

基于投影寻踪的滨海盐碱地改良综合效应评价

朱成立^{1,2}, 陈 婕², 冯宝平^{1,2}, 吕蓓蓓²

(1. 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为综合评价滨海盐碱地改良综合效应,从经济效益、土壤质量、生态环境 3 个方面建立滨海盐碱地暗管改碱效应评价指标体系。应用基于粒子群算法的投影寻踪方法,建立滨海盐碱地暗管改碱效应等级评价模型,详细介绍了该模型的构建过程。利用该模型将暗管改碱效应等级的多维分级指标综合成一维投影值,根据投影值与评价等级经验值的函数关系可对暗管改碱样本集进行合理分级,采用粒子群算法直接优化投影寻踪的投影函数和投影方向,由最佳投影方向计算评价样本所属等级。在江苏滨海盐碱地暗管改碱效应评价中的应用表明,直接由样本数据驱动的投影寻踪等级评价模型对样本的综合效应等级评价合理,模型精度较高,平均相对误差为 6.3%。

关键词:盐碱地改良;滨海;暗管改碱;投影寻踪;等级评价;粒子群优化算法

中图分类号:S156.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)02-0020-06

Evaluation of the combined effect of coastal saline-alkali soil reclaim based on the theory of projection pursuit//
ZHU Chengli^{1,2}, CHEN Jie², FENG Baoping^{1,2}, LÜ Beibei² (1. *Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China (Hohai University), Ministry of Education, Nanjing 210098, China;* 2. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: To evaluate the combined effect of coastal saline-alkali soil reclaimed by subsurface pipe drainage system, the index system was established from the three aspects of economic benefit, soil quality and ecological environment. By using the projection pursuit method which is based on the particle swarm optimization, the projection pursuit grade evaluation model of coastal saline-alkali soil reclaim was established, and its establishment process was introduced in detail. According to this model, the multi-dimensional grading indexes can be integrated into the one-dimensional projection value, and the samples can be reasonably graded according to the functional relation between the projection value and the evaluation grading experienced value. The particle swarm optimization arithmetic was applied to optimize the projection function and the direction of projection pursuit which will help to calculate the grade of the evaluating sample. Application of this model in evaluation of the effect of Jiangsu coastal saline-alkali soil reclaim shows that, this model derived by samples data is reasonable, the precision of the model is relatively high, and the mean relative error is 6.3%.

Key words: saline-alkaline soil reclaim; coastal region; subsurface pipe drainage for saline soil reclaim; projection pursuit; grade evaluation; particle swarm optimization arithmetic

沿海滩涂作为我国重要的土地后备资源,其开发利用是缓解人地矛盾、促进地区经济发展的重要途径。围垦后的滩涂是盐碱地,土壤含盐量高,有机质含量低,农业开发利用前必须采取退盐改碱等综合改良措施^[1]。近年来,暗管改碱、农业配套及湿地建设技术已应用于滨海盐碱地综合治理开发中,研究滨海盐碱地改良综合效应评价指标体系,综合评价滨海盐碱地改良综合效应^[2],对于滨海盐碱地暗管改碱技术的推广具有重要意义。

滨海盐碱地改良既要使土壤尽快脱盐,又要改善土壤质地,提高有机质含量,往往需要综合运用工程措施和农业措施。暗管改碱技术是利用大型专业成套机械设备在一定土壤深度埋设具有滤水功能的微孔管道,开沟、放管、敷料、合沟等施工过程一次完成,结合土壤盐分淋洗技术、土壤改良与快速熟化技术和农业耕作措施等,快速排出土壤中的盐分并改善土壤理化性质,增加土壤肥力的一项现代盐碱地治理开发技术^[3-4]。暗管改碱技术是一项系统性的

盐碱地治理开发技术,不同的暗管铺设间距与埋深、不同的农业措施,都将影响滨海盐碱地的改良效果。因此滨海盐碱地暗管改碱效应评价涉及多个评价指标,单凭某个指标评价改良效果是不全面的,应当结合经济效益、土壤质量和生态环境 3 个方面的指标,建立盐碱地暗管改碱效应评价指标体系,选取合适的评价方法来评价滨海盐碱地改良效果。本文尝试建立基于粒子群优化算法的投影寻踪等级评价模型,以为滨海盐碱地暗管改碱效应评价提供一种新方法。

1 滨海盐碱地改良综合效应评价指标体系

评价指标等级划分方法多种多样,其标准、尺度依具体情况而不同。本文尝试在参考各类指标定量标准的基础上,结合试验区实测数据,确定反映滨海盐碱地改良效果的各指标的分级标准。指标等级尽量用数据表示,每个指标分成 5 个等级,1 级最优,5 级最劣。滨海盐碱地改良效果综合评价指标体系应包括经济效益、土壤质量和生态环境 3 个方面的指标。

经济效益指标参考文献[5],选取经济内部收益率(x_1)、经济效益费用比(x_2) 2 个指标。经济内部收益率是国民经济评价中的重要指标,以项目计算期内各年净效益现值累计等于零时的折现率表示。经济效益费用比反映了工程的经济合理性和可行性,以项目效益现值与费用现值之比表示。指标分级的标准值参照 SL 72—1994《水利建设项目经济评价规范》得出。

土壤质量指标参考文献[6-7],选取全盐量(x_3)、有机质含量(x_4)、酸碱度 pH(x_5) 3 个指标。土壤盐碱化是指土壤含盐量太高,碱度过大,致使农作物低产或不能生长,是评价盐碱地改良效果最重要的指标。土壤含盐量用全盐量表示,由电导率法测得。土壤有机质含量是衡量土壤肥力高低的重要指标之一,它促使土壤结构形成,改善土壤物理、化学及生物学过程的条件,提高土壤的吸收性能和缓冲性能,同时它本身又含有植物所需要的各种养分,如碳、氮、磷、硫等,要了解土壤的肥力状况,必须进行土壤有机质含量的测定。土壤有机质含量以有机

质质量占干土质量的百分比表示。一般以 pH 值等于 7.5 的土壤为中性土壤。土壤质量指标分级标准值参考《全国第二次土壤普查养分分级标准》和《土地复垦技术标准(试行)》确定。

考虑到盐碱地改良后对生态环境的影响,生态环境指标主要考虑洗盐后的排水水质,选取改良后排水矿化度(x_6)、化学需氧量(x_7) 2 个指标。矿化度通常以 1 L 水中含有各种盐分的总质量来表示。化学需氧量用于衡量水中有机物质含量,化学需氧量越低,说明水体受有机物的污染越轻。生态环境指标分级标准值参考 GB/T 14848—1993《地下水质量分类标准》、GB 3838—2002《地表水环境质量标准》确定。

表 1 给出了滨海盐碱地改良综合效应评价指标的 5 个评价等级,1 级对应最好指标值,盐碱地改良效果最好;5 级对应最差指标值,盐碱地改良效果最差。

2 滨海盐碱地改良综合效应投影寻踪等级评价模型

2.1 投影寻踪等级评价模型

投影寻踪(projection pursuit, PP)是一类处理高维数据的统计方法^[8],其基本原理是通过数值优化计算将高维数据投影到低维空间,从而找到反映数据结构特征的最优投影方向。投影寻踪聚类模型常用于多因素影响问题的综合评价,运用该模型可以根据数据的内部结构特征来确定各评价指标的相对权重,避免权重人为给定的主观性,该模型可分为投影寻踪分类(projection pursuit classification, PPC)模型和投影寻踪等级评价(projection pursuit grade evaluation, PPE)模型^[9]。投影寻踪分类模型不受评价标准的限制,可以得到基于投影特征值大小的样本排序,以此判断评价结果好坏;投影寻踪等级评价模型可根据给定的判别标准,利用投影特征值对评价样本进行等级水平评价。

基于滨海盐碱地改良综合效应评价指标分级,引入 PPE 方法对滨海盐碱地改良综合效应进行评价,可以有效地解决多因素综合评价存在的高维复

表 1 滨海盐碱地改良综合效应评价指标等级划分

评价指标 等级	经济效益		土壤质量			生态环境	
	x_1	x_2	$x_3/\%$	$x_4/\%$	x_5	$x_6/(g \cdot L^{-1})$	$x_7/(mg \cdot L^{-1})$
1 级	>1.6	>2.0	<0.1	>5	<7.9	<1	<15
2 级	>1.4 ~ 1.6	>1.6 ~ 2.0	0.1 ~ <0.2	>3.5 ~ 5	7.9 ~ <8.5	1 ~ <3	15 ~ <20
3 级	>1.2 ~ 1.4	>1.3 ~ 1.6	0.2 ~ <0.4	>2.5 ~ 3.5	8.5 ~ <9.0	3 ~ <5	20 ~ <30
4 级	>1.0 ~ 1.2	>1.0 ~ 1.3	0.4 ~ <0.6	>1.5 ~ 2.5	9.0 ~ <9.5	5 ~ <10	30 ~ <40
5 级	≤1.0	≤1.0	≥0.6	≤1.5	≥9.5	≥10	≥40

注: x_1 为社会折现率 7% 的倍数,经济分析期按 20 a 计。

杂性和指标权重赋值的主观性等问题。投影指标函数的构造及优化是应用 PPE 方法的关键。近年来,许多学者利用遗传算法来完成投影寻踪模型投影方向的优化,但遗传算法需要进行复制、交换、突变等操作,编程过程复杂且计算量大,在应用时往往受到限制,容易陷入局部最优,不一定能获得全局最优解。对此,本文尝试引入粒子群优化算法。

2.2 粒子群优化算法

粒子群优化 (particle swarm optimization, PSO) 算法^[10]源于对鸟类捕食行为的研究,鸟类捕食时,鸟儿找到食物的最简单有效的方法就是搜寻当前距离食物最近的鸟的周围区域。在 PSO 算法中,每个优化问题的解可看作搜索空间中的一只鸟,称之为粒子,所有的粒子都有一个被优化函数决定的适应值,还有一个速度决定它们飞翔的方向和距离,然后粒子们就追随当前的最优粒子在解空间中搜索新的位置。

PSO 算法擅长的全局搜索克服了传统搜索易陷入局部最优的不足,并且 PSO 算法原理简单,需要确定的参数也不多,编程也很方便。因此,本文提出基于 PSO 算法的投影寻踪等级评价 (PSO-PPE) 模型,对滨海盐碱地改良综合效应评价的多指标高维问题进行降维,使得在一维空间中对滨海盐碱地改良综合效应评价成为可能。

2.3 滨海盐碱地改良综合效应评价 PSO-PPE 模型的构建

滨海盐碱地改良综合效应评价的 PSO-PPE 模型建模过程包括以下步骤:

步骤 1 评价指标样本的标准化处理。设由滨海盐碱地改良综合效应评价等级划分表产生的样本评价等级经验值为 y_i , 评价指标为 $\{x_{i,j}^* | j=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n\}$, 其中 n 为评价等级数, m 为评价指标数, $x_{i,j}^*$ 为第 j 个指标的第 i 个样本值。由于各指标的量纲及指标值的变化范围不相同,为保证评价结果的可靠性和精度,采用式(1)、式(2)对 $\{x_{i,j}^* | j=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n\}$ 进行标准化处理^[11]:

$$\text{越大越优的指标} \quad x_{i,j} = \frac{x_{i,j}^* - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (1)$$

$$\text{越小越优的指标} \quad x_{i,j} = \frac{x_{j\max} - x_{i,j}^*}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (2)$$

式中: $x_{j\max}$ 、 $x_{j\min}$ 分别为第 j 个评价指标的最大值和最小值; $x_{i,j}$ 为归一化后的指标。

步骤 2 构造投影指标函数 $Q(a)$ 。建立综合效应评价模型就是建立 $\{x_{i,j} | j=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n\}$ 与 y_i 之间的数学关系。PPE 算法就是把 m 维数据 $\{x_{i,j} | j=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n\}$ 综合成以单位长度

向量 $a=(a_1, a_2, a_3, \dots, a_m)$ 为投影方向的投影值 z_i , 然后根据 z_i 与 y_i 的散点图建立数学关系。

$$z_i = \sum_{j=1}^m a_j x_{i,j} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

式中: z_i 为投影值; a_j 为投影方向分量。

在综合投影时,为了使投影值 z_i 尽可能多地携带原评估指标系统的变异信息,并能保证投影值 z_i 对因变量 y_i 具有很好的解释性,可令 z_i 的标准差尽可能大,同时使 z_i 与 y_i 的相关系数也尽可能大。据此,投影指标函数可构造为

$$Q(a) = S_z | R_{zy} | \quad (4)$$

$$\text{其中} \quad S_z = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - E_z)^2}{(n-1)^2}$$

$$R_{zy} = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - E_z)(y_i - E_y)}{\left[\sum_{i=1}^n (z_i - E_z)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - E_y)^2 \right]^{0.5}}$$

式中: S_z 为投影值 z_i 的标准差; R_{zy} 为 z_i 与 y_i 的相关系数; E_z 、 E_y 分别为序列 $\{z_i\}$ 和 $\{y_i\}$ 的均值。

步骤 3 优化投影指标函数。投影指标函数 $Q(a)$ 只随投影方向的变化而变化,不同的投影方向反映不同的数据结构特征,最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向,可以通过求解 $Q(a)$ 最大化问题来估计最佳投影方向,最大化目标函数为

$$\max Q(a) = S_z | R_{zy} | \quad (5)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^m a_j^2 = 1 \quad 0 \leq a_j \leq 1 \quad (6)$$

这是以 $\{a_j | j=1,2,\dots,m\}$ 为优化变量的复杂优化问题,常规方法处理很困难,本文采用 PSO 算法来对其进行求解,该方法容易理解、易于实现。

步骤 4 PSO 算法求解。PSO 算法的基本原理是生成问题的潜在解 $X=(a_1, a_2, \dots, a_m)$, 根据目标函数算出每一个潜在解对应的适应值 P , 然后根据要求(求出最大或最小适应值), 找出这个群体的最优解 P_{best} , 然后更新潜在解, 进入下一轮计算^[4]。

在初始时刻,随机生成第一批潜在解 a_j 和第一批速度向量 v_j , 在每次迭代中,粒子通过跟踪个体极值 P_{best} 和全局极值 G_{best} , 分别按照式(7)和式(8)更新自己的速度与位置:

$$v_{k+1} = v_k + c_1 r_1 (P_k - X_k) + c_2 r_2 (G_k - X_k) \quad (7)$$

$$a_{k+1} = a_k + v_{k+1} \quad (8)$$

式中: k 为当前迭代次数; v 为粒子速度; c_1 和 c_2 为加速度因子,是非负常数; r_1 和 r_2 为分布于 $[0,1]$ 之间的随机数。

粒子群算法的运算步骤可以描述为:①确定初

始潜在解。在允许的范围内随机设置粒子的初始位置,作为输入数据的投影向量。②确定参数值。粒子个数取 30,最大迭代次数取 100,加速度因子 $c_1 = c_2 = 2$ 。③初始化群中粒子,包括粒子初值和速度,计算群中粒子各自的适应度值。④将每个粒子的适应度值与对应的 P_{best} 进行比较,若大于 P_{best} ,则更新 P_{best} 。⑤比较每个粒子的 P_{best} 与全局最大值 G_{best} ,若大于 G_{best} ,则更新 G_{best} 。⑥根据式(7)、式(8)更新粒子的速度和中心点。⑦判断是否达到最大迭代次数,若达到,则返回全局最大适应值和对应的中心点;否则返回第④步继续运算。

步骤 5 建立数学模型。把由步骤 4 求得的最佳投影方向代入式(3),求得各方案的投影值 z_i ,根据 $z_i \sim y_i$ 的散点图可建立相应的数学模型,通过曲线拟合投影值与综合评价等级经验值之间的关系得到各试验方案的评价等级。

3 PSO-PPE 模型在滨海盐碱地改良综合效应评价中的应用

3.1 PSO-PPE 模型精度分析

引用如表 1 所示的滨海盐碱地改良综合效应评价指标等级划分标准,评价等级标准分为 5 级(5 个样本),每个样本有 7 个评价指标。在盐碱地改良综合效应评价分级标准中各等级取值范围内均匀随

机产生 5 个样本 $x_{i,j}^*$,与对应的等级一起组成容量为 25 的样本系列,并对 $x_{i,j}^*$ 进行标准化处理,得到 $x_{i,j}$ ($i=1,2,\cdots,25;j=1,2,\cdots,7$),依据 PPE 模型中的式(1)~(6)计算投影指标函数,引入 PSO 算法进行求解。图 1 为 PSO 算法寻求最优解时最优解适应度的进化过程。

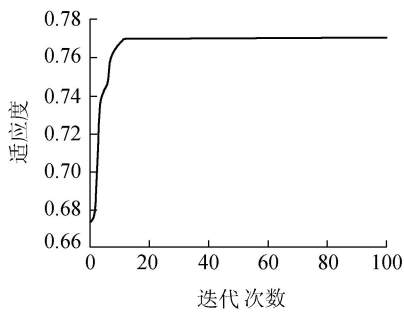


图 1 最优解适应度的进化过程

由图 1 可知,粒子群进化速度较快,迭代次数 10~30 时拟合误差已降低,适应度已稳定,投影指标函数最大值 $Q(a)$ 为 0.770 1,对应最佳投影方向 $a=(0.343, 0.394, 0.422, 0.373, 0.387, 0.382, 0.340)$,由最佳投影方向值可以看出,7 个指标影响程度从大到小依次为 $x_3, x_2, x_5, x_6, x_4, x_1, x_7$,即土壤全盐量指标最重要、经济效益费用比次之。将最佳投影方向 a 代入式(3)后即可得到各样本的最佳投影值 z_i ,见表 2。

表 2 盐碱地改良综合效应评价等级经验值和模型计算值的对比

评价样本 序列	评价指标值							最佳 投影值 z_i	评价等级 经验值 y_i	模型 计算值
	x_1	x_2	$x_3/\%$	$x_4/\%$	x_5	$x_6/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$x_7/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			
1	1.69	2.12	0.04	5.08	7.29	0.60	6.89	2.368	1	1.157
2	1.71	2.15	0.09	7.20	6.78	0.22	9.90	2.514	1	0.806
3	1.87	2.04	0.04	6.07	6.77	0.86	4.83	2.519	1	0.794
4	1.82	2.21	0.01	7.07	7.80	0.35	5.13	2.485	1	0.877
5	1.61	2.18	0.02	5.94	7.31	0.76	14.73	2.349	1	1.203
6	1.60	1.85	0.19	3.73	8.33	1.35	18.39	1.913	2	2.181
7	1.46	1.71	0.11	3.84	8.04	1.56	19.43	1.923	2	2.161
8	1.56	1.93	0.10	4.13	7.92	2.76	16.05	2.023	2	1.945
9	1.48	1.99	0.20	4.38	7.99	2.65	17.14	1.971	2	2.057
10	1.49	1.73	0.18	4.35	7.99	2.49	19.46	1.914	2	2.179
11	1.35	1.49	0.38	2.99	8.87	4.86	27.70	1.441	3	3.132
12	1.33	1.38	0.36	2.66	8.63	4.23	23.25	1.485	3	3.049
13	1.24	1.32	0.26	2.98	8.66	4.40	21.85	1.522	3	2.978
14	1.38	1.37	0.26	3.16	8.70	3.37	22.20	1.587	3	2.851
15	1.28	1.43	0.31	3.20	8.93	4.22	21.19	1.516	3	2.989
16	1.05	1.11	0.58	2.37	9.16	9.49	30.03	1.025	4	3.876
17	1.10	1.13	0.54	1.82	9.44	7.85	35.49	0.984	4	3.945
18	1.04	1.19	0.55	1.72	9.49	9.73	38.80	0.905	4	4.076
19	1.05	1.28	0.51	2.47	9.11	6.29	39.35	1.092	4	3.763
20	1.07	1.01	0.57	2.06	9.26	5.70	34.82	1.021	4	3.883
21	0.68	0.83	0.81	0.11	9.71	17.88	44.79	0.303	5	4.958
22	0.73	0.52	0.88	0.91	9.71	19.36	42.80	0.250	5	5.028
23	0.72	0.34	0.84	0.36	9.82	18.25	41.43	0.223	5	5.063
24	0.35	0.63	0.81	1.19	9.76	11.31	45.00	0.371	5	4.868
25	0.49	0.26	0.93	1.29	9.72	18.28	47.11	0.127	5	5.183

由表 2 中最佳投影值 z_i 与评价等级经验值 y_i 点绘散点图(图 2),用 Excle 进行二次多项式拟合,得到以下关系:

$$y_i = -0.2545z_i^2 - 1.1608z_i + 5.3340 \quad (R^2 = 0.991) \quad (9)$$

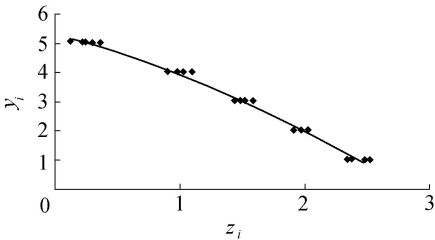


图 2 投影值与经验值的拟合曲线

对式(9)得到的各评价等级计算值与经验值做误差分析,绝对误差值在[0,0.3]范围内,平均绝对误差为 0.117,平均相对误差为 6.3%。因此,滨海盐碱地改良综合效应评价的 PSO-PPE 模型精度较高,可以用来描述改良综合效应评价指标投影值与评价等级之间的关系。

3.2 应用实例

“十一五”国家科技支撑计划项目“江苏滨海盐碱地暗管改碱与生态建设技术开发与示范”课题试验区位于江苏南通市如东县九龙垦区,濒临黄海,属典型的粉砂淤泥质海岸,地势较低,海拔约 2.10 m,土壤含盐量高,有机质含量低,需要综合利用工程措施和农业措施进行暗管排水、种稻洗盐以改良土壤。暗管排水间距采用 10 m、15 m、20 m 3 个水平,埋深有 0.6 m、0.9 m、1.2 m 3 个水平,农业配套措施采用秸秆改良、菌糠改良 2 个水平,共 18 个试验处理。试验于 2010 年进行,试验处理及评价指标值见表 3,其中,经济指标根据不同处理单位面积成本、实际产量及增产趋势进行折算;其他指标为 2012 年平均观测值。

利用上述评价模型,对不同试验处理方案的 18 块样地进行等级水平评价。将最佳投影方向 a 代入式(3)后即可得到样本归一化后的投影值 z_i ,然后将投影值代入式(9),计算得到综合效应评价等级计算值,再判断样本与标准等级之间的距离,从而判定样本的归属集,见表 4。

从表 4 中看出,处理 8 属 1 级,10、11、14、17 属 2 级,处理 4、7、9、12、13、15、16、18 属 3 级,处理 1、2、5、6 属 4 级,处理 3 属 5 级。结果表明处理 8 等级评价最优,即暗管间距 15 m、暗管埋深 0.9 m、秸秆改良剂试验方案结果最优。处理 8 稍优于处理 11,2 种处理暗管布设相同,菌糠改良剂对有机质的改良程度优于秸秆改良剂,但施用秸秆改良剂经济效益指数高,综合效应评价结果秸秆改良剂更优,本文模型评价结果合理。

表 3 不同试验处理及评价指标值

处 理	间距/ m	埋深/ m	改良 剂	x_1	x_2	x_3 / %	x_4 / %	x_5	x_6 / (g·L ⁻¹)	x_7 / (mg·L ⁻¹)
1	10	0.6	秸秆	1.35	1.42	0.48	1.85	8.83	7.76	33.12
2	15	0.6	秸秆	1.34	1.57	0.57	2.26	8.93	13.62	31.01
3	20	0.6	秸秆	1.27	1.29	0.77	0.84	9.56	18.26	46.31
4	10	0.6	菌糠	1.23	1.31	0.39	2.33	8.72	7.21	28.65
5	15	0.6	菌糠	1.33	1.43	0.45	1.87	8.86	11.16	32.56
6	20	0.6	菌糠	1.19	1.37	0.64	1.67	9.32	13.25	35.12
7	10	0.9	秸秆	1.19	1.26	0.34	6.12	8.60	6.15	23.45
8	15	0.9	秸秆	1.64	1.76	0.06	6.56	7.23	3.26	8.62
9	20	0.9	秸秆	1.21	1.31	0.38	3.22	8.96	10.11	12.21
10	10	0.9	菌糠	1.18	1.22	0.14	4.92	7.76	4.32	17.26
11	15	0.9	菌糠	1.48	1.52	0.13	6.88	7.36	2.25	9.11
12	20	0.9	菌糠	1.27	1.33	0.47	3.64	8.82	11.03	26.32
13	10	1.2	秸秆	1.03	1.07	0.19	3.37	7.32	3.56	19.43
14	15	1.2	秸秆	1.26	1.65	0.12	6.02	8.02	2.26	11.12
15	20	1.2	秸秆	1.12	1.34	0.54	3.24	8.74	8.52	17.63
16	10	1.2	菌糠	0.86	0.98	0.27	3.48	8.54	3.21	15.78
17	15	1.2	菌糠	1.13	1.46	0.18	6.82	7.41	2.32	16.32
18	20	1.2	菌糠	1.15	1.23	0.47	3.74	9.23	7.86	15.96

表 4 滨海盐碱地改良综合效应评价结果

处理	投影值	模型 计算值	评价 等级	处理	投影值	模型 计算值	评价 等级
1	1.227	3.526	4	10	1.798	2.424	2
2	1.123	3.710	4	11	2.192	1.568	2
3	0.588	4.563	5	12	1.280	3.431	3
4	1.305	3.385	3	13	1.683	2.659	3
5	1.172	3.623	4	14	2.027	1.935	2
6	0.910	4.067	4	15	1.325	3.348	3
7	1.587	2.852	3	16	1.477	3.065	3
8	2.292	1.337	1	17	2.009	1.975	2
9	1.396	3.218	3	18	1.333	3.335	3

4 结 语

在滨海盐碱地暗管改碱试验研究的基础上,经过筛选和分析,提出包括经济效益、土壤质量和生态环境 3 方面共 7 个评价指标;用 PPE 模型进行滨海盐碱地暗管改碱效果综合评价,应用 PSO 算法寻求评价指标的最佳投影方向,由最优投影方向计算出评价样本所属等级,整个过程没有人为干扰。实例分析结果表明,江苏滨海盐碱地综合效应评价的最关键指标为土壤全盐量,经济效益费用比次之;处理 8 综合评价等级最优,结果合理;PSO-PPE 模型对于具有模糊性、不确定性的高维数据的滨海盐碱地改良综合效应等级评价具有较好的效果。

参考文献:

[1] 姚荣江,杨劲松,陈小兵,等. 苏北海涂围垦区耕层土壤养分分级及其模糊综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2009(4):16-20. (YAO Rongjiang, YANG Jinsong, CHEN Xiaobing, et al. Classification and fuzzy synthetic evaluation of soil nutrient at plough horizon in coastal

- region of north Jiangsu Province[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2009(4): 16-20. (in Chinese))
- [2] 李凯, 窦森, 张庆联, 等. 暗管排水技术及其在苏打盐碱土改良上的应用[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(1): 41-43. (LI Kai, DOU Sen, ZHANG Qinglian, et al. Dark tube drainage technology and its application in the soda saline soil improvement[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2012, 37(1): 41-43. (in Chinese))
- [3] 彭城山, 杨玉珍, 郑存虎, 等. 黄河三角洲暗管改碱工程技术试验与研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006.
- [4] 付强, 杨广林, 金菊良. 基于 PPC 模型的农机选型与次序关系研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(1): 101-107. (FU Qiang, YANG Guanglin, JIN Juliang. Selection of agricultural machinery types and their optimum order based on PPC model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(1): 101-107. (in Chinese))
- [5] 贺延国, 付强, 冯艳, 等. 东北半干旱抗旱灌溉区节水农业综合效益等级评价模型[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(6): 57-64. (HE Yanguo, FU Qiang, FENG Yan, et al. The grade of comprehensive benefit of water-saving agriculture in semi-arid and anti-drought irrigating region of northeast China[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(6): 57-64. (in Chinese))
- [6] 杨劲松, 姚荣江. 苏北海涂围垦区土壤质量综合评价研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 410-415. (YANG Jinsong, YAO Rongjiang. Evaluation of soil quality in reclaimed coastal regions in North Jiangsu Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(3): 410-415. (in Chinese))
- [7] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 等. 苏北海涂围垦区土壤质量模糊综合评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(6): 2019-2027. (YAO Rongjiang, YANG Jinsong, CHEN Xiaobing, et al. Fuzzy synthetic evaluation of soil quality in coastal reclamation region of north Jiangsu Province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(6): 2019-2027. (in Chinese))
- [8] 李祚泳. 投影寻踪技术及其应用进展[J]. 自然杂志, 1997, 19(4): 224-227. (LI Zuoyong. Projection pursuit technology (PPT) and its progress of application[J]. Chinese Journal of Nature, 1997, 19(4): 224-227. (in Chinese))
- [9] FU Qiang. Study on the PPE model based on RAGA to classify the county energy[J]. Journal of Systems Science and Information, 2004, 2(1): 73-82.
- [10] COELLO C C A, PULIDO G T, LECHUGA M S. Handling multiple objectives with particle swarm optimization[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2004, 8(3): 256-279.
- [11] 赵小勇, 付强, 邢贞相. 投影寻踪等级评价模型在土壤质量变化综合评价中的应用[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 164-168. (ZHAO Xiaoyong, FU Qiang, XING Zhenxiang. Application of projection pursuit grade evaluation model in comprehensive evaluation of changes in soil quality[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(1): 164-168. (in Chinese))
- [12] 陈广洲, 汪家权, 解明华. 粒子群算法在投影寻踪模型优化求解中的应用[J]. 计算机仿真, 2008, 25(8): 159-165. (CHEN Guangzhou, WANG Jiaquan, XIE Huaming. Application of particle swarm optimization for solving optimization problem of projection pursuit modeling[J]. Computer Simulation, 2008, 25(8): 159-165. (in Chinese))

(收稿日期: 2012-09-18 编辑: 骆超)

(上接第 4 页)

- [5] 林秀山. 黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书: 工程规划[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 203-205.
- [6] 张红武, 江恩惠, 白咏梅, 等. 黄河高含沙洪水模型的相似律[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994: 115-137.
- [7] 张俊华, 张红武, 江春波, 等. 黄河水库泥沙模型相似律的初步研究[J]. 水力发电学报, 2001(3): 52-58. (ZHANG Junhua, ZHANG Hongwu, JIANG Chunbo, et al. A primary study on physical model similarity for reservoir on the Yellow River [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2001(3): 52-58. (in Chinese))
- [8] 高航, 江恩惠, 张俊华, 等. 模型黄河建设理论与方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2007: 163-203.
- [9] 张俊华, 陈书奎, 李书霞, 等. 小浪底水库拦沙初期泥沙输移及河床变形研究[J]. 水利学报, 2007, 38(9): 1085-1089. (ZHANG Junhua, CHEN Shukui, LI Shuxia, et al. Sediment transport and morphological changes of Xiaolangdi Reservoir in early sediment impoundment period[J]. Journal of Hydraulic Engineer, 2007, 38(9): 1085-1089. (in Chinese))
- [10] 王光谦, 胡春宏. 泥沙研究进展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 586-599.
- [11] 蒋思奇, 王婷, 李涛, 等. 小浪底库区支流拦门沙形成及淤积形态分析[R]. 郑州: 黄河水利科学研究院, 2012: 74-75.
- [12] 张俊华, 马怀宝, 窦身堂, 等. 小浪底水库拦沙期后期运用方式优化与调控[C]//第五届黄河国际论坛论文摘要集. 郑州: 黄河水利出版社, 2012: 143-144.

(收稿日期: 2012-06-06 编辑: 熊水斌)