

层次分析法在上海市农田有害生物治理中的应用

万年峰^{1,2}, 蒋杰贤^{1*}, 徐建祥², 吴进才²

(1. 上海市农业科学院植物保护研究所 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201106; 2. 扬州大学农学院植物保护系, 扬州 225009)

摘要: 以上海市农业示范区(松江区)农药用量减少优化为例, 在对其稻田农药用量现状进行调查分析的基础上, 运用层次分析法的基本原理和数学模型进行了农药用量对策研究, 建立了综合效益和综合代价的层次分析结构模型, 将综合效益分为经济、社会、生态效益 3 个元素, 综合代价分为经济、社会、生态代价 3 个元素。建立了判断矩阵, 并作一致性检验, 求出相应的权重, 提出代价效益比 RCP 概念(综合代价与综合效益的比), 对稻田农药用量对策进行排序, 并依此作为衡量稻田农药用量的参考因子。根据分析结果, 认为采用杀虫灯和施用化学农药 5 次(有效成分为 $2.23\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)相结合, 是上海市水直播稻田有害生物的最佳防治策略。

关键词: 层次分析法; 上海市; 有害生物治理; 代价效益比

文章编号: 1000-0933(2005)11-2997-06 **中图分类号:** Q 968, S181 **文献标识码:** A

Application of the analytic hierarchy process to pest management in the rice fields of Shanghai City

WAN Nian-Feng^{1,2}, JIANG Jie-Xian^{1*}, XU Jian-Xiang², WU Jin-Cai² (1. Institute of Plant Protection of the Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201106, China; 2. Department of Plant Protection of Agricultural College of Yangzhou University, Yangzhou 225009, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (11): 2997~3002

Abstract: In the production of field crops, pesticides are often applied to fields to control pests, including crop diseases, pest insects and weeds. With society caring more and more about the safety of the environment and people's health, traditional pesticide-based pest-control is facing a challenge. It is widely accepted that making pest control decisions more scientifically is one way to reduce pesticide use in crops.

The analytical hierarchy process (AHP) is a flexible modeling methodology that has been applied in a wide range of planning and decision-making environments. It offers the ability to structure a problem in hierarchical form as viewed by the decision-makers. The method permits either subjective or objective evaluation, allowing for consideration of intangible and qualitative factors, and thus it facilitates assessment of relevant criteria critically and logically to assist in making sensible decisions.

After investigation and analysis of the practice of pesticide application in the rice fields of the Agricultural Experimental Zone of Shanghai (Songjiang district), AHP was applied to evaluate 4 alternative pest-control strategies. Comprehensive Profits (CP) and Comprehensive Costs (CC) of the pest-control strategies were used as the targets of AHP, in which Comprehensive Profits were classified into economic, social and ecological profits, while Comprehensive Costs were split into economic, social and ecological costs. Ratio of Cost to Profit (RCP) was calculated by dividing Comprehensive Costs (CC) by

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关资助项目(农科攻字 2002 第 4-1-3 号)

收稿日期: 2005-03-25; **修订日期:** 2005-08-29

作者简介: 万年峰(1981~), 男, 江苏扬州人, 硕士生, 主要从事应用生态学和生物防治研究。E-mail: fnianwan_2004@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jiangjexian@163.com

致谢: 承蒙美国康乃尔大学 Mark Schmaedick 博士协助修改本文, 谨致谢忱

Foundation item: Supported by the Key Project of Science and Technology for Agriculture of Shanghai (No. 2002-4-1-3)

Received date: 2005-03-25; **Accepted date:** 2005-08-29

Biography: WAN Nian-Feng, Master candidate, mainly engaged in applied ecology and biocontrol. E-mail: fnianwan_2004@163.com

Comprehensive Profits (CP). In using the AHP to model this problem, we developed a hierarchic structure (four levels: goal, criteria, sub-criteria, and alternatives) to represent the problem and made pairwise comparisons. The judging matrices were developed, and tests of coherence were carried out. Then corresponding contributions of the control measures to CC and CP were calculated, and each control measure's contribution to the CC was divided by its contribution to the CP to evaluate the measure's contribution to RCP. According to the analysis, the best strategy was to apply pesticides 5 times (at the active ingredient rate of $2.23\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) during the whole period of rice growth and to use a frequency vibration lamp to attract and kill pests. The second best strategy was to apply pesticides 3 times (at the active ingredient rate of $1.52\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) along with using the frequency vibration lamp. The implementation of the AHP in this case demonstrates its usefulness as a tool to evaluate pest-control strategies in crops.

Key words: analytical hierarchy process; Shanghai City; pest management; Ratio of Cost to Profit

农业生产中, 为了保障农作物稳产高产, 在有害生物危害情况下, 农户常常在农田内滥用农药, 缺乏科学的用药对策。为了更合理地使用农药, 切实保护生态环境, 应对农田农药

用量进行合理分析。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是美国运筹学家 T. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代初期提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法。它是基于系统中的系统层次性原理建立起来的, 遵循认识事物的规律, 有意识地将复杂问题分解成若干有序的、条例化的层次, 应用数学方法将决策规划过程中定性分析与定量分析有机地结合起来, 统一进行优化处理而得到合理结果的一种方法^[1]。稻田农药用量对策受综合效益和综合代价影响, 在农药用量对策研究中可以将综合效益分为经济、社会、生态效益 3 个元素, 将综合代价分为经济、社会、生态代价 3 个元素。通常人们只注重投入产出比, 却忽视了代价效益比。用层次分析法来计算相应的权重, 依据权重来确定稻田农药用量对策。本研究以上海市农业示范区为例, 在确保尽量不增加总成本和不降低水稻产量、品质的前提下, 以减少农药用量为出发点, 防治手段中化学农药与杀虫灯相结合, 利用层次分析法对其稻田化学农药对策进行了研究, 为农田有害生物治理提供参考。

1 AHP 法基本原理

AHP 法的基本原理就是把定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法, 通过分析复杂问题所包含的元素及其相互关系, 将问题分解为不同的元素, 建立系统的递阶层次结构; 再请专家对每一层次的各元素进行客观判断后, 对同一层次的各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较, 构造两两比较判断矩阵; 由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对权重; 计算出每一层全部元素对系统目标的合成权重, 并加以排序; 最后根据排序结果进行规划决策并选择解决问题的措施。

2 AHP 法在稻田农药用量对策研究中的应用

2.1 层次分析结构模型

用 AHP 分析问题, 首先要把问题条理化、层次化, 构造层次分析的结构模型。层次分析结构模型通常由 3 层构成。最高层中只有一个元素, 一般是分析问题的预定目标或理想结果, 因此又称目标层; 中间层包括了为实现目标所涉及的中间环节, 它可由若干个层次组成, 包括所需要考虑的准则和子准则, 因此又称为准则层; 最底层表示为实现目标可供选择的各种措施、决策、方案等, 因此又称为措施层或方案层。

2.1.1 目标层 农田农药用量对策通常以经济效益最好作为追求目标。本文除考虑经济效益外, 还追求社会、生态效益, 即综合效益 (O), 甚至还注意到经济、社会、生态代价, 即综合代价 (O₋); 以往种植者只关注投入产出比, 是以经济学角度出发的。而本文提出代价效益比, 考虑到经济-生态-社会是一个统一的整体, 权衡到可持续发展。

2.1.2 准则层 为了达到追求的目标, 需要一套科学的评价指标体系作为度量目标实现程度优劣的标准与尺度。选择评价指标体系的原则是有典型代表性、可观测性、可度量性, 且各指标间相互独立和无显著相关关系^[2]。对于复杂的农田生态系统, 有害生物种类多, 能够反映农田有害生物治理中各个实施手段所产生的综合效益和综合代价的指标非常多, 然而, 任何单个指标都无法反映农田有害生物治理中各个实施手段所产生的综合效益和综合代价。为此, 根据以下原则选择一些关于各个实施手段所产生的经济效益、社会效益、生态效益、经济代价、社会代价和生态代价方面的一系列指标: (1) 指标应该反映各个实施手段的投入和产出、资源和时间消耗、对社会和种植经营者的影响、对生态环境的保护和危害程度; (2) 指标应该能够反映各个实施手段所产生的短期利益和长期利益、局部代价和整体代价, 有利于发展可持续农业, 关注各个实施手段产生的生态学负效应; (3) 若指标没有定量数据表示, 就应该用农田有害生物治理中各个实施手段所产生的经济效益、社会效益、生态效益、经济代价、社会代价和生态代价的相对重要性来表示, 用其重要程度序数表示; (4) 尽量采用综合指标, 指标之间应该尽量保持相互独立, 无直接作用关系^[3]; (5) 指标间应互相补充, 指标形成的体系应较全面, 甚至全面地反映系统的各种功能特征, 并构成完整的体系^[4]。

根据以上原则, 咨询有关专家和根据农田生产实际, 选择了农田有害生物治理中经济效益、社会效益、生态效益、经济代价、

社会代价和生态代价的指标 18 个, 见图 1。

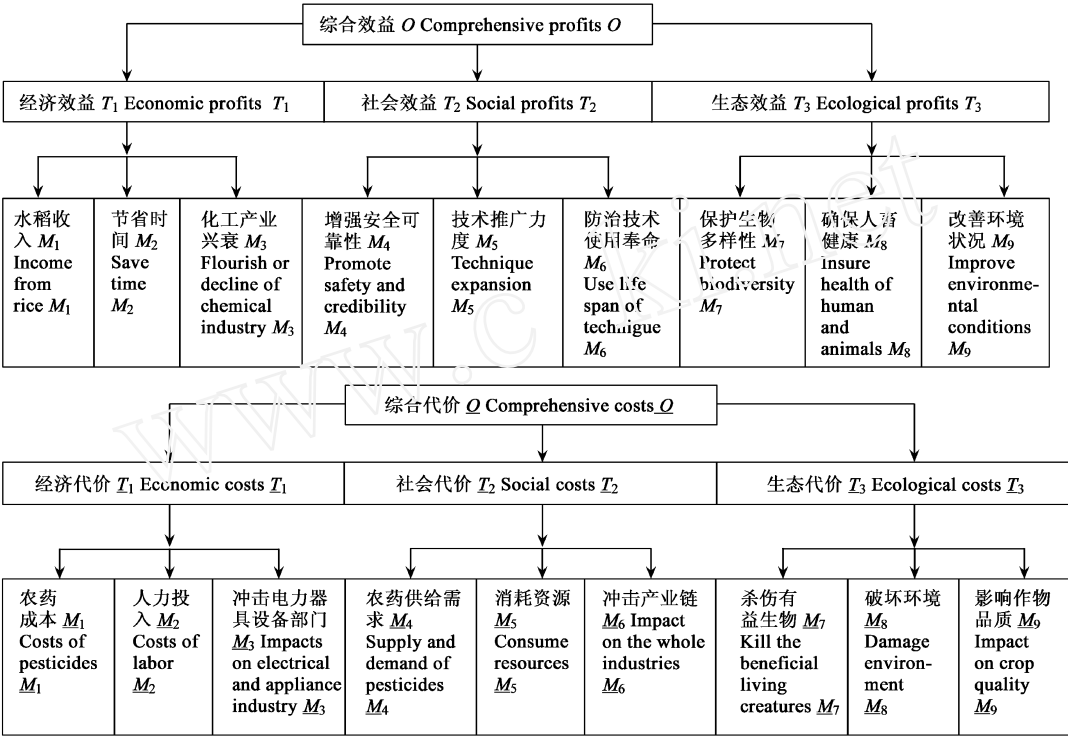


图 1 稻田有害生物治理中综合效益和综合代价评价指标体系

Fig 1 Indicator system of Comprehensive Profits (CP) and Comprehensive Costs (CC) assessment to pest management in rice fields

2.1.3 方案层 为了评价各个实施手段的优越性和确定其优越性的顺序, 方案层展示了本课题组提供的水直播稻田病虫害防治技术方案。方案共设 4 个处理, 每处理重复 3 次, 所有处理的水稻前茬均为绿肥紫云英, 播种前稻田机械耕翻并淹水 7d。除农民常规防治区外, 其它处理的水稻播种均推迟 7d。处理 1: 播种后 30d 安装杀虫灯, 30d 后撤灯, 下同; 根据病虫害灾情, 适时地使用农药 5 次, 有效成分为 $2.23\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 施用的农药有丁苯、杀虫单、锐劲特、禾欢乐、纹曲克星、农妙奇、扑虱灵, 该处理简写为“杀虫灯+ 用药 5 次”; 处理 2: 用药 4 次, 施用的农药有丁苯、禾欢乐、纹曲克星、吡虫啉, 其有效成分为 $1.97\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 该处理区简写为“杀虫灯+ 用药 4 次”; 处理 3: 施用的农药有丁苯、纹曲克星、吡虫啉, 有效成分为 $1.52\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 该处理区简写为“杀虫灯+ 用药 3 次”。处理 4(农户常规防治区): 农民自主决策施药 8 次(有效成分为 $4.30\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 不使用杀虫灯, 农药有丁苯、杀虫双、吡虫啉、井岗霉素、乐果、扑虱灵、三环唑、甲胺磷。

2.2 层次分析结构模型的数量转换

2.2.1 构造判断矩阵 构造判断矩阵即应用专家调查方法, 将同一层次中两两元素间相对重要性给出一定尺度判断, 由此判断构成的矩阵为判断矩阵。在建立递阶层次结构后, 上下层元素间的隶属关系就被确定了。Saaty 建议用 1~ 9 及其倒数作为标度来确定判断元素间重要程度, 若用元素 A 与 B 作比较, 1 表示元素 A 与 B 同样重要, 3 表示元素 A 较 B 稍微重要, 5 表示元素 A 较 B 明显重要, 7 表示元素 A 较 B 强烈重要, 9 表示元素 A 较 B 绝对重要, 2、4、6、8 表示元素 A 相对于 B 的重要性介于上述两个相邻等级之间。

2.2.2 层次排序及其一致性检验 根据 n 个元素 $m_1, m_2, \dots, m_n$ 对于准则 C 的判断矩阵 A 求出它们对于准则 C 的相对排序权重 $w_1, w_2, \dots, w_n$ 相对权重写成向量形式, 即 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。然后计算权重, 其方法通常为特征根法。设 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 是 n 阶判断矩阵的排序权重向量, 当 A 为一致性矩阵时, 显然有:

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

(1)

$$AW = nW$$

(2)

因而满足

(2) 式中, n 是 A 的最大特征根, W 是相应的特征向量, 故对于一般的判断矩阵 A 有:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (3)$$

(3) 式中, $\lambda_{\max}$ 是 A 的最大特征根, W 是相应的特征向量, 经过归一化后就可以近似作为排序权重向量。

层次单排序一致性检验评价指标为判断矩阵随机一致性比率:

$$CRI = CI/RI \quad (4)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (5)$$

CRI 为判断矩阵随机一致性比率; CI 为一致性指标; RI 为平均随机一致性指标, 其值随矩阵阶数 n 的不同而变化。当 $CRI < 0.1$ 时, 判断矩阵具有满意的一致性。否则, 说明构建的判断矩阵不合理, 必须重新做出判断, 直到有满意的一致性为止。层次总排序即计算同一层次所有元素对于最高层相对重要性的排序权值, 根据总排序值大小顺序, 可以得出诸方案的优先顺序。对于总权值的结果仍需进行一致性检验, 与单层一致性检验的计算方法相同^[5]。

3 应用举例

(1) 通过专家学者咨询和实际调查, 得出综合效益的判断矩阵 $O-T$:

O	T_1	T_2	T_3	W
T_1	1	3	6	0.6667
T_2	1/3	1	2	0.2222
T_3	1/6	1/2	1	0.1111

$\lambda_{\max} = 3$, $CI = 0$, $RI = 0.58$, $CRI = 0 < 0.1$, 故判断矩阵 $O-T$ 通过随机一致性检验。计算所得权重向量 $W = (0.67, 0.22, 0.11)^T$ 。由此可知, 经济效益较社会效益稍微重要、较生态效益接近强烈重要, 经济效益在综合效益中占主导作用。(注: CRI 为其各自随机一致性比率, W 为其各自权重向量, 以下判断矩阵 $\lambda_{\max}$, CI , RI 计算结果省略; 综合代价的各自判断矩阵及计算结果省略, 只保留方案层元素对目标层的总排序权重。)

(2) 判断矩阵 T_1-M 、 T_2-M 、 T_3-M 如下:

T_1	M_1	M_2	M_3	W	T_2	M_4	M_5	M_6	W	T_3	M_7	M_8	M_9	W
M_1	1	3	7	0.6586	M_4	1	1/3	1/2	0.1634	M_7	1	1/3	1/3	0.1429
M_2	1/3	1	4	0.2628	M_5	3	1	2	0.5396	M_8	3	1	1	0.4286
M_3	1/7	1/4	1	0.0786	M_6	2	1/2	1	0.2970	M_9	3	1	1	0.4286

$CRI = 0.0279$

$CRI = 0.0079$

$CRI = 0$

由此可见, 经济效益上, 水稻最终的收入较种植者减少农药使用次数所节省的时间用来从事其它经济活动产生的效益稍微重要、较农药使用多少会影响化工产业的兴衰强烈重要, 水稻最终的收入在经济效益中占主导作用; 社会效益上, 防治技术的推广深度和广度较农药的社会安全可靠性的稍微重要、较防治技术的使用寿命接近稍微重要, 在社会效益中占主导作用; 生态效益上, 农药使用量减少有助于保证人畜健康较保护生物多样性稍微重要, 农药使用量减少有助于保证人畜健康与改善环境状况同样重要。

(3) 判断矩阵 $M-Y$ 如下:

M_1	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W	M_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W	M_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W
Y_1	1	3	5	6	0.5715	Y_1	1	3	5	7	0.5817	Y_1	1	4	5	6	0.6000
Y_2	1/3	1	2	4	0.2355	Y_2	1/3	1	2	4	0.2314	Y_2	1/4	1	2	4	0.2135
Y_3	1/5	1/2	1	2	0.1224	Y_3	1/5	1/2	1	2	0.1205	Y_3	1/5	1/2	1	2	0.1178
Y_4	1/6	1/4	1/2	1	0.0706	Y_4	1/7	1/4	1/2	1	0.0664	Y_4	1/6	1/4	1/2	1	0.0687

$CRI = 0.0181$

$CRI = 0.0105$

$CRI = 0.0339$

在水稻最终的收入上, 用药 8 次较杀虫灯结合 5 次用药稍微重要、较 4 次用药明显重要、较 3 次用药接近强烈重要, 可见用药 8 次对水稻最终的收入贡献最大; 在种植者减少农药使用次数所节省的时间用来从事其它经济活动产生的效益上, 用药 8 次较杀虫灯结合 5 次用药稍微重要、较 4 次用药明显重要、较 3 次用药强烈重要; 在农药使用多少影响化工产业兴衰方面, 用药 8 次较杀虫灯结合 5 次用药接近明显重要、较 4 次用药明显重要、较 3 次用药接近强烈重要, 可见农药使用次数多、用量多, 会促进化工产业的兴荣。

M_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W	M_5	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W	M_6	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W
Y_1	1	1/4	1/5	1/6	0.0551	Y_1	1	1/6	1/5	1/4	0.0623	Y_1	1	1/6	1/5	1/4	0.0623
Y_2	4	1	1/3	1/5	0.1301	Y_2	6	1	1/2	1/3	0.2048	Y_2	6	1	1/2	1/3	0.2048
Y_3	5	3	1	1/3	0.2639	Y_3	5	2	1	1/2	0.2896	Y_3	5	2	1	1/2	0.2896
Y_4	6	5	3	1	0.5509	Y_4	4	3	2	1	0.4433	Y_4	4	3	2	1	0.4433

$CRI = 0.0804$

$CRI = 0.0945$

$CRI = 0.0945$

在农药使用减少增强社会安全可靠上, 杀虫灯结合 3 次用药较 4 次用药稍微重要、较 5 次用药明显重要、较 8 次用药接近强烈重要, 可见减少使用农药有利于社会安全可靠; 在防治技术推广深度和广度上, 杀虫灯结合 3 次用药较 4 次用药接近稍微重要、较 5 次用药稍微重要、较 8 次用药接近明显重要, 可见农药使用次数越少、越便于人们接受; 在防治技术使用寿命上, 杀虫灯结合 3 次用药较 4 次用药接近稍微重要、较 5 次用药稍微重要、较 8 次用药接近明显重要, 可见使用农药次数越少、技术寿命越长。

M_7	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W	M_8	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W	M_9	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W
Y_1	1	1/5	1/7	1/8	0.0423	Y_1	1	1/5	1/6	1/8	0.0443	Y_1	1	1/5	1/6	1/7	0.0468
Y_2	5	1	1/3	1/4	0.1378	Y_2	5	1	1/3	1/4	0.1404	Y_2	5	1	1/3	1/4	0.1427
Y_3	7	3	1	1/3	0.2789	Y_3	6	3	1	1/3	0.2721	Y_3	6	3	1	1/3	0.2754
Y_4	8	4	3	1	0.5410	Y_4	8	4	3	1	0.5431	Y_4	7	4	3	1	0.5352
$CR I = 0.0708$						$CR I = 0.0704$						$CR I = 0.0823$					

在对有益生物的杀伤力上, 杀虫灯结合 3 次用药较 4 次用药稍微重要、较 5 次用药接近明显重要、较 8 次用药接近极端重要, 可见使用农药越多, 对有益生物的杀伤力越强; 在对周围环境的破坏程度上, 杀虫灯结合 3 次用药较 4 次用药稍微重要、较 5 次用药接近明显重要、较 8 次用药接近极端重要, 可见使用农药越多, 对周围环境破坏性越强; 在对水稻品质影响上, 杀虫灯结合 3 次用药较 4 次用药稍微重要、较 5 次用药接近明显重要、较 8 次用药强烈重要, 可见使用农药越多, 会降低水稻品质。

3.4 计算各层元素对目标层的总排序权重

若已经算出第 $k-1$ 层上 n_{k-1} 个元素相对于总目标的排序:

$$W^{(k-1)} = [W_1^{(k-1)}, W_2^{(k-1)}, \dots, W_{n_{k-1}}^{(k-1)}]^T$$

以及第 k 层 n_k 个元素对于 $k-1$ 层上第 j 个元素为准则的单位向量。

$P_j^{(k)} = [P_{1j}^{(k)}, P_{2j}^{(k)}, \dots, P_{n_{k-1}j}^{(k)}]$, 其中不受 j 元素支配的元素权重取为零, 矩阵 $P^{(k)} = [P_1^{(k)}, P_2^{(k)}, \dots, P_{n_{k-1}}^{(k)}]$ 是 $n_k \times n_{(k-1)}$ 阶矩阵, 表示第 k 层上元素对第 $k-1$ 层上各元素的排序, 则第 k 层上元素对目标的总排序为:

$$W^{(k)} = [W_1^{(k)}, W_2^{(k)}, \dots, W_{n_k}^{(k)}]^T = P^{(k)}W^{(k-1)}$$

有一般公式:

$$W^{(k)} = P^{(k)}W^{(k-1)} \dots P^{(3)}W^{(2)}$$

这里 $W^{(2)}$ 是第 2 层上元素的总排序向量, 也是单准则下排序向量。图 1(综合效益)的各层元素相对于目标层的总排序向量计算结果如下:

$$W^{(2)} = (0.6667, 0.2222, 0.1111)^T, P^{(3)} = (P_1^{(3)}, P_2^{(3)}, P_3^{(3)})$$

其中:

$$P_1^{(3)} = [0.6586 \quad 0.2628 \quad 0.0786 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T$$

$$P_2^{(3)} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.1634 \quad 0.5396 \quad 0.2970 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T$$

$$P_3^{(3)} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.1429 \quad 0.4286 \quad 0.4286]^T$$

$$W^{(3)} = P^{(3)}W^{(2)} = [0.4391 \quad 0.1752 \quad 0.0524 \quad 0.0363 \quad 0.1199 \quad 0.0660 \quad 0.0159 \quad 0.0476 \quad 0.0476]^T$$

$$W^{(4)} = P^{(4)}W^{(3)}$$

$$P^{(4)} = \begin{bmatrix} 0.5715 & 0.5817 & 0.6000 & 0.0551 & 0.0623 & 0.0623 & 0.0423 & 0.0443 & 0.0468 \\ 0.2355 & 0.2314 & 0.2135 & 0.1301 & 0.2048 & 0.2048 & 0.1378 & 0.1404 & 0.1427 \\ 0.1224 & 0.1205 & 0.1178 & 0.2639 & 0.2896 & 0.2896 & 0.2789 & 0.2721 & 0.2754 \\ 0.0706 & 0.0664 & 0.0687 & 0.5509 & 0.4433 & 0.4433 & 0.5410 & 0.5431 & 0.5352 \end{bmatrix}$$

$$W^{(4)} = (0.4029, 0.2136, 0.1749, 0.2086)^T$$

由总排序权重得出如下结论: 用药 8 次方案所带来的综合效益最高, 用药 5 次结合杀虫灯次之, 用药 4 次结合杀虫灯最低。

3.5 方案层元素对目标层综合代价的总排序权重:

$$W^{(4)} = (0.4657, 0.1750, 0.1733, 0.1860)^T$$

由总排序权重可以得出如下结论: 用药 8 次方案所带来的综合代价最高, 用药 3 次结合杀虫灯次之, 用药 4 次结合杀虫灯最低。

4 结论

综上所述, 可得代价效益比 RCP 向量为 $(1.1559, 0.8193, 0.9909, 0.8917)^T$ 。在综合效益和综合代价两方面的计算中, 经济因素的权重都高于其它因素。我们认为方案用药 5 次结合杀虫灯的代价效益比 RCP 值最小, 是最理想的措施, 用药 3 次结合杀虫灯次之。用药 8 次是最不理想的措施, 且其综合代价大于综合效益。这就给一些唯经济利益追逐者敲响了警钟, 在看到经济成就的同时, 也必须注意生态系统为之付出的惨痛代价, 关注社会关系结构为之调整的剧烈运动。往往人们追求的投入产出

比,是以经济代价和经济效益为前提的,而忽视了经济、社会、生态三者的系统性和统一性,本文用层次分析法提出的代价效益比 RCP 恰好考虑到了这三者之间的关系。基于本课题组的实际经验,在水稻生长发育过程中,使用3、4次或5次农药且结合使用杀虫灯,就能很好地控制稻飞虱、条纹叶枯病等有害生物的爆发成灾。目前上海市化学农药用量居高不下,单位面积用量远高于全国平均水平,因此上海市有关部门要求3a内实现减少化学农药使用量40%~50%的目标,确保农产品安全质量。本课题组所承担的“农田化学肥料和化学农药施用减量关键技术研究”,在水直播稻田施用3~5次防病虫农药,并结合杀虫灯,实现了减少农药的用量与提高作物产量、质量的矛盾,为本市的生态环境建设工程起到了指导性作用,有一定的生态经济意义。

References

- [1] Xu X H, Lu Z J, Liu Z P. Structure optimization of forest catalogue and tree species using analytic hierarchy process *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 1999, **24**(2): 18~ 23
- [2] Wang Y M, Xu N R. Application of optimization theory in analytic hierarchy process *Theory and Practice of Systemic Engineering*, 1991, (2): 24~ 30
- [3] Young A. Change and constancy: an analysis of publications in agroforestry systems *Agroforestry Systems*, 1991, **13**: 195~ 202
- [4] Wu G. Nitrogen, phosphorus and potassium recycling in an agroforestry ecosystem of Huanghuaihai plain: with *Paulownia elongata* intercropped wheat and maize as an example *J. of Envir. Science*, 1998, **10**(3): 189~ 196
- [5] Zeng S M. *Introduction of systemic engineering of plant protection*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1994

参考文献:

- [1] 许孝宏, 吕子君, 刘治平. 层次分析法在林种树种结构优化中的应用研究 *甘肃林业科技*, 1999, **24**(2): 18~ 23
- [2] 王应明, 徐南荣. 优化理论在层次分析法中的应用 *系统工程理论与实践*, 1991, (2): 24~ 30
- [5] 曾士迈. *植保系统工程导论*. 北京: 北京农业大学出版社, 1994