

上海都市农业生态安全定量综合评价

邓楚雄¹, 谢炳庚^{1*}, 吴永兴², 李晓青¹, 朱东国¹

(1. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081; 2. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062)

摘要: 构建都市农业生态安全评价指标体系, 选用相关数学方法与计量模型, 对上海都市农业生态安全进行定量综合评价。结果表明: (1) 1993~1998年, 上海市农业资源安全指数处于平稳状态, 上海农业环境安全指数波浪式交替增减, 农业经济社会发展指数持续小幅下降, 农业生态安全综合指数交互升降。(2) 1999~2008年, 农业资源安全指数经过较小幅度减小后(1999~2004年), 以年均10.43%的速度较快增长; 农业环境安全指数、农业经济社会发展指数和农业生态安全综合指数分别以年均6.97%、24.65%、6.88%的速度连年攀升。(3) 郊区人均耕地面积、单位农作物播种面积化肥使用强度、农业比较优势系数、农村人口人均粮食占有量、酸雨频率5项指标逐渐成为都市农业生态安全的主要障碍因素, 2008年障碍度均超过了10.00%; 都市农业生态安全的威胁主要来自于农业资源、农业环境安全子系统, 农业经济社会发展子系统对都市农业生态安全的障碍作用逐年减小。

关键词: 生态安全; 定量综合评价; 都市农业; 上海市

文章编号: 1000-0585(2011)04-0645-10

1 引言

都市农业是指社会经济发展到较高水平时, 在整个城市区域范围内形成的依托并服务于城市、促进城乡和谐发展、功能多样、业态丰富、产业融合的现代农业综合体系, 是城市经济、社会、生态系统的有机组成部分^[1,2]。生态安全是一个相对、动态的概念, 在人类活动和外界环境变化的影响下处于不断的变化之中^[3]。广义的生态安全是由自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全组成的一个复合人工生态安全系统, 是指在人的生活保障来源、健康安乐、基本权利、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态^[4,5]; 狭义的生态安全是指自然和半自然生态系统的安全, 即生态系统完整性和健康的整体水平反映^[6]。本研究中都市农业生态安全为狭义的生态安全, 是指在一定时间范围内, 在城市经济社会发展的影响下, 都市地区农业生态系统能保持持续的生产能力, 一定程度上确保城乡居民保障性农副产品供给安全, 并能体现良好的经济、社会、生态效益, 农业生产的生态环境条件不对农业持续发展和其多元衍生服务功能的拓展与发挥构成威胁, 且不断得到修复、改善的过程与状态。都市农业发展理念源自于日、美、欧等发达国家与地区, 自20世纪90年代初传入中国大陆以来, 都市农业规划与建设在北京、上海、

收稿日期: 2010-07-25; 修订日期: 2011-02-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAJ08B18-04); 湖南省软科学研究计划项目(2009ZK3165)

作者简介: 邓楚雄(1974-), 男, 湖南衡阳人, 博士, 讲师, 主要从事资源评价与区域规划方面的研究。

E-mail: dexppd@163.com

* 通讯作者: 谢炳庚(1961-), 男, 湖南长沙人, 教授, 博导, 主要从事资源评价与利用方面的研究。

E-mail: xbgyb@sina.com

深圳等地纷纷开展^[7~9],在它们的示范、辐射、带动下,都市农业在我国东部沿海快速城镇化地区和内地大城市周边蓬勃发展^[10,11]。然而,在快速推进的工业化、城镇化和现代化建设进程中,都市地区农业发展普遍面临着农地资源日趋短缺、生态环境不断恶化、农业生产自身污染负荷重、农业比较经济效益低下等一系列问题,农业生态安全面临着极大的威胁与挑战。

维持生态安全是实现区域可持续发展的基础,开展区域生态安全评价具有重要的科学和实践意义^[12],因此近年来国内外有关区域生态安全方面的研究成果相继涌现^[13~18]。如任志远等利用生态足迹理论与方法,对1986~2002年陕西省三大区域生态安全及空间差异进行定量分析^[13];王尚义等运用“系列横剖面”、“压力—状态—响应”框架模型等方法,对历史时期汾河上游生态安全问题进行尝试性探索^[14];曹明兰等运用能值分析方法构建了城市生态安全评价体系和城市生态安全指数,对1995~2005年间唐山市生态安全进行评价^[16]。农业是对自然资源、生态环境影响和依赖最大的产业部门,农业和农村可持续发展是中国可持续发展的优先领域和根本保证,因此区域农业生态安全又是区域可持续发展的核心。地处大城市周边的都市农业作为现代农业发展的一种特殊形式,对城市支撑、保障作用明显,对促进城乡和谐发展意义重大,其生态安全更应受到社会各方的重视与关注。目前关于农区农业生态安全的研究成果较多^[12,19~23],而对都市农业生态安全的研究却是鲜见^[24,25],构建具有都市农业发展特色的指标体系,并用之对都市农业生态安全进行定量综合评价的研究尚未见报道。基于此,本文探索性地构建一套能凸显都市农业发展特色的指标体系,尝试采用信息熵法、综合指数法、“障碍度”诊断模型等方法,对自1993年上海开展都市农业实践以来的农业(种植业)生态安全进行时间序列定量综合评价,并诊断出当前阻碍都市农业生态安全的关键影响因子,旨在为上海地区有针对性地进行农业生产行为调整和农业生态环境防治提供可靠依据,同时为国内都市农业进行生态安全动态研究提供理论参考。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

上海地处我国南北海岸线的中心区域,土地总面积6340.50km²,位于兼有海洋性特征的亚热带季风气候区,是典型的河口三角洲冲积平原,土壤肥沃,水系密布,自然条件十分宜农。2008年,全市辖19个区(县),近远郊涉农区(县)10个,耕地总面积20.50×10⁴hm²;农业总产值280.70×10⁸元,其中种植业产值为135.52×10⁸元,占全市农业总产值的48.28%,是上海现代都市农业的重要组成部分。近些年来,尽管耕地面积不断减少,但在各级政府大力扶持和社会各界广泛参与下,结合自身努力,上海都市农业现代化水平逐步提高,经济效益逐渐增强,生态、社会等各项农业衍生服务功能不断得到拓展与良好发挥。然而,区域经济的高速发展与城镇化进程的加速推进,给现代都市农业持续发展造成了较大的资源、环境压力,同时,种植业、养殖业、畜牧业竞相发展的过程中,也产生了较多的生态环境问题。

2.2 研究方法

2.2.1 评价指标体系构建 根据前文对都市农业生态安全的定义,本研究将都市农业生态安全系统分为农业资源安全、农业环境安全和农业经济社会发展三个子系统,在深入研究国内外有关农业生态安全指标体系^[12,19~25]的基础上,结合上海都市农业发展的特色与

实际，在三个子系统之下分别提出了一系列单项评价指标，初步组建成都市农业生态安全评价指标体系。在此基础上，广泛征询相关专家意见，并遵循科学性、系统性、可比性等原则，充分考虑指标数据可获取性的同时，对同类指标进行相关性分析，保留相关性较大的指标，筛选出 23 项具体评价指标（其中包括设施农业面积、农业科技攻关重点项目投资、农业科技人员拥有率、单位农作物播种面积农膜使用强度、工业废水排放达标率、酸雨频率、农业比较优势系数、农业旅游收入、农业规模化经营水平等 9 项能凸显都市农业发展特色的指标，以及 14 项常规指标），作为上海都市农业生态安全综合评价指标体系（表 1）。各指标选用的理由分别为：在农业资源方面，各指标分别从土地资源、光热资源、水资源、粮食资源、现代设施农业资源、农田水利设施建设资金、农业科技资源等方面来表征都市农业资源安全状况；在农业环境方面，各指标分别从主要农业生产物质投入强度、农业废弃物处理能力和农业生产的外部环境条件来充分说明都市农业环境安全状况；在农村经济社会发展方面，各指标分别从现代农业社会经济效益、农业商品化程度、

表 1 上海都市农业生态安全评价指标体系及指标权重

Tab. 1 The evaluation indexes and index weight of urban agriculture ecological security in Shanghai

系统层	子系统层	指标层	指标说明	指标极性	指标权重
		C ₁ 郊区人均耕地面积 (hm ² /人)	郊区耕地面积/郊区总人口	+	0.0665
	农业资源安全	C ₁₂ 设施农业面积 (10 ⁴ hm ²)	农用温室面积+蔬菜大棚面积	+	0.0513
		C ₁₃ 复种指数 (%)	农作物播种面积/耕地面积	+	0.0488
		C ₁₄ 耕地有效灌溉率 (%)	有效灌溉面积/耕地面积	+	0.0485
		C ₁₅ 农村人口人均粮食占有量 (kg/人)	粮食总产量/郊区农村人口	+	0.0476
		C ₁₆ 农田水利工程总投资 (10 ⁸ 元/年)	统计数据	+	0.0471
	(B ₁)	C ₁₇ 农业科技攻关重点项目投资 (10 ⁸ 元/年)	统计数据	+	0.0447
		C ₁₈ 农业科技人员拥有率 (人/10 ⁴ 人)	农业技术人员数/农业从业人员数	+	0.0428
		C ₂₁ 林木覆盖率 (%)	(林地面积+园地面积+苗圃面积)/土地总面积	+	0.0449
农业生态安全	农业环境安全	C ₂₂ 单位农作物播种面积化肥使用强度 (kg/hm ²)	化肥施用量/农作物播种面积	-	0.0602
		C ₂₃ 单位农作物播种面积农药使用强度 (kg/hm ²)	农药施用量/农作物播种面积	-	0.0551
		C ₂₄ 单位农作物播种面积农膜使用强度 (kg/hm ²)	农膜使用量/农作物播种面积	-	0.0393
		C ₂₅ 畜禽粪便资源化率 (%)	畜禽粪便利用量/畜禽粪便总生产量	+	0.0520
		C ₂₆ 秸秆综合利用率 (%)	秸秆利用量/秸秆总生产量	+	0.0427
(A)	(B ₂)	C ₂₇ 工业废水排放达标率 (%)	工业废水达标排放量/工业废水排放总量	+	0.0413
		C ₂₈ 酸雨频率 (%)	全年酸雨天数占比	-	0.0346
	农业经济	C ₃₁ 单位耕地面积种植业产值 (元/hm ²)	种植业产值/耕地面积	+	0.042
		C ₃₂ 农业商品率 (%)	农林牧渔商品价值/农林牧渔总产值	+	0.0360
		C ₃₃ 农业比较优势系数 (%)	农业劳动力人均农业增加值/农村非农劳动力人均非农产业增加值	+	0.0376
	社会发展	C ₃₄ 农业旅游收入 (10 ⁸ 元/年)	统计数据	+	0.0335
		C ₃₅ 农业规模化经营水平 (hm ² /人)	耕地面积/农业劳动力数	+	0.0278
		C ₃₆ 农业劳动力占比 (%)	农业劳动力数/郊区总人口	-	0.0294
	(B ₃)	C ₃₇ 农村劳动力受教育年限 (年)	D ₁ × 2 + D ₂ × 5 + D ₃ × 8 + D ₄ × 11 + D ₅ × 15	+	0.0263

注：D₁—不识字或很少识字、D₂—小学文化程度、D₃—初中文化程度、D₄—高中文化或中专程度、D₅—大专及以上学历。

农业与非农产业间经济效益差距、农业规模化经营水平、农业劳动力数量与质量等方面来反映农业经济社会发展状况。

2.2.2 数据来源与指标原始数据标准化 上海都市农业生态安全评价指标原始数据主要来源于相关年份上海统计年鉴、上海郊区统计年鉴、上海环境状况公报、区县统计年鉴和农业部门内部资料等。由于上述所构建的评价指标体系中,包括正向作用和负向作用两大类性质不同的指标,且大部分指标间存在量纲上的差异,不具备可比性,本研究运用极差标准化法^[12]对指标原始数据进行标准化处理。具体计算公式如下:

$$\text{正向作用指标: } X'_{ij} = (X_{ij} - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j) \quad (1)$$

$$\text{负向作用指标: } X'_{ij} = (\max X_j - X_{ij}) / (\max X_j - \min X_j) \quad (2)$$

式中, X_{ij} 和 X'_{ij} 分别为第 i 年第 j 项指标的原始值和标准化值, $\max X_j$ 和 $\min X_j$ 分别为第 j 项指标的最大值和最小值。

2.2.3 指标权重确定 在多指标定量综合评价中,指标权重确定具有举足轻重的地位,将直接关系到评价结果的准确性。信息熵法是一种客观赋权法,其权重值是根据指标变异程度的大小来确定,指标变异程度越大,相应权重值就越大,反之越小^[26,27]。信息熵法确定指标权重不依赖人的主观判断,客观性较强,因此被广泛应用于多指标定量综合评价中。本研究采用信息熵法^[27]计算指标权重(表1)。具体计算过程如下:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m (f_{ij} \times \ln f_{ij}) \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$\omega_i = (1 - H_i) / (n - \sum_{i=1}^n H_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

其中, H_i 为第 i 个指标的信息熵; $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^m r_{ij}$; $k = \frac{1}{\ln m}$; r_{ij} 为指标标准化值; ω_i 为指标权重; n 为子系统数; m 为第 i 个子系统下指标数。

2.2.4 子系统生态安全指数和生态安全综合指数合成 由于都市农业生态安全系统的层次性和复杂性,都市农业生态安全评价的单项指标只能从某一侧面反映都市农业的生态安全状况,只有根据相应的权重,将各单项指标标准化值逐层合成综合指数,才能反映都市农业各子系统生态安全状况和都市农业生态安全整体状况。具体采用如下加权函数法合成综合指数。

$$F = \sum_{i=1}^3 \left(\sum_{j=1}^n X'_{ij} \times \omega_{ij} \right) \quad (5)$$

式中, F 表示都市农业生态安全综合指数; X'_{ij} 为第 i 个子系统下的第 j 个单项指标的标准化值; ω_{ij} 为第 i 个子系统下的第 j 个单项指标相对应的权重; n 为第 i 个子系统所包含的指标数; $\sum_{j=1}^n X'_{ij} \omega_{ij}$ 表示第 i 个子系统生态安全指数。

2.2.5 障碍因素诊断 为提高都市农业生态安全水平,有必要对各单项指标和子系统的障碍作用大小进行评估,寻找出阻碍都市农业生态安全的主要障碍因素,以便有针对性地进行农业生态安全建设与农业生产行为调整。鉴于此,采用如下“障碍度”模型^[28]对上海都市农业生态安全进行病理性诊断。

$$O_{ij} = (1 - X'_{ij}) \times \omega_{ij} \times 100\% / \sum_{i=1}^3 \left(\sum_{j=1}^n (1 - X'_{ij}) \times \omega_{ij} \right) \quad (6)$$

$$O_i = \sum_{j=1}^n O_{ij} \quad (7)$$

式中， O_{ij} 表示单项指标对都市农业生态安全的障碍度； X'_{ij} 第 i 个子系统下的第 j 个单项指标的标准化值； w_{ij} 为第 i 个子系统下的第 j 个单项指标相对应的权重； n 为第 i 个子系统所包含的指标数； O_i 表示第 i 个子系统对都市农业生态安全的障碍度。

3 结果分析

3.1 子系统安全指数与生态安全综合指数

根据前述各评价指标标准化值、指标权重和综合指数合成模型，计算出上海都市农业生态安全各子系统指数、综合指数（表 2），并绘制动态变化图（图 1）。

表 2 上海都市农业生态安全子系统指数及综合指数（1993~2008 年）

Tab. 2 The evaluation index of urban agriculture ecological security in Shanghai

年份	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
农业资源安全指数	0.2021	0.1924	0.1943	0.2025	0.1972	0.2006	0.2223	0.2098
农业环境安全指数	0.1063	0.1518	0.1249	0.1844	0.2172	0.1337	0.1474	0.1718
农业经济社会发展指数	0.0818	0.0930	0.0872	0.0713	0.0671	0.0543	0.0684	0.0811
综合指数	0.3902	0.4371	0.4064	0.4582	0.4816	0.3886	0.4381	0.4626
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
农业资源安全指数	0.2149	0.1997	0.1922	0.1700	0.1936	0.1898	0.2043	0.2409
农业环境安全指数	0.1751	0.2099	0.2020	0.2206	0.2019	0.2277	0.2232	0.2269
农业经济社会发展指数	0.0871	0.0902	0.1039	0.1051	0.1161	0.1609	0.1648	0.1882
综合指数	0.4771	0.4998	0.4981	0.4957	0.5116	0.5783	0.5924	0.6560

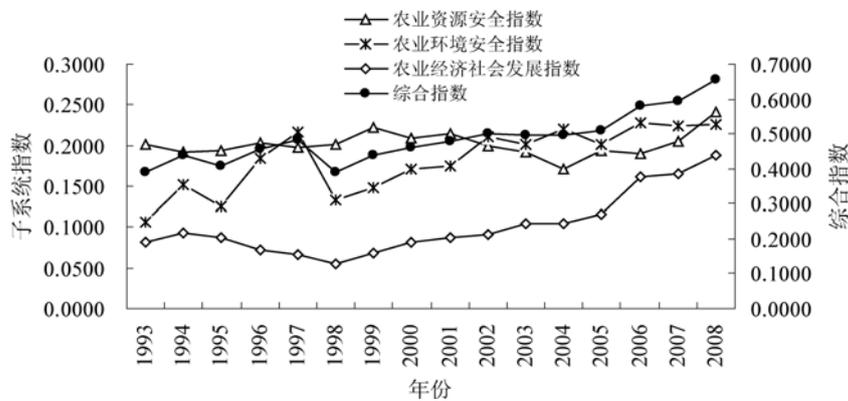


图 1 上海都市农业生态安全指数动态变化

Fig. 1 The evaluation index dynamic variation of urban agriculture ecological security in Shanghai

(1) 农业资源安全指数变化。农业资源安全指数先后经过平稳阶段（1993~1998 年）、小幅下降阶段（1999~2004 年）后，较快回升。1993~1998 年，都市农业建设初期，在农业资源安全指标中，设施农业面积、农田水利工程总投资、农业科技攻关重点项目投资的不同程度地增加基本抵消了农业科技人员拥有率急剧下降对农业资源安全的消极影响，农业资源安全指数基本维持稳定状态，均值为 0.1982。1999~2004 年，尽管设施

农业面积、农田水利工程总投资、农业科技攻关重点项目总投资持续增加,但在城市郊区化、郊区城镇化和区域现代化建设快速推进的背景下,郊区大量耕地资源被占用,农村人口人均粮食占有量锐减,加之农作物复种指数骤降,农业资源安全指数以年均 4.70% 的速度由 0.2223 小幅减少到 0.1700 (研究时段最小值)。2004 年以来,为提高城镇居民新鲜蔬菜、瓜果等基本农副产品供给水平,保障郊区农民口粮基本自给,郊区现代农业投入和农田水利基础设施建设力度进一步加大,农作物复种指数和农村人口粮食占有量也逐年得以提高,这使得农业资源安全指数在耕地资源不断减少的前提下,仍以年均 10.43% 的速度由 0.1700 较大幅度地增加到 2008 年的 0.2409 (研究时段最大值)。

(2) 农业环境安全指数变化。农业环境安全指数经历前期 (1993~1998 年) 波浪式交替增减后,基本保持稳定增长的态势。进入 20 世纪 90 年代以来,以浦东开发为契机,上海步入经济高速发展时期,较非农业产业而言,农业产业比较经济效益低下,农业受农户重视程度不高,单位农作物播种面积化肥、农药、农膜使用量相对较低,大气环境质量较好,酸雨频率低,有利于农业环境安全指数的提升,但畜禽粪便资源化利用率、农作物秸秆综合利用率不高,加上工业废水排放量大且排放达标率偏低,有碍于农业环境安全指数的增加,在以上因素的交互影响下,1993~1998 年,农业环境安全指数呈波浪式交替增减,最小值为 1993 年的 0.1063,最大值为 1997 年的 0.2172。1998 年后,随着“高能耗、高污染、低附加值”的落后产能的转移和以“三年环保行动计划”为核心的各项环保事业的滚动式、全面开展,畜牧业养殖总量的逐步调减、布局结构的逐渐优化,商品有机肥的推广施用被列为政府实事工程,农作物秸秆综合利用鼓励政策的相继出台,郊区工业废水排放总量连年减少且排放达标率不断提高,林木覆盖率经过前期攀升后维持较高水平,单位耕地面积畜禽粪便负荷不断减少、资源化利用率不断提高,农作物秸秆综合利用水平与日俱增,这些都有利于农业环境安全指数的整体提高;然而,在耕地资源短缺且锐减的背景下,郊区农业既要担负起保障农村居民粮食自给、稳定城镇居民鲜活农产品供给来源的重任,又要体现较好的经济效益,单位农作物播种面积化肥、农药、农膜使用量持续加大并保持高位运行,加上近 5 年来酸雨频率过高,减缓了农业环境安全指数增长的速度;在上述指标的正负作用影响下,此阶段农业环境安全指数以年均 6.97% 的速率由 1998 年的 0.1337 增长到 2008 年的 0.2269。

(3) 农业经济社会发展指数变化。农业经济社会发展指数经过前期 (1993~1998 年) 小幅下降后,以较大幅度持续稳步提升。农业经济社会发展指数由 1993 年的 0.0818 以年均 6.72% 的速率逐步下降到 1998 年的 0.0543 (研究时段最小值),之后,以年均 24.65% 的速度稳步上升到 2008 年的 0.1882 (研究时段最大值)。农业比较优势系数、农业规模化经营水平逐步降低和农业劳动力占比逐渐增加是前期农业经济社会发展指数下降的主要原因。1998 年后,尽管农业比较优势系数还在小幅下降,但随着政府扶持力度的不断加大,农业产业结构的调整优化,现代农业产业化水平与经济效益提高明显,农业多功能性发挥良好,单位耕地面积种植业产值、农业旅游收入、农业规模化经营水平不断得以较大幅度的提升,农业商品率经过前期增长达到较高水平,农业劳动力占比日趋减少且受教育年限逐步增加,这些都对农业经济社会发展指数的增长作出了不同程度的贡献,有助于农业经济社会发展指数的全面增长。

(4) 生态安全综合指数变化。受农业资源、环境安全指数和农业经济社会发展指数的综合影响,农业生态安全综合指数经历前期 (1993~1998 年) 交替升降后连年小幅稳

步增长。1993~1998年, 农业资源安全指数变化幅度很小, 农业生态安全综合指数在农业环境安全指数与农业经济社会发展指数变化的共同作用下交替增减, 最大值为1997年的0.4816, 最小值为1998年的0.3886; 1998年后, 虽然农业资源安全指数出现了较小幅度的先降后升过程, 但农业环境安全指数和农业经济社会发展指数不同程度的增加, 消除了前者对农业生态安全综合指数增加的负面影响, 并使之保持6.88%的年均增长速度稳定增加到2008年的0.6560。

3.2 主要障碍因素与子系统障碍度

根据评价指标标准化值和权重, 运用前述“障碍度”诊断模型, 计算出了各单项指标及各子系统对上海都市农业生态安全的障碍作用大小, 并绘制了主要障碍因素和各子系统障碍度动态变化图(图2、图3)。

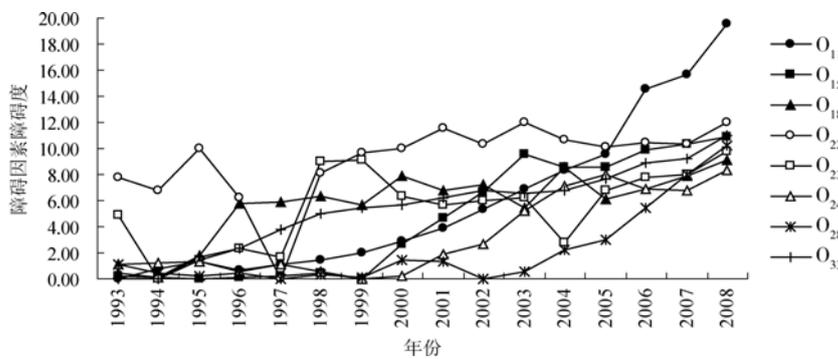


图2 上海都市农业生态安全主要障碍因素障碍度动态变化

Fig. 2 The obstacle degree dynamic variation of main obstacles of urban agriculture ecological security in Shanghai

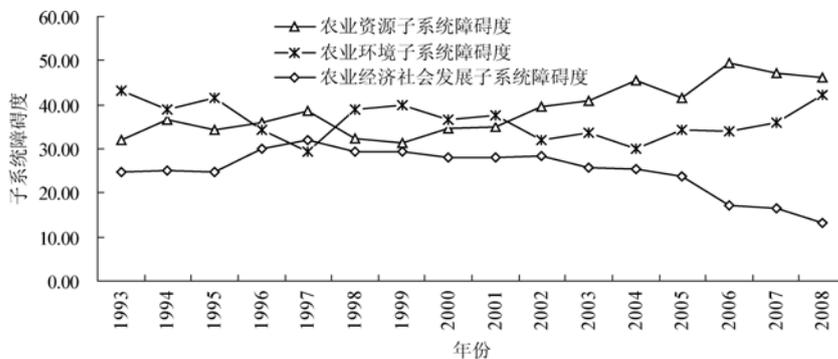


图3 上海都市农业子系统障碍度动态变化

Fig. 3 The dynamic variation of subsystem obstacle degree of urban agriculture ecological security in Shanghai

(1) 主要障碍因素。郊区人均耕地面积、农村人口人均粮食占有量、农业科技人员拥有率三项指标障碍度分别由1993年的0.00%、0.17%、0.41%逐步攀升到2008年的19.56%、10.85%、9.06%, 成为农业资源安全子系统的主要障碍因素; 单位农作物播种

面积化肥使用强度、酸雨频率、单位农作物播种面积农药使用强度、单位农作物播种面积农膜使用强度等 4 项指标障碍度分别由 1993 年的 7.81%、1.08%、4.86%、1.15% 波动式增加到 2008 年的 12.05%、10.18%、7.79%、8.35%，成为农业环境安全子系统的主要障碍因素；农业比较优势系数障碍度由 1993 年的 0.00% 持续上升到 2008 年的 11.02%，成为经济社会发展子系统的主要障碍因素。

(2) 子系统障碍度。1993~2008 年，农业资源安全子系统障碍度上升趋势明显，障碍度最小值为 1999 年的 31.25%，最大值为 2006 年的 49.42%，2008 年障碍度为 45.99%，对上海都市农业生态安全阻碍作用大；农业环境安全子系统障碍度整体上呈先降（1993~2004 年）后升的发展态势，障碍度最小值为 1997 年的 29.40%，最大值为 1993 年的 43.24%，2008 年障碍度为 42.12%，对上海都市农业安全的阻碍作用较大；农业经济社会发展子系统障碍度经过前期（1993~1997 年）小幅增加后持续下降，最大值为 1997 年的 31.82%，最小值为 2008 年的 13.06%，对上海都市农业安全的阻碍作用较小。

3.3 都市农业生态安全存在的主要问题

根据以上生态安全评价结果与障碍性诊断结果分析发现，目前上海都市农业生态安全存在以下主要问题：

(1) 经济社会快速发展导致的农地资源快速减少，农村人口人均粮食占有量偏低，农业科技人员拥有率不高，农业科技投入不足，严重影响了上海都市农业资源子系统生态安全水平的提高。

(2) 在农业发展空间日趋缩减的背景下，为提高农地产出效率，化肥、农药的超量施用，农膜大量使用且回收率低，造成农业生产自身污染较为严重，同时，大气环境质量较差，酸雨频率高，不利于农业生产环境安全。

(3) 农业与非农产业间的经济效益差距的逐步拉大，致使农户农业生产积极性不高，有碍于农业经济社会的全面发展。

4 结论与讨论

(1) 本研究在探索性构建上海都市农业生态安全评价指标体系的基础上，尝试运用相关数学模型与方法对上海都市农业生态安全进行时间序列定量综合评价，并对当前都市农业生态安全进行病理学诊断。结果显示，受农业资源安全指数、农业环境安全指数和农业经济社会发展指数的交替综合影响，上海都市农业生态安全综合指数经历前期（1993~1998 年）交替增减后，以年均 6.88% 的增长幅度持续稳步攀升；郊区人均耕地面积、单位农作物播种面积化肥使用强度、农业比较优势系数、农村人口人均粮食占有量、酸雨频率 5 项指标对都市农业生态安全的障碍度均超过了 10.00%，是当前影响上海都市生态安全的主要障碍因素，都市农业生态安全的主要威胁源自于农业资源和农业环境子系统。

(2) 强化以耕地为主的农业自然资源保护，提高区域基本农副产品自给水平，保证合理的农业科技人员拥有率并优化其结构、提升其素质，加大现代农业科技投入力度，对促使农业资源子系统安全水平的进一步提高尤为重要；加大环境整治力度与治理范围，减量化使用化肥、农药，及时回收废弃农用地膜，防治农业生产自身污染，进一步改善大气环境质量，是农业环境子系统安全能力持续增强所必须解决的重点问题；采取积极措施，努力提升现代农业生产经营绩效，缩小农业与非农产业间经济效益差距，将有利于农业经

济社会的全面发展。

(3) 建立完善的指标体系是客观准确地进行生态安全评价的基础^[29]，但由于指标体系的构建涉及众多的学科，同时，都市农业生态安全评价在国内尚属崭新的课题，尽管本研究探索性地建立了上海都市农业生态安全评价指标体系，但拘于专业、可借鉴资料和指标数据可获取性的局限，都市农业生态安全评价指标体系仍需进一步的充实、完善。

参考文献：

- [1] 俞菊生. 中国都市农业——国际化大都市上海的实证研究. 北京：中国农业科学技术出版社，2002.
- [2] 吴方卫. 都市农业发展报告(2008)——现代农业进程中的都市农业. 上海：上海财经大学出版社，2008.
- [3] 李月臣. 中国北方 13 省市区生态安全动态变化分析. 地理研究，2008，27(5)：1150~1160.
- [4] Costanza R, Norton B G, Haskell B D. Ecosystem Health: New Goal for Environmental Management. Washington D C: Island Press, 1992.
- [5] Andy P D, Bradshaw A D, Baker A J M. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. Science, 1997, 277(25): 515~524.
- [6] 凌红波, 徐海量, 史薇, 等. 新疆玛纳斯河流域绿洲生态安全评价. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2219~2224.
- [7] 文化, 王爱玲, 陈俊红. 聚焦都市农业——农业在首都经济发展中的地位与作用. 北京：中国财经出版社，2005.
- [8] 方志权. 城市化进程与都市农业发展. 上海：上海财经大学出版，2007.
- [9] 万忠, 杨谨, 曹阳, 等. 深圳都市农业发展的思路、模式与保障. 广东行政学院学报, 2007, 19(6): 73~75.
- [10] 张雅光. 天津沿海都市型现代农业特征与功能开发研究. 中国农业资源与区划, 2009, 30(3): 6~10.
- [11] 周建华. 基于城市群生成视角的都市农业发展研究——以长株潭为例. 经济地理, 2006, 26(2): 296~299.
- [12] 姚成胜, 朱鹤健. 区域农业可持续发展的生态安全评价——以福建省为例. 自然资源学报, 2007, 22(3): 380~388.
- [13] 任志远, 黄青, 李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析. 地理学报, 2005, 60(4): 597~606.
- [14] 王尚义. 历史时期流域生态安全探究——以汾河上游为例. 地理研究, 2008, 27(3): 556~564.
- [15] 吉力力·阿不都外力, 木巴热克·阿尤普. 基于生态足迹的中亚区域生态安全评价. 地理研究, 2008, 27(6): 1308~1320.
- [16] 曹明兰, 李亚东. 基于能值的唐山市生态安全评价. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2214~2218.
- [17] 李佩武, 李贵才, 张金花, 等. 城市生态安全的多种评价模型及应用. 地理研究, 2009, 28(2): 293~302.
- [18] Kang M Y, Liu S, Huang X X, *et al.* Assessment of an ecological security model in Zhalule Banner, Inner Mongolia. Mountain Research and Development, 2005, 25(1): 60~67.
- [19] 吴国庆. 区域农业可持续发展的生态安全及其评价研究. 自然资源学报, 2001, 16(3): 227~233.
- [20] 王芬, 吴建军, 卢剑波, 等. 区域农业生态系统可持续发展指标体系及其应用. 自然资源学报, 2003, 18(4): 454~460.
- [21] 许联芳, 王克林, 刘新平, 等. 洞庭湖区农业生态安全评价. 水土保持学报, 2006, 20(2): 183~187.
- [22] 苏艳娜, 柴春岭, 杨亚梅, 等. 常熟市农业生态环境质量的可变模糊评价. 农业工程学报, 2007, 23(11): 245~248.
- [23] 王继军. 黄土丘陵区流域农业生态经济安全问题初探. 水土保持学报, 2007, 21(2): 179~182.
- [24] 罗平. 武汉都市农业生态安全评价. 中国科技论坛, 2010, (4): 16~131.
- [25] 李谨, 李树德. 天津都市型生态农业可持续发展综合评价研究. 农业技术经济, 2003, (5): 57~60.
- [26] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1923~1927.
- [27] 贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 熵权法在草原生态安全评价研究中的应用——以甘肃牧区为例. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 17~21.
- [28] 彭补拙, 安旭东, 陈浮, 等. 长江三角洲土地资源可持续利用研究. 自然资源学报, 2001, 16(4): 305~312.
- [29] 刘世良, 郭旭东, 连纲, 等. 黄土高原典型脆弱区生态安全多尺度评价. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1554~1559.

Quantitative and comprehensive evaluation of ecological security of urban agriculture in Shanghai

DENG Chu-xiong¹, XIE Bing-geng¹, WU Yong-xing², LI Xiao-qing¹, ZHU Dong-guo¹

(1. College of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2. College of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on related mathematical methods and econometric models, the authors build a set of ecological security evaluation index system of urban agriculture to make a quantitative and comprehensive appraisal of ecological security of urban agriculture in Shanghai. The results are obtained as follows: (1) From 1993 to 1998, the security index of agriculture resources was in a stable state, and the security index of agriculture environment fluctuated, and the agricultural index of social and economic development continued to decline slightly, and the comprehensive index of agricultural ecological security increased or decreased in turn. (2) From 1999 to 2008, the security index of agricultural resources grew at an annual rate of 10.43% after a small decrease (from 1999 to 2004), and the security index of agricultural environment, the agricultural index of social and economic development and the comprehensive index of agricultural ecological security increased at an annual rate of 6.97%, 24.65% and 6.88%, respectively. (3) The indexes of cultivated land per capita in suburban district, fertilizer using intensity per sown area of farm crops, ratio of comparative advantage of agriculture, grain per capita in rural areas and fall frequency of acid rain became major limiting factors to the ecological security of urban agriculture, whose obstacle degree was below 10.00% in 2008. Threats were mainly from the subsystem of agricultural resources and environment, and the subsystem of agricultural social and economic development has less negative influence on ecological security of urban agriculture year after year.

Key words: ecological security; quantitative and comprehensive evaluation; urban agriculture; Shanghai city