

文章编号: 1000-5471(2007)01-0052-05

灰色关联度法在稻田土壤质量评价中的应用

——以四川省犍为县为例^①

王兆林¹, 杨庆媛¹, 湛果¹, 马爱军¹, 沈清华²

1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 犍为县土肥站, 四川 乐山 614400

摘要: 在对四川省犍为县丘陵、平坝区域稻田土壤养分调查分析的基础上, 采用乐山市土壤肥料测试中心 2004 年末对犍为县土肥站取样检验结果, 选择有机质、全氮、速效氮、有效磷、速效钾、pH 值、耕作层厚度、水源保证、排水状况、障碍因素等项目作为评价指标, 应用灰色关联度法对有代表性的稻田土壤质量进行综合评价, 结果表明: 全县稻田土壤质量以Ⅲ、Ⅳ等居多, 土壤质量较好的Ⅰ、Ⅱ等及较差的Ⅴ、Ⅵ等相对较少。

关键词: 稻田土壤质量; 灰色关联度; 综合评价; 丘陵、平坝区域; 犍为县

中图分类号: S152

文献标识码: A

1983 年联合国粮农组织(FAO)指出, 粮食安全的目标为“确保所有人在任何时候既能买得到又能买得起所需的基本粮食”^[1], 可见, 粮食安全的关键是要确保生产与供应足够的粮食. 粮食的生产能力主要由两方面的因素决定, 一方面是耕地数量, 另一方面是耕地质量, 后者主要由耕地土壤质量决定. 因此, 开展稻田土壤养分调查研究, 摸清土壤肥力状况, 进行土壤质量评价是确保一个地区粮食安全的一项重要的基础性工作. 鉴于影响稻田土壤质量的因素众多, 在对其评价上具有一定模糊性, 准确描述稻田土壤质量有一定难度, 为此笔者应用灰色系统理论中的关联度分析方法, 对四川省犍为县代表丘陵、平坝区域 16 个乡镇的稻田土壤质量进行评价研究, 旨在揭示该县稻田土壤总体质量, 从而为确保该县粮食安全提供科学依据.

1 灰色关联度基本原理及指标体系建设

1.1 基本原理

灰色系统理论(Grey System Theory)最早由华中理工大学邓聚龙教授提出^[2]. 灰色系统的关联分析是系统态势的量化比较分析, 灰色关联度的原理是: 若干个统计数列所构成的各条曲线几何形状越接近, 即越相平行, 则它们的变化趋势越接近, 其关联度就越大. 关联序反映各评价对象对理想对象(参考对象)的接近次序, 即评价对象的优劣次序, 其中关联度最大的评价对象为最佳^[3]. 因此, 可利用关联序对评价对象进行排序, 以对评价对象进行比较. 灰色关联度分析方法是一套较为合理易行的评价方法, 此方法对样本量纲无特殊要求, 数学处理难度较小, 便于上机操作, 思路上比逐步回归、多元回归等方法简明, 评价结果能够反映实际状况^[4].

1.2 评价指标体系建设

1.2.1 参评因素的选择

在对犍为县稻田土壤质量评价指标的选择上, 首先借鉴和综合前人在利用此方法对土壤质量评价时所选择参评因素, 其次结合研究区域稻田土壤的状况, 既要考虑反映土壤肥力的成分因素, 也要考虑导致土种生产力下降的限制因素. 由此本文选择有机质、全氮、速效氮、有效磷、速效钾、pH 值、耕作层厚度、水

① 收稿日期: 2006-04-24

作者简介: 王兆林(1979-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事国土资源管理与区域开发研究.

通讯作者: 杨庆媛, 教授, 博士生导师.

源保证、排水状况、障碍因素等项目作为评价指标。

1.2.2 评价指标的归一化处理

评价指标的归一化处理即将各个评价指标的实际值转化为评价值, 使各指标数量级基本相同, 以消除不同指标值量纲及数值尺寸相差过分悬殊带来的影响, 避免造成非等“权”状况^[5-7]。将评价指标乘以或除以 10 的倍数使其数量范围在 0.1~10 之间, 对其作以下处理:

$$\begin{array}{lll} \text{土种平均产量}(x_0(k))/100 & \text{全氮}(x_2(k)) \cdot 10 & \text{速效氮}(x_3(k))/100 \\ \text{有效磷}(x_4(k))/10 & \text{速效钾}(x_5(k))/100 & \text{耕作层厚度}(x_7(k))/10 \end{array}$$

2 实例分析——犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域稻田土壤质量评价

2.1 县域自然概况

犍为县位于四川盆地西南边缘、岷江中下游、四川省乐山市东南部(29°01′02″~29°27′47″N, 103°43′35″~104°11′48″E)。犍为县属盆地湿润性亚热带气候区, 四季分明、气候温和, 年平均气温 17.46℃, 年最高气温 37.6℃, 年最低气温 -2℃; 雨量充沛, 年平均降水天数为 173 d, 年平均降雨量为 1 128.4 mm; 年平均蒸发量为 1 110.7 mm; 相对湿度较高, 年平均达 81%; 日照时数少, 年日照时数在 800~1 154 h 之间, 年均日照时数为 900 h 左右; 无霜期长, 年平均为 336.7 d; 地貌形态以丘陵为主, 兼有低山、平坝等地貌类型; 土壤类型主要为水稻土、冲积土、紫色土、黄壤土。

2.2 选取样地与参评因素原始数据

以犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域稻田土壤为主要评价对象, 采用自然地块为评价单元, 选择 8 个有代表性土种(1、红沙田. 2、冷浸烂泥田. 3、黄沙田. 4、炭坝泥田. 5、冷沙黄泥田. 6、灰泥田. 7、红粗沙田. 8、白鳝泥田.), 依据 2004 年乐山市土壤肥料测试中心在犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域取样测试结果, 对原始数据进行分析, 获取稻田土壤质量评价因素的原始数据(表 1)。

表 1 犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域土种平均产量和评价因素原始数据

Table 1 The Average Output of Land Species and Original Dataes of Evaluated Factors of 16 Villages and Towns' Foothill and Plain Regions in Qianwei County

序号	土种名称	平均产量	有机质	全氮	速效氮	有效磷	速效钾	pH 值	耕作层厚度	水源保障	排水状况	障碍因素
		/kg	%	%	/mg·kg ⁻¹	/mg·kg ⁻¹	/mg·kg ⁻¹	/cm				
		$x_0(k)$	$x_1(k)$	$x_2(k)$	$x_3(k)$	$x_4(k)$	$x_5(k)$	$x_6(k)$	$x_7(k)$	$x_8(k)$	$x_9(k)$	$x_{10}(k)$
1	红沙田	469	2.10	0.125	238	4.6	222	5.2	16.7	3.5	4.0	2.5
2	冷浸烂泥田	462	2.52	0.148	114	4.9	155	5.3	21.0	4.0	1.0	1.0
3	黄沙田	440	1.89	0.104	249	4.0	226	5.3	14.5	2.8	4.0	2.5
4	炭坝泥田	330	6.37	0.181	136	10.3	100	5.5	18.0	4.0	2.0	3.0
5	冷沙黄泥田	414	6.49	0.197	155	19.8	132	8.0	17.0	4.0	3.0	2.5
6	灰泥田	350	7.21	0.244	202	5.7	237	7.8	22.0	3.0	3.0	4.0
7	红粗沙田	392	1.39	0.106	167	41.7	226	5.3	11.0	3.5	4.0	3.0
8	白鳝泥田	445	2.67	0.139	187	4.3	119	5.1	15.0	4.0	1.0	3.5

2.3 参评因素等级划分

在样地选取与对参评因素原始数据分析的基础上, 结合犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域稻田土壤的实际状况, 将 10 个参评因素划分为 4 个等级^[4](表 2)。

表 2 犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域参评因素及其等级划分^[4]

Table 2 The Evaluated Factors and Their Divisiory Ranks of 16 Villages and Towns' Foothill and Plain Regions in Qianwei County

等级	耕作层厚度	障碍层出现	有机质	全氮	速效氮	有效磷	速效钾	pH 值	水源保障	排水状况
	/cm	厚度/cm	%	%	/mg·kg ⁻¹	/mg·kg ⁻¹	/mg·kg ⁻¹			
I	>20	>45	>7	>0.20	>210	>20	>230	>6.0	稳定	良好
II	15~20	35~45	6~7	0.18~0.20	180~210	10~20	200~230	5.5~6.0	基本稳定	一般
III	10~15	25~35	2~6	0.13~0.18	150~180	5~10	130~200	5.3~5.5	一般	不良
IV	<10	<25	<2	<0.13	<150	<5	<130	<5.3	无保障	终年渍水

2.4 参考数列和比较数列的确定

将待评价的土种平均产量原始数据作归一化处理, 得到一个新数列作为参考数列 $\{x_i(k)\}$, 此时, $k = 1, 2, \dots, 8$, 分别表示 8 个土种; $i = 0$ 表示第一个参评因素土种平均产量, 则参考数列 $\{x_0(k)\}$ 为:

$$\{x_0(k)\} = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(8)\} = \{4.69, 4.62, 4.40, 3.30, 4.14, 3.50, 3.98, 4.45\}$$

将其他参评因素的原始数据作归一化处理, 构成 10 组新数列作为比较数列 $\{x_j(k)\}$, 令 $j = 1, 2, \dots, 10$, 分别表示有机质、全氮、速效氮、有效磷、速效钾、pH 值、耕作层厚度、水源保证、排水状况、障碍因素, 则,

$$x_1(k) = \{x_1(1), x_1(2) \dots x_1(8)\} = \{2.10, 2.52, 1.89, 6.37, 6.49, 7.21, 1.39, 2.76\}$$

$$x_2(k) = \{x_2(1), x_2(2) \dots x_2(8)\} = \{1.25, 1.48, 1.04, 1.81, 1.97, 2.44, 1.06, 1.39\}$$

$$x_3(k) = \{x_3(1), x_3(2) \dots x_3(8)\} = \{2.38, 1.14, 2.49, 1.36, 1.55, 2.02, 1.67, 1.87\}$$

$$x_4(k) = \{x_4(1), x_4(2) \dots x_4(8)\} = \{0.46, 0.49, 0.40, 1.03, 1.98, 0.57, 4.17, 0.43\}$$

$$x_5(k) = \{x_5(1), x_5(2) \dots x_5(8)\} = \{2.22, 1.55, 2.26, 1.00, 1.32, 2.37, 2.26, 1.19\}$$

$$x_6(k) = \{x_6(1), x_6(2) \dots x_6(8)\} = \{5.2, 5.3, 5.3, 5.5, 8.0, 7.8, 5.3, 5.1\}$$

$$x_7(k) = \{x_7(1), x_7(2) \dots x_7(8)\} = \{1.67, 2.10, 1.45, 1.80, 1.70, 2.20, 1.10, 1.50\}$$

$$x_8(k) = \{x_8(1), x_8(2) \dots x_8(8)\} = \{3.5, 4.0, 2.8, 4.0, 4.0, 3.0, 3.5, 4.0\}$$

$$x_9(k) = \{x_9(1), x_9(2) \dots x_9(8)\} = \{4.0, 1.0, 4.0, 2.0, 3.0, 3.0, 4.0, 1.0\}$$

$$x_{10}(k) = \{x_{10}(1), x_{10}(2) \dots x_{10}(8)\} = \{2.5, 1.0, 2.5, 3.0, 2.5, 4.0, 3.0, 3.5\}$$

2.4.1 两极差的计算

依据 $\Delta_{ij}(k) = |x_i(k) - x_j(k)|$, 计算比较数列与参考数列在第 i 点 k 项的绝对差. 在 excel 软件的支持下求得 10 组新数列 $\{\Delta_{ij}(k)\}$, 从中得到:

$$\min_j \min_k \Delta_{ij}(k) = \min_j \{1.69, 1.06, 1.48, 0.19, 1.13, 0.51, 0.14, 0.02, 1.30, 0.30\} = 0.02$$

$$\max_j \max_k \Delta_{ij}(k) = \max_j \{3.17, 3.44, 3.48, 4.23, 3.26, 4.30, 1.60, 3.62, 3.02, 3.62\} = 4.3$$

2.4.2 关联系数的计算

将两极差的计算结果代入公式即:

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\min_j \min_k \Delta_{ij}(k) + \rho \cdot \max_j \max_k \Delta_{ij}(k)}{\Delta_{ij}(k) + \rho \cdot \max_j \max_k \Delta_{ij}(k)} = \frac{0.02 + 0.5 \times 4.3}{\Delta_{ij}(k) + 0.5 \times 4.3} = \frac{2.17}{\Delta_{ij}(k) + 2.15}$$

式中, $\Delta_{ij}(k) = |x_i(k) - x_j(k)|$, 为 $\{x_i(k)\}$ 与 $\{x_j(k)\}$ 在 i 点 k 项的绝对差. 在以上关系式中 $\min_j \min_k \Delta_{ij}(k)$ 为两极最小差, $\max_j \max_k \Delta_{ij}(k)$ 为两极最大差, ρ 为分辨系数, 其值在 $0 \sim 1$ 之间, 本文取 $0.5^{[3]}$.

将 10 组新数列 $\{\Delta_{ij}(k)\}$ 代入上式, 同样在 excel 软件支持下得到另外 10 组新数列 $\{\xi_{ij}(k)\}$, 此组新数列为所求关联系数 $\{\xi_{ij}(k)\}$ 数列繁琐, 在此省略.

2.4.3 关联度的计算

由以上关联系数 $\{\xi_{ij}(k)\}$ 计算结果代入以下公式即:

$$r_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{ij}(k) = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \xi_{ij}(k)$$

式中, r_{ij} 为关联度, $\{\xi_{ij}(k)\}$ 为关联系数.

求得参评因素 $\{x_j(k)\}$ ($j = 1, 2, \dots, 10, k = 1, 2, \dots, 8$), 土种平均产量 $\{x_i(k)\}$, $i = 0$ 的关联度:

$$r_1 = 0.3725 \text{ (有机质与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_2 = 0.3811 \text{ (全氮与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_3 = 0.3938 \text{ (速效氮与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_4 = 0.3739 \text{ (有效磷与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_5 = 0.3939 \text{ (速效钾土种平均产量的关联度)}$$

$$r_6 = 0.4891 \text{ (pH 值与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_7 = 0.6199 \text{ (耕作层厚度与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_8 = 0.5486 \text{ (水源保障与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_9 = 0.3863 \text{ (排水状况与土种平均产量的关联度)}$$

$$r_{10} = 0.5082 (\text{障碍因素与土种平均产量的关联度})$$

其相应的关联顺序为:

$$r_7 > r_8 > r_{10} > r_6 > r_5 > r_3 > r_9 > r_2 > r_4 > r_1$$

上式表明这 10 种参评因素对土种平均产量的影响程度从大到小依次为: 耕作层厚度、水源保障、pH 值、速效钾、速效氮、排水状况、全氮、有效磷、有机质。

2.5 参评因素权重的计算

依据以下公式在关联度计算的基础上, 计算犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域稻田土壤质量参评因素权重 W_{ij} (表 3)。

$$W_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{ij=1}^n r_{ij}} \times 100$$

式中, r_{ij} 为关联度, W_{ij} 为各项评价因素的权重。

表 3 犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域稻田参评因素权重

Table 3 The Indexes' Proportion of Evaluated Factors of Paddyfield of 16 Villages and Towns in Qianwei County

因素	耕作层厚度 $x_7(k)$	水源保障 $x_8(k)$	障碍因素 $x_{10}(k)$	pH 值 $x_6(k)$	速效钾 $x_5(k)$	速效氮 $x_3(k)$	排水状况 $x_9(k)$	全氮 $x_2(k)$	有效磷 $x_4(k)$	有机质 $x_1(k)$
关联度	0.619 9	0.584 6	0.508 1	0.489 1	0.393 9	0.393 8	0.386 3	0.381 1	0.373 9	0.372 5
权重(%)	13.9	12.3	11.4	10.9	8.8	8.8	8.7	8.5	8.4	8.3

2.6 土壤等级的评定

将犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域稻田土壤质量 10 个参评因素分为 I、II、III、IV 等(表 2), 赋予其相应的级位分数分别为 4, 3, 2, 1. 将参评因素的权重值 W_{ij} 与参评因素的级位分值相乘得到该参评因素的评价分值, 然后将 10 个参评因素的分值累加得到该级别稻田土壤质量总分值. 采用等距法求出每等地的土壤质量总分值范围, 各等级对应土壤质量总分值范围^[4](表 4):

表 4 土地等级与相应的土壤质量总分值范围

Table 4 The Land Ranks and Their Relevant Points' Range of Soil Quality

土地等级	总分值范围	土地等级	总分值范围	土地等级	总分值范围
I	400~350	III	299~250	V	199~150
II	349~300	IV	249~200	VI	149~100

依据上述步骤和指标, 对犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域的稻田中 8 个有代表性的土种的土壤质量进行评定结果见表 5。

表 5 犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域稻田土壤质量评价结果

Table 5 The Evaluated Results of Paddyfield Soil Quality of 16 Villages and Towns' Foothill and Plain Regions in Qianwei County

土种 序号	耕作层厚度		水源保障		障碍因素		pH 值		速效钾		速效氮		排水状况		全氮		有效磷		有机质		总分值	土壤 质量等
	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值	级位 分值	分值		
1	3	42	4	43	3	29	1	11	3	26	4	35	4	31	1	9	1	8	2	17	250	III
2	4	56	4	49	1	11	2	22	2	18	1	9	4	35	2	17	1	8	2	17	241	IV
3	2	28	3	34	3	29	2	22	3	26	4	35	3	24	1	9	1	8	1	8	223	IV
4	3	42	4	49	3	34	3	33	1	9	1	9	4	35	3	26	3	25	3	25	286	III
5	3	42	4	49	3	29	4	44	2	18	2	18	4	35	3	26	3	25	3	25	309	II
6	4	56	3	37	4	46	4	44	4	26	3	26	3	26	4	34	2	17	4	33	353	I
7	2	28	4	43	3	34	2	22	3	18	2	18	4	31	1	9	4	34	1	8	252	III
8	2	28	4	49	4	40	1	11	1	26	3	26	4	35	2	17	1	8	2	17	240	IV

注: 分值均按四舍五入取整数。

3 结 论

犍为县 16 个乡镇丘陵、平坝区域有代表性的稻田土种取样评价表明,没有 V、VI 等质量相对较差稻田土壤,同时 I、II 等质量较高稻田土壤也相对较少,绝大部分土壤质量在 III、IV 等间,评价结果显示研究区域稻田土壤质量总体处于中等及偏下水平,这为犍为县发展农业综合生产能力,划定基本农田保护区提供了科学依据,同时在评价过程中发现与土种平均产量关联度较大的参评因素,通过增加投入等方式改变关联度较大的参评因素的性状,进而提高中低产田的土壤质量,对确保犍为县粮食安全有重要意义。

参考文献:

- [1] 夏建国,朱钟麟,胡 萃,等. 耕地保护与粮食安全探讨——以四川省为例 [J]. 农业资源与环境科学, 2005, 21(3): 294.
- [2] 邓聚龙. 灰色系统理论教程 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [3] 魏云鹤,王 镇,郭晓玉. 灰色关联度模型及其在大气环境质量评价中的应用 [J]. 山东大学学报(工学版), 2004, 34(2): 123—124.
- [4] 倪绍祥. 土地类型与土地评价概论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 293—298.
- [5] 李月芬,汤 洁,李艳梅. 用主成分分析和灰色关联度分析评价草原土壤质量 [J]. 世界地质, 2004, 23(2): 169—174.
- [6] 李月芬,汤 洁,林年丰,等. 灰色关联度法在草原土壤质量评价中的应用 [J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(5): 551—556.
- [7] 单 薇,肖会敏,耿向平. 基于灰色关联度模型分析农民收入的影响因素 [J]. 河南科学, 2005, 23(2): 307—309.

Application of Grey System Theory in Evaluating Paddyfield Soil Quality

——A Case Study of Qianwei County, Sichuan Province

WANG Zhao-lin¹, YANG Qing-yuan¹,
ZHAN Guo¹, MA Ai-jun¹, SHEN Qing-hua²

1. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Soil and Fertilizer Station of Qianwei County, Leshan Sichuan 614400, China

Abstract: On the basis of the investigation and analysis of soil nutrient components in paddyfield, referring to the sampling tested results of the Soil and Fertilizer Station of 16 villages and towns' foothill and plain regions in Qianwei county, 2004 that were tested by the Soil and Fertilize Testing Center in Leshan city, 2004. Evaluated indexes involved organt matter, total N, available N, valid P, available K, pH value, tilth, the guarantee of waterhead, the drainage situation, limited factors. The Grey Correlation Theory is applied to comprehensive evaluation of representative paddyfield soil quality. The results show: more paddyfield soil quality levels of Qianwei county almost are of levels III, IV; both the better paddyfield soil quality levels of I and II and the worse paddyfield soil quality levels of V and VI are less.

Key words: the paddyfield soil quality; grey correlation analysis; comprehensive evaluation; foothill and plain region; Qianwei county