种植时应首选南坡、东南坡,其次是西南坡、西坡和东坡,最好不选北坡。

根据脐橙对地形条件的要求,确定海拔、坡度、坡向等参评指标,并确定其与脐橙生长和产出关系模型,然后从数字高程模型(DEM)中提取相关参数图层。

**2.1.3 土壤条件** 脐橙对土壤的适应性较强,但较好的土壤条件可节省建园成本和今后的管理成本<sup>[27]</sup>。土层深度是影响脐橙立地条件的关键因素,土壤质地影响到土壤的通透性和保水保肥能力,有机质含量和土壤酸碱性也是影响脐橙生长的重要评价指标。

### 2.2 生猪养殖

就广东省自然条件而言,并不存在生猪养殖的绝对不适宜区域,但是从宏观尺度上,仍然存在适宜程度的相对差异。气候因素是影响动物机体生长的重要环境因素。生猪养殖的适宜温度范围约在 $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间,气温过高或过低均不利于生长、育肥和饲料利用率<sup>[28]</sup>;湿度以 $50\% \sim 80\%$ 为宜,一般认为生猪养殖最佳相对湿度为 $60\% \sim 85\%$ <sup>[29]</sup>。

从微域尺度,养猪场应尽量选择地势较平坦或有一定坡度地区,方便排水、渗水,周围要有充足并达到饮用标准的水源。所以对于生猪养殖的自然条件影响因素,可以从宏观尺度的气候条件和微域尺度的局部条件两个角度进行选择。

### 2.3 沼气生产

广东省中南部是沼气最自然适宜区,农村户用沼气发展不受自然条件的限制;广东省北部地区仅在全年最冷的数天到十数天的时间内户用沼气池产气效率稍受影响<sup>[30]</sup>,但可采取一定的保温措施来安全过冬。

### 2.4 猪-沼-脐橙复合模式

依据上面单一模式的分析可知,在广东省域内,自然条件对脐橙的适宜栽培区域限制作用很大,但对沼气和猪的适宜分布区域基本不会产生影响,即使在个别次适宜地区也可以采取一定的调节措施使其达到适宜程度。因此,对猪-沼-脐橙自然指标的选取主要参考脐橙的适宜性评价因子进行选取,生猪养殖和沼气发展的气候、地形等影响因素也都已包含在脐

橙种植的影响因素中。

### 3 猪-沼-脐橙模式区域适宜性评价社会经济因素分析

通过分析广东农林复合模式的实地调查结果,发现典型模式多成片分布,在粤北的韶关、清远地区以稻-鸭共作复合模式为主,粤东北的梅州、揭阳、河源地区以猪-沼-果模式为主,茂名、惠州等南亚热带水果地区以果-鸡、果-猪复合模式为主。相似的自然条件但不同的区域,可能分布有完全不同的主流农林复合模式,这说明社会经济因素对某种农林复合模式的发展具有重要的影响,如交通条件、技术推广水平、群众接受度、原料输入和产品供销渠道等等。因此进行模式的评价时不仅要考虑自然条件的客观限制作用,更要考虑社会经济、政策导向等的影响。

首先对影响单一模式但对复合模式无影响的社会经济因素进行分析。例如,单一养猪业产生大量牲畜粪便,若未充分利用,极易造成环境污染<sup>[31]</sup>。因此,生猪养殖中的粪便处理能力是影响区域发展状况的重要因素。沼气生产的发酵来源至关重要,发酵原料的可获得性是一个沼气系统正常发挥其功效的重要因素<sup>[14]</sup>。陈豫等<sup>[32]</sup>认为不以种植或猪、牛养殖业为主的农村地区,缺少沼气的发酵原料,不宜作为沼气发展区域。

对猪-沼-脐橙模式内部物质循环利用进行分析,通过模式内部的物质循环、能量流动<sup>[33]</sup>,不仅解决了生猪养殖粪便处理和沼气发酵原料供应等问题,还可充分利用各模式的衍生产物,实现模式良性健康循环。在进行复合模式适宜性评价时,模式内部循环可以解决的沼气原料来源、粪便处理等问题就可以不予以考虑。

其次将本研究中猪-沼-脐橙复合模式与猪、沼气、脐橙单一模式影响类似的社会经济因素进行归纳与合并,从区域交通状况、收入水平和劳动力状况及其他影响因素等方面进行分析,得到影响猪-沼-脐橙复合模式的社会经济因素指标因子。

#### 3.1 区域交通状况

交通状况直接决定了农林复合模式的原料输入和产品输出的便利程度,其中最具有影响力的是公路系统,公路具有快捷、灵活、覆盖广等优点,可以选取公路网密度作为评价指标之一。另外部分地区也应该根据实际情况考虑水运、铁路等其他交通条件作为参评因子,可以通过不同区域、不同运输系统的相关货物吞吐量比例来确定是否添加此类因子。

#### 3.2 收入水平

猪-沼-脐橙模式在特定区域能否顺利推广,很大程度上取决于区域的经济基础。农民的收入水平直接关系到对模式接受的程度和投入能力;政府的资金扶持对猪-沼-脐橙模式的推广普及起到关键性的作用,在人均收入较低地区,实施猪-沼-脐橙复合模式存在一定资金困难,若政府对该种模式给予相应的支持,则有利于模式在该区域的普及与发展。

收入水平对农林复合模式的影响,可以通过行业GDP、人均收入水平、地方财政收入水平等指标来间接反映,相关数据可以从地方统计年鉴获得,并把各个地区数据统一到科学的、有可比性的人均、单位面积均等分量数据。

#### 3.3 劳动力状况及其他影响因素

猪-沼-脐橙模式是一种人工复合经营模式,需要充足的劳动力资源;猪-沼-脐橙模式还需要较多的技术知识,劳动者的文化程度对模式的发展有着重要影响;市场信息获取的通畅程度也是农林复合系统发展的重要影响因素<sup>[34]</sup>。另外复合或单一模式在特定地区的群众基础也很大程度上影响模式的推广和普及,如骆世明等<sup>[35]</sup>对广东沼气农业模式的调查和研究发现,广东省以沼气为纽带的复合模式,技术较成熟,群众接受度较高,这为猪-沼-脐橙复合模式的发展奠定了良好的基础。

劳动力状况及其他影响因素对农林复合模式的影响,可以通过人口密度状况、劳动力文化程度如农村初中及以上劳动者比例、农村广播电视普及率等指标来间接反映,相关数据从地方统计年鉴或普查数据资料整理获得,并把各个地区数据进行统一处理使其符合科学性、可比性要求。

## 4 讨论与结论

指标选取合理与否,直接关系到分析结果是否具有合理性。农林复合模式的区域适宜性评价指标体系构建不可能将影响复合模式区域适宜性的所有因素都加以分析综合,而是参照模式适宜性评价指标体系构建原则找出主要的影响因素,再采用相关、因子分析等方法,从中筛选出主导影响因子。

以广东省猪-沼-脐橙复合模式的区域适宜性评价指标体系构建为例,本研究从自然和社会经济两个大的角度分层次进行猪-沼-脐橙复合模式区域适宜性评价指标体系的筛选。在参阅大量现有文献资料基础上,通过分析脐橙、猪和沼气各个单一模式进行适宜性评价时需考虑的因素,基本确定了复合模式区域

评价的指标体系,再根据模式内部的能量流动和物质循环规律,结合指标因子之间的相关性分析,最终确

定了猪-沼-脐橙复合模式区域适宜性评价的指标体系,评价因子的指标体系如表 1 所示。

表 1 广东省猪-沼-脐橙复合模式区域适宜性评价指标体系

Table 1 Pig-biogas-avel orange compound model's regional suitability evaluation index system of Guangdong Province

指标	亚指标	具体指标	单位	
自然因素	气候	年均气温	℃	
		≥10℃年积温	℃	
		年均降雨总量	mm	
		年总日照时数	h	
	地形	高程	m	
		坡度	°	
		坡向	°	
		土壤	有机质含量	g/kg
	社会经济因素	交通条件	公路网密度	km/100 km <sup>2</sup>
			经济状况	农村居民年人均纯收入
		劳动力状况	年人均地方财政收入	元/(年·人)
			人口密度	人/km <sup>2</sup>
			农村初中及以上劳动者比例	%
信息化状况		农村广播电视综合覆盖率	%	

农林复合模式指标体系的研究是一项综合性、系统性很强的工作,且具有明显的区域特征,目前国内对于这方面的研究工作开展得还较少,许多问题还有待于进一步探索研究<sup>[17]</sup>。本研究以猪-沼-脐橙模式为例,在农林复合模式区域发展适宜性评价指标体系构建方面做了尝试性的探讨,希望为类似研究提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 孙华, 张桃林, 孙波. 低丘红壤区典型复合农林模式的生态评价[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(2): 30-33

[2] 章铁, 李宏开, 祝有刚, 杨晓飞. 大山示范区经果林复合经营模式及其生态和经济效益分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1 247-1 251

[3] 曹建华, 蒋菊生, 梁玉斯. 胶-农复合生态系统生态效益比较研究[J]. 热带农业科学, 2007, 27(6): 1-4

[4] 蔡国军, 张仁陟, 莫保儒, 魏强, 柴春山, 于洪波. 定西安家沟流域 3 种典型农林复合模式的评价研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 120-124

[5] 吴钢, 魏晶, 张萍, 赵景柱. 三峡库区农林复合生态系统的效益评价[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 233-239

[6] 李昌晓, 李昌阳, 汤兴华. 几种典型混农林模式的综合评价[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2003, 28(2): 288-293

[7] 李元, 祖艳群, 胡先奇, 邱世刚. 生态村农业生态经济系统综合评价指标体系的研究[J]. 生态经济(学术版), 1994(2): 30-34

[8] 曾新方. 把生态循环农业作为现代农业的突破口[N]. 农民日报, 2007-07-14(3)

[9] 姜安如, 李文华. 我国农林业复合经营发展潜力的初步分析[J]. 自然资源, 1995, 6(3): 14-20

[10] 王瑞东, 姜存仓, 刘桂东, 王运华, 彭抒昂, 钟八莲, 曾庆奎. 赣南脐橙园立地条件及种植现状调查与分析[J]. 中国南方果树, 2011, 40(1): 1-3

[11] Ye Y, He F, Zhang XY, Gong ZF, LU SS, Fang L. A GIS-based study on suitability estimation of tea cultivation in Qimen County[J]. Agricultural Science and Technology, 2011, 12(1): 149-152

[12] 杨洋, 何春阳, 李晓兵. 基于 GIS 的云南栽培型普洱茶树大规模种植适宜性评价[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(3): 33-40

[13] 那伟, 祝延立, 刘鹏, 张永峰. 吉林省农村户用沼气建设的适宜性评价分析[J]. 可再生能源, 2010, 28(5): 134-138

[14] 包风霞, 杨改河, 冯永忠, 陈豫. 陕北黄土高原农村户用沼气区域适宜性评价——以延安市为例[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(11): 117-122

[15] 孔令省, 宋良红, 刘彦斌, 胡京枝, 王献. 农林复合生态系统评价指标体系研究[J]. 河北林果研究, 1996, 11(Z1): 59-64

- [16] 王丽梅, 邵明安, 郑纪勇, 王忠林. 渭北旱塬农林复合系统环境评价指标体系研究与应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 34-37
- [17] 吴晓婷, 陈亮中. 农林复合系统分类体系与研究方法综述[J]. 林业调查规划, 2006, 31(3): 101-104
- [18] 吴建军, 王兆寿, 胡秉民. 生态农业综合评价的指标体系及其权重[J]. 应用生态学报, 1992, 3(1): 42-47
- [19] 周衍平, 陈会英. 农业生态经济系统评价指标体系研究[J]. 生态经济(学术版), 1992(2): 14-20
- [20] 朱钰, 刘润芳, 王佐仁. 关于地区经济发展潜力指标体系的思考[J]. 统计与信息论坛, 2007, 22(3): 65-68
- [21] 曾本祥. 农业生态经济系统生产力评价指标体系研究[J]. 应用生态学报, 1991, 2(2): 108-112
- [22] 李树勇, 周小江, 殷剑敏, 肖金香. 寻乌县脐橙种植气候地形土壤综合区划[J]. 江西农业学报, 2007, 19(5): 40-43
- [23] 田菊萍, 黄承勇, 周艳. 榕江县脐橙种植气候适应性分析[J]. 农技服务, 2010, 27(5): 626-627
- [24] 谢远玉, 谢勇. 赣南脐橙种植气候区划[J]. 气象与减灾研究, 2003, 26(4): 36-38
- [25] 马浩, 周志翔, 吴昌广, 魏合义, 刘学全, 唐万鹏. GIS支持下的浠水县林地适宜性评价及林种结构调整研究[J]. 中国水土保持, 2011(3): 44-47
- [26] 郭治兴, 柴敏, 王静, 魏秀国. 广东省广藿香土壤生态适宜性评价[J]. 广州中医药大学学报, 2011, 28(1): 70-74
- [27] 胡永琼, 曾道芳. 脐橙丰产栽培技术[J]. 云南农业科技, 2011(1): 39-41
- [28] 穆淑琴, 李千军. 气候因素对养猪生产的影响(综述) [J]. 家畜生态, 1992, 13(1): 44-48
- [29] 徐昶昕, 王卫星, 苏永亮. 农业生物环境控制[M]. 北京: 农业出版社, 1994: 48
- [30] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 李刚, 李建政. 中国农村户用沼气自然适宜性区划[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1 272-1 279
- [31] 李芳柏, 钟继洪, 谭军. 广东集约化养猪业的环境影响及其防治对策[J]. 土壤与环境, 1999, 8(4): 245-249
- [32] 陈豫, 杨改河, 冯永忠, 任广鑫. “三位一体”沼气生态模式区域适宜性评价指标体系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 174-178
- [33] 王立刚, 屈锋, 尹显智, 邱永洪, 黄德卿, 陶敏诗. 南方“猪-沼-果”生态农业模式标准化建设与效益分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1 283-1 286
- [34] 庞爱权, Ian N. 中国农林复合系统的经济评价[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 176-182
- [35] 骆世明, 黎华寿. 广东沼气农业模式的典型调查与思考[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 147-152

## Construction of Agro-forestry Model's Regional Suitability Evaluation Index System

— A Case Study of Pig-biogas-navel Orange Model in Guangdong Province

LU Yuan-yuan<sup>1,2</sup>, ZHAO Yu-guo<sup>1\*</sup>, LU Ying<sup>3</sup>, ZHANG Jia-en<sup>3</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Few studies are focused on agro-forestry models' regional suitability evaluation among domestic and foreign studies. Exemplified by the typical agro-forestry model, namely pig-biogas-navel orange model, in Guangdong Province's hilly regions, this paper analyzed regional development influencing factors of model's internal components such as pig, biogas and navel orange and then further dissected model internal components' dependence development to ultimately achieve the comprehensive evaluation index system of model regional development from natural and social economic conditions. This paper aimed to provide establishment principles of index systems and methods of reference for other agro-forestry models' regional suitability evaluation.

**Key words:** Pig-biogas-navel orange, Agro-forestry model, Suitability evaluation, Index system