

农业生态效率评价 ——以盆栽水稻实验为例

吴小庆¹, 徐阳春², 陆根法¹

(1. 污染控制与资源化研究国家重点实验室南京大学环境学院, 江苏 南京 210093;

2. 南京农业大学资源与环境学院 江苏 南京 210095)

摘要: 农业面源污染已成为我国主要环境污染源, 但目前缺乏一套针对农业生产的综合评价体系, 作为对农业面源污染评估和监督的依据。根据生态效率理论, 结合农业生产的特点, 建立了综合考虑经济效益、资源物质消耗和环境影响的农业生态效率评价指标体系。以不同氮处理下(0.05、0.15、0.25 g N kg⁻¹)不同水稻品种(锡稻 11 和武梗 4)的盆栽实验为例, 以氨挥发、肥料使用量 and 经济产量等数据为基础, 运用基于层次分析法的 TOPSIS 法对 6 个评价对象的农业生态效率进行了评价和排序, 分析各对象在经济效益、资源物质消耗和环境影响方面的差异与特点, 指出施氮量和作物品种都对生态效率具有明显的影响。该评价体系的建立, 将为我国农业生产模式从片面追求产量向经济、资源、环境协调可持续发展起到一定的推动作用。

关键词: 农业生态效率; 评价指标体系; TOPSIS 法; 层次分析法; 农业面源污染

文章编号: 1000-0933(2009)05-2481-08 中图分类号: S181 文献标识码: A

The evaluation of agricultural eco-efficiency: a case of rice pot-experiment

WU Xiao-Qing¹, XU Yang-Chun², LU Gen-Fa¹

1 State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2 College of Resources & Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2481 ~ 2488.

Abstract: Agricultural non-point source pollution has been a main pollution source in China. So an indicator system for agriculture is needed, which can be used in assessing and supervising the agricultural non-point source pollution. Based on the theory of eco-efficiency and the characteristic of agricultural production, this research designed an evaluation indicator system for Agricultural Eco-efficiency which integrates different factors on economic profit, resource and material consumption and environmental impacts. A rice pot-experiment was carried out. In the experiment, two rice genotypes (Xidao11 and Wuyujin4) of different nitrogen use efficiency were supplied with three N levels (0.05、0.15、0.25 g N kg⁻¹). Ammonia volatilization, fertilizer dose and rice economic yield were analyzed to evaluate and rank the Agricultural Eco-efficiency of the six evaluation indicators by using TOPSIS method which is based on AHP. The result showed that the six evaluation objects varied in economic benefit, resource and material consumption and environmental impacts, and N levels and plant genotypes had a major impact on the Agricultural Eco-efficiency. The evaluation indicator system will help China's agricultural production mode to change from pursuing unilateral output to a comprehensive, balanced and sustainable one.

Key Words: agricultural eco-efficiency; evaluation indicator system; TOPSIS; AHP; agricultural non-point source pollution

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30370837); 国家科技部“863”资助项目(2002AA6012-7)

收稿日期: 2008-01-09; 修订日期: 2008-07-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lugf@nju.edu.cn

随着世界资源和环境压力日益严峻,可持续发展已成为世界各国未来发展的方向与目标。生态效率(eco-efficiency)则成为在不同层次上实现可持续目标的具体切入点。1992年里约热内卢联合国环境与发展大会上,“生态效率(eco-efficiency)”这一单词在众多候选单词中被与会专家选出,它是“可持续发展(sustainable development)”概念在企业层次的表达形式,对于企业界而言,生态效率是指在生产过程中,资源利用、投资、科技水平等朝着经济附加值最大化以及资源能源消耗和环境污染最小化这一方向前进^[1]。生态效率强调经济效率和环境效益的统一,将宏观尺度上的可持续发展目标具体融入到微观(企业)和中观(产业和区域)的发展规划和管理中^[2]。在国际上,生态效率已成为企业进行财务、生产等管理中的重要参考指标,为企业实现环境效益和经济效益的“双赢”提供了重要理论依据。

我国传统的粗放式经济增长方式所带来的资源能源大量消耗和环境急剧恶化已成为我国实现可持续发展、建设和谐社会的重大障碍。生态效率概念的发展与应用,将有效地促进经济增长方式的转变,缓解经济发展与环境保护的矛盾,实现经济的良性发展。目前国内生态效率研究已经有了一定的基础,为企业节能降耗、提高经济效益起到了重要推动作用。但是现有的生态效率研究和应用多集中于工业方面,如化工、钢铁等,而对同样存在较大潜在环境压力的农业生产则少有涉及。而根据相关研究,农业生产已成为我国重要的环境污染源,农业污染负荷占全国总污染负荷(指工业污染、生活污染及农业污染的总和)的1/3至1/2^[3]。过量化肥、农药和农膜的施用是农业生产对环境造成污染的主要原因,可造成土壤污染、结构破坏;水体氮磷过量导致富营养化;大量氮氧化物、甲烷等有害气体排入大气。针对此情况,本文将根据生态效率理论,根据我国农业生产的特点,提出农业生态效率的概念,全面分析农业(种植业)生产的环境影响和资源物质消耗的特征,构建针对农业生产的生态效率评价指标体系,旨在控制农业生产的环境污染,提倡农业生产的经济效益、资源利用、环境效益的全面协调可持续发展。并运用农业生态效率评价指标体系,以盆栽水稻试验为例,对不同施氮量下不同水稻品种的农业生态效率水平进行评价。

1 研究理论综述

1.1 生态效率定义

目前公认的生态效率定义是由世界可持续发展工商理事会(WBCSD)提出的:生态效率要通过提供能满足人类需要和提高生活质量的竞争性定价商品与服务,同时使整个寿命周期的生态影响与资源强度逐渐降低到一个至少与地球的估计承载能力一致的水平来实现^[4]。这一定义从产业层次说明了生态效率的内涵。联合国贸易与发展会议 United Nations Conference on Trade And Development (UNCTAD)也提出了类似定义:增加(至少不减少)股东价值的同时,减少对环境的破坏^[5]。经济发展合作组织 Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)对生态效率更为简明更为广义:生态效率即生态资源满足人类需求的效率^[6]。此定义将生态效率的概念延伸到了社会层次。

然而,在实际应用中,生态效率通常仅考虑经济和环境的作用与影响,而不包括社会发展因素。Brattebo认为应该增加社会因素才能全面合理地衡量社会、经济、环境的可持续发展^[7]。芬兰国家环保局在对区域的生态效率进行评价时,加入了8类社会发展指标^[8]。然而应该看到,与经济指标与环境指标相比,社会发展指标的量化具有较大主观性。而生态效率在更多的时候是应用于行业和企业内部的评价与管理,对社会发展的影响程度难以确定。因此,生态效率评价所研究对象应以能定量化的经济发展、资源消耗和环境污染排放等指标为主,只是在必要时参考社会发展的指标。本文在建立农业生态效率评价指标时为保证评价的准确性,也将忽略难以量化的社会发展指标。

1.2 生态效率的评价

生态效率译自英文的eco-efficiency,其中eco既是生态学ecology的词根,又是经济学economy的词根,因此也被写作[eco]²-efficiency^[2]。两者组合则意味着应该兼顾生态和经济两个方面的效率,促进企业或区域的可持续发展。虽然生态效率的定义不尽相同,但是都主要涉及到经济价值和资源环境影响两个方面。因此在具体计算中,大都以经济价值与资源环境影响比值的方式出现,例如单位资源环境影响的生产价值,单位资

源环境改善的成本,单位生产价值的环境影响,单位成本的环境改善等^[9]。目前普遍接受的生态效率计算公式由 WBCSD^[10]提出:

$$\text{生态效率} = \frac{\text{产品经济价值}}{\text{产品的资源消耗和环境影响}} \quad (1)$$

由于在实际应用中,评价对象如某一区域、行业或企业的资源消耗和环境影响涵盖了多方面的因素,很难以简单的加和方式将资源消耗和环境影响准确的表达。因此,研究者往往通过构建评价指标体系进行生态效率评价,其优点在于涵盖范围广,适用于同行业多对象之间的比较分析,如韩国电子元件生产企业生态效率的评价^[11],巴西公路运输行业生态效率评价^[12],加拿大食品和饮料行业生态效率评价^[13]等。

2 理论框架与方法

2.1 农业生态效率定义

为确保研究的准确性,本文中所研究的农业范畴,将限定于狭义的农业,即种植业。根据种植业的生产的特点,结合生态效率的各种定义,本文将农业生态效率定义为:在保证农产品数量和质量的前提下,尽量减少环境污染和资源消耗,即提倡一种以“适量、优质、减污、节源”的理念方针的现代生态农业发展模式。

2.2 农业生态效率评价指标体系

根据农业生态效率的定义和农业生产的特点,将农业生态效率指标分为三大类子系统:经济效益子系统、资源物质消耗子系统、环境影响子系统。

2.2.1 经济效益指标

经济效益指标包括收入指标和成本指标两部分。农产品的经济收入主要来自于经济产量,而非总产量。在生态效率的应用中,不考虑价格变动因素,同时认为所有农产品均可出售,转化为经济效益,从而可将农产品的经济产量取代其出售收入作为经济效益的评价指标,对于不同农作物而言,经济效益指标的评价对象也有所不同。对于稻麦等粮食作物而言,主要评价其籽实产量,对水果和蔬菜而言,主要评价其可食用部分产量。在实际应用中,根据农业产量的传统统计习惯,一般以单位面积经济产量作为农业生态效率计算时的指标。

成本指标主要来自于农业生产中的农用品使用投入,包括购买化肥、农药、种子、地膜等费用,机械、土地等租赁费用、人力费以及其它必要支出成本。

2.2.2 资源物质消耗指标

根据种植业的特点,将资源物质消耗指标分为两大类:物耗指标和水耗指标。物耗主要是指农业生产造成的水土流失量和农作物生长过程中化肥、农药和地膜等物质的施用量。水耗是指农作物生长过程中为维持其正常生长所使用的水量(包括蒸发、径流等消耗)。在计算中,同样以每亩的物耗和水耗的数据作为计算指标,这样资源物质消耗指标包括:单位面积化肥施用量、化肥利用率、单位面积农药施用量、农药利用率、用水量。

2.2.3 环境影响指标

农业生产相比工业生产的特殊性在于农业生产具有环境正外部性,即农作物在生长过程中对环境不仅会有负面的影响,如化肥过量施用引起的氮氧化物、氨等有毒有害气体的排放、过量氮磷进入水体造成富营养化、农药过量施用引起的土壤污染等,还存在着正面环境影响,包括通过光合作用同化二氧化碳生产氧气、降低噪音、吸收有害气体等。

因此,对于农业生产而言,生态效率计算公式可表示为:

$$\text{农业生态效率} = \frac{\text{农产品经济效益}}{\text{农产品资源消耗} + \text{对环境的负面影响} - \text{对环境的正面影响}} \quad (2)$$

2.2.4 农业生态效率评价指标体系

结合以上分析,建立可应用于农业生态效率评价的指标体系。该指标体系包括系统层、状态层、指标层3个层次。系统层:将农业生态效率评价指标体系根据农业(种植业)的具体情况,解析为互相联系的三个子系

统评价指标,即经济效益指标体系、资源物质消耗指标体系、环境影响指标体系。状态层:表示评价三个子系统不同状态特征的指标。指标层:用来表述状态层的具体变量,对其状态的数量、强度等进行度量(表1)。

表1 农业生态效率评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system for agricultural eco-efficiency

系统层 System layer	特征层 Characteristic layer	指标层 Indicators layer
经济效益评价指标体系 Economic benefit Indicator system	经济收入 Income	经济产量 Economic yield
	经济成本 Cost	化肥、种子、农药、地膜等成本 The cost for fertilizers, seeds, pesticides, plastic films and so on
资源物质消耗评价指标体系 Resource and material consumption indicator system	物质消耗 Material consumption	单位面积化肥、农药、地膜使用量 Applied amount per unit area of fertilizer, pesticide and plastic film
	水耗 Water Consumption	单位面积灌溉量 Irrigation of per unit area
环境影响评价指标体系 Environmental effect indicator system	正外部性效应 Positive external effect	光合效率、噪声吸收率、有毒气体吸收率等 Photosynthetic efficiency, Noise absorption rate, Toxic gas absorption rate
	负外部性效应 Negative external effect	有毒气体挥发、有害物质(化肥、农药等)流入水体量、土壤中地膜、农药残留量。Amount of toxic gas volatilization, Noxious material (fertilizer, pesticide) flowed into water, plastic film and pesticide residue in soil

在农业环境管理实践工作中,根据宏观、中观、微观等各层次农业生产的具体特点,可运用此指标体系,选取适宜的指标,对各层次农业生产的生态效率进行准确合理的评价,并识别相对不足的子系统,从而提出有针对性的改进措施。

3 应用实例

3.1 实例概况

实例以盆栽水稻试验数据为基础。试验于2005年5~11月在南京农业大学网室内进行,供试土壤为中等肥力的马肝土,采自江苏省镇江市农业科学研究所试验场。供试作物为2004年试验中筛选获得的氮高效的水稻品种武梗4号和氮低效的水稻品种锡稻11号。2005年6月25日将4叶1心幼苗,分别移栽于装有3 kg土的塑料桶中,每桶种植3穴,每穴3株,每个氮水平重复3次,设3个施氮水平, N_0 、 N_1 、 N_2 分别代表施氮量为0.05、0.15、0.25 g N kg⁻¹。各处理磷、钾肥用量相同,分别为0.07 g P kg⁻¹、0.13 g K kg⁻¹,作基肥一次施用。常规水分管理。氮肥按照常规的基肥:分蘖肥:穗肥为4:3:3的比例施用。自水稻孕穗直到收获每天测定地上部的氮挥发量^[14]。水稻收获后测定各处理的经济产量。经济产量、施氮量、氮挥发量的基础数据详见表2。从中可发现,对同一品种而言,氮挥发量和经济产量均随施氮水平提高而提高,说明经济产量提高的同时,对环境的影响也同步增长,这就有必要研究在何种氮水平下,才能达到经济效益与环境影响及资源物质消耗的最优化。

3.2 指标选择

经济效益数据根据肥料、农药、灌溉成本价格和水稻价格进行效益核算,得到各处理下的经济效益指标数据。由于本试验肥料、农药使用量较少,且灌溉成本较低,因此经济成本基本可忽略,而直接取水稻经济产量作为经济效益指标数据,这里所用氮肥为尿素,时价约1500元/t,则 N_1 、 N_2 、 N_3 3处理分别需 1.5×10^{-4} 元、 4.5×10^{-4} 元、 7.5×10^{-4} 元,磷肥和钾肥成本约 9.0×10^{-4} 元;所用农药为防治卷叶螟的溴氰菊酯乳油,时价0.09元/ml,稀释3000倍使用,使用7d,用量根据地上部生物量不同有所差异,成本约为 $2.1 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^{-3}$ 元;灌溉水价格以0.05元/t计,根据不同品种不同处理的生物量不同,其成本为 $5.5 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 元、水稻价格以3.5元/kg计,则收入为 $6.3 \times 10^{-2} \sim 1.7 \times 10^{-1}$ 元;由此可计算得到各处理的经济成本占经济收入比重为5.1%~5.8%,成本比重较小且各处理间差异不大,故可将经济成本忽略,将水稻经济产量作为经济效益指标数据。由于盆栽试验不存在大田生产时养分随地表径流汇入水体的污染现象,因此,水稻生育

后期的氨挥发现象可以认为是水稻生长中对环境产生影响的主要来源^[15];试验中对各处理水分、P、K 等要素的投入均控制为等量,因此各处理间资源物质消耗方面的差异主要体现在氮肥施用量方面。由此选取氮肥施用量、氨挥发量、分别作为资源物质消耗、环境影响、经济效益三个子系统的评价指标,对各处理下 2 品种的农业生态效率水平进行评价。

表 2 试验基础数据

Table 2 The basic data of the experiment

品种 Genotype	处理 Treatment	经济产量(g) Economic yield	氮肥施用量(g) N fertilizer dose	氨挥发(mg) Ammonia volatilization
锡稻 11Xidao 11	N1	18.08	0.15	5.73
	N2	30.25	0.45	7.84
	N3	36.73	0.75	11.01
武粳 4Wujin 4	N1	30.18	0.15	7.49
	N2	41.06	0.45	10.2
	N3	47.44	0.75	14.35

3.3 评价方法

基于指标体系的评价方法可分为主观定权和客观定权两大类,前者可采用 AHP 法,后者可采用熵权法、数据包络分析法等。由于本文意图在评价中突出农业面源污染的重要性,故将采用基于 AHP 法定权的 TOPSIS 法进行评价。TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) 法又名理想解法,属于距离综合评价方法。距离综合评价法是一种以空间统计学为基础的分析方法,它通过将统计数据转化为多维坐标系中的点,在空间中确定出参考点,即最优样本点和最劣样本点,然后计算各样本点到参考点的距离进行分析评价^[16]。TOPSIS 法的基本原理借助于多目标决策问题的理想解和负理想解来进行排序,以确定各方案的优劣。理想解是由各指标最优值构成的理想方案,负理想解则正好相反。将各方案与理想解和负理想解作比较,现有的 N 个方案中一般并没有这种理想解和负理想解,但通过设定理想解和负理想解,若某方案最接近理想点,同时又远离负理想解,则此方案为方案集中的最优方案^[17]。

3.3.1 向量归一化

设有 n 个评价对象、 m 个评价指标,对原始数据进行规范化处理。具体而言,对高优(越大越好)、低优(越小越好)指标按照式(1)计算后,分别按列进行归一化变换,使数值均在 0 和 1 之间,消除量纲不同和绝对值差异的影响,构建矩阵 $X = (X_{ij})_{6 \times 3}$ (表 3)。

表 3 评价指标规范化矩阵

Table 3 Standardized matrix of evaluation indicators

系统层 System Layer		经济效益 Economic benefit	资源物质消耗 Resource and material consumption	环境影响 Environmental effect
指标层 Indicators Layer		经济效益 Economic benefit	氮肥施用量 N fertilizer dose	氨挥发 Ammonia volatilization
锡稻 11Xidao 11	N1	0.209	0.659	0.591
	N2	0.349	0.220	0.432
	N3	0.424	0.132	0.307
武粳 4Wujin 4	N1	0.348	0.659	0.452
	N2	0.474	0.220	0.332
	N3	0.547	0.132	0.236

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \text{ 或 } Z_{ij} = \frac{1/X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (1/X_{ij}^2)}} \quad (1)$$

3.3.2 加权矩阵构建

在集成专家意见的基础上,对经济效益、资源物质消耗、环境影响 3 个子系统的影响权重两两比较,得到比较矩阵(表 4),先求出两两比较矩阵每一列的总和,把两两比较的每一元素除以其相应列的总和,所得商所组成的新的矩阵称之为标准两两比较矩阵,再计算标准两两比较矩阵的每一行的平均值。由此得到 3 个子系统在农业生态效率评价体系的相对重要程度,即标准的特征向量(0.429,0.142,0.429) T 。经对两两比较矩阵的一致性检验,发现两两比较矩阵满足一致性要求,其相应求得的特征向量为有效。

表 4 评价指标比较矩阵
Table 4 Compare matrix of evaluation indicators

项目 Item	资源物质消耗 Resource and material consumption	环境影响 Environmental effect	经济效益 Economic benefit
资源物质消耗 Resource and material consumption	1	1/3	1/3
环境影响 Environmental effect	3	1	1
经济效益 Economic benefit	3	1	1

由规范化评价矩阵 $Z = (Z_{ij})_{6 \times 3}$ 和各指标权重 W_j 可构造加权矩阵 $Y = (Y_{ij})_{6 \times 3}$, 其中 $Y_{ij} = W_j \times Z_{ij}$ (表 5)。

表 5 评价指标加权矩阵
Table 5 Weight matrix of evaluation indicators

系统层 System Layer		经济效益 Economic benefit	资源物质消耗 Resource and material consumption	环境影响 Environmental effect
指标层 Indicators Layer		经济效益 Economic benefit	氮肥施用量 N fertilizer dose	氨挥发 Ammonia volatilization
锡稻 11Xidao 11	N1	0.089	0.094	0.253
	N2	0.150	0.031	0.185
	N3	0.182	0.019	0.132
武粳 4Wujin 4	N1	0.149	0.094	0.194
	N2	0.203	0.031	0.142
	N3	0.235	0.019	0.101

3.3.3 距离测度

在加权矩阵 $Y = (Y_{ij})_{6 \times 3}$ 中,其各列最大、最小值构成的最优、最劣向量分别记为: $D^+ = (Y_{\max 1}, Y_{\max 2}, \dots, Y_{\max m})$, $D^- = (Y_{\min 1}, Y_{\min 2}, \dots, Y_{\min m})$ 。第 i 个评价对象与最优、最劣方案的距离分别为:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Y_{\max j} - Y_{ij})^2} \text{ 和 } D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Y_{\min j} - Y_{ij})^2} \quad (2)$$

3.3.4 综合评价

计算评价对象与最劣方案的接近程度 C_i (值越大综合效益越好) 为 $C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-)$ 。依据相对贴近度 C_i 的大小,可以对评价对象进行排序,决定其优劣(表 6)。

3.4 结果分析与讨论

根据评价结果可发现,就同一品种而言,农业生态效率随施氮量下降而提高,即在 3 种施氮量中,最低的 0.05g N kg⁻¹ 处理下,2 品种水稻均达有最高生态效率水平,说明 0.05g N kg⁻¹ 施氮水平相对其它 2 施氮水平更能满足经济、资源、环境的协调发展需求,尽管其经济产量相对较低,但考虑资源与环境要素后,其综合效率高于其它 2 施氮水平。当然,具体生产实践中,适宜的施氮水平还需根据土壤养分和作物品种进行适时调整。在同一施氮水平下,氮低效品种锡稻 11 生态效率均低于氮高效品种武粳 4,甚至其中氮处理下的效率已低于武粳 4 的高氮处理,说明农业生态效率不仅受施氮量影响,而且与品种的选择也有很大关系,品种氮素利用

率与农业生态效率具有一定正相关性。因此,在生产实践中,培育筛选品种不仅要考虑各品种的经济产量,还要考虑其对养分利用效率及对环境的影响。

表 6 综合评价结果
Table 6 Results of synthesized evaluation

评价样本 Evaluation Sample		D^+	D^-	C_i	评价结果 Evaluation results
锡稻 11Xidao 11	N1	0.021	0.029	0.577	2
	N2	0.016	0.011	0.407	5
	N3	0.023	0.009	0.290	6
武粳 4Wujin 4	N1	0.011	0.018	0.621	1
	N2	0.017	0.015	0.462	3
	N3	0.029	0.021	0.423	4

在生态效率的具体评价研究中,对不同子系统的指标选择和权重确定可根据重视与需求程度进行有偏好性的调整,从而使评价效果更切合实际,满足不同层面需求。以大田水稻生产为例,其环境子系统的主要指标就应包括随地表径流损失的化肥农药量、农药残留量、有害气体排放量等,且由于前两项指标环境影响更大,在定权重时,也应相应赋予更高权重。又如在干旱且产量较低的地区,经济产量和水耗量则应该在农业生态效率评价中占据较高的权重。

随着我国农业面源污染形势的加剧,开展农业生态效率评价的研究具有重要的现实意义。本文建立的农业生态效率指标体系能够为农业生态效率评价提供有一定价值的参考。目前在此方面研究的困难在于定量测定农业生产中资源物质损失量 and 环境污染物的排放量的相关研究较少。即使有,也是针对某一特定方面的测定,如温室气体排放量、农药残留量、化肥损失量等。本文中所用实例来自水稻盆栽实验,因此,全面性的农业环境污染定量研究将是我国农业生态效率研究和农业面源污染控制领域的重要课题。

4 结论

随着农业面源污染形势的不断加剧,有需要建立一套科学合理的农业生态效率评价指标体系,对以往被忽视的农业生产的环境影响和资源物质消耗问题进行量化分析,促进农业可持续发展。本文运用生态效率理论,根据农业生产的特点,选取合理指标,建立了包括经济效益、资源物质消耗、环境影响三方面的农业生态效率指标评价体系。本文采用基于 AHP 法的 TOPSIS 法对不同氮处理下不同水稻品种的生态效率进行了评价,说明了施氮量和品种选择对农业生态效率的影响,方法简明有效,且可根据需求调整权重。

建立农业生态效率指标评价体系、进行农业生态效率评价能够为农业生产规划布局提供理论依据,促进农业产业结构优化,有利于改变传统片面追求产量的农业生产方式,推动我国农业向“适量、优质、减污、节源”的农业可持续发展模式方向发展。

References:

[1] Fussler C, James P. Driving Eco Innovation. A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability, Pitman, London, 1996. 132.

[2] Lü B and Yang J X. Review of methodology and application of eco-efficiency. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3898—3906.

[3] Liu G P, Zhou Y C, Fang Y, et al. The actuality of agricultural pollution in China and its reply advice. Studies in International Technology and Economy, 2006, 9(4): 1—5.

[4] Stigson B. Eco-efficiency: Creating more value with less impact. WBCSD, 2000. 5—36.

[5] Organisation for Economic Co-operation and Development. Eco-efficiency. OECD, 1998. 7—11.

[6] United Nations Conference on Trade and Development. Integrating environmental and financial performance at the enterprise level: a methodology for standardizing eco-efficiency indicators. United Nations Publication, 2003. 29—30.

[7] Helge B. Toward a methods framework for eco-efficiency analysis? Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 9—11.

[8] Melanen M, Seppälä J, Myllymaa T, et al. Measuring regional eco-efficiency: case Kymenlaakso. Helsinki: Edita Publishing Ltd, 2004. 23—39

- [9] Huppes G, Ishikawa M. Eco-efficiency and its terminology. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9 (4) : 43 — 46.
- [10] World Business Council for Sustainable Development. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance. WBCSD, 2000. 2 — 30.
- [11] Sangwon S, Kun M L, Sangsun H. Eco-efficiency for pollution prevention in small to Medium-Sized enterprises; a case from South Korea. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9 (4) : 223 — 240.
- [12] Marcio D' A, Suzana K R. Eco-efficiency management program (EEMP) a model for road fleet operatio. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2004, 9 (6) : 497 — 511.
- [13] Maxime D, Marcotte M, Arcand Y. Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14 (627) : 636 — 648.
- [14] Wu X Q, Xu Y C, Shen Q R, *et al.* Ammonia volatilization from shoots of different rice genotypes with different nitrogen use efficiency after flowering. *Chinese Journal of Rice Science*, 2006, 20 (4) : 429 — 433.
- [15] Schjoerring J K, Husted S, Mack G, *et al.* Physiological regulation of plant — atmosphere ammonia exchange. *Plant & Soil*, 2000, 221 : 95 — 101.
- [16] Du G, Yue S T. An optimization model with entropy coefficients of investment decision in real estate. *Application of statistics and management*, 1999, 18 (1) : 45 — 49.
- [17] Zhao J, Wang T, Niu D X. Improved entropy TOPSIS of knight service evaluation in electric power marketing. *Journal of North China Electric Power University*, 2004, 31 (3) : 68 — 70.

参考文献:

- [2] 吕彬, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用. *生态学报*, 2006, 26 (11) : 3898 ~ 3906.
- [3] 刘桂平, 周永春, 方炎, 等. 我国农业污染的现状及应对建议. *国际技术经济研究*, 2006, 9 (4) : 1 ~ 5.
- [14] 吴小庆, 徐阳春, 沈其荣, 等. 不同氮肥利用效率水稻品种开花后地上部分氨挥发研究. *中国水稻科学*, 2006, 20 (4) : 429 ~ 433.
- [16] 杜纲, 岳松涛. 房地产开发投资决策的熵权系数优化模型. *数理统计与管理*, 1999, 18 (1) : 45 ~ 49.
- [17] 赵静, 王婷, 牛东晓. 用于评价的改进熵权 TOPSIS 法. *华北电力大学学报*, 2004, 31 (3) : 68 ~ 70.