

# 应用主成分分析和聚类分析评价不同施肥处理条件下

## 新垦淡灰钙土土壤肥力质量<sup>①</sup>

陈留美<sup>1,4</sup>, 桂林国<sup>3</sup>, 吕家珑<sup>1,2\*</sup>, 王重光<sup>1</sup>, 李政中<sup>1</sup>, 王增<sup>1</sup>, 孙榕<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100; 3 宁夏农林科学院, 银川 750002; 4 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:** 通过定位试验与室内分析, 研究了新垦淡灰钙土的化学、物理、生物学性质, 并从中挑选出 10 个能反映土壤肥力质量特性的定量因子, 作为评价指标, 采用主成分分析, 对淡灰钙土开垦前以及开垦后不同施肥处理进行了综合评分, 然后用欧氏距离最短距离法对其进行了聚类。结果表明: 淡灰钙土经过开垦、灌溉、种植农作物, 土壤肥力质量提高; 开垦后不同施肥处理比较, 单施有机肥与有机肥配施化肥土壤肥力质量较高, N、P 以及与其他化学肥料配施次之, 单施 N 肥与不施肥较差。

**关键词:** 土壤肥力质量; 新垦淡灰钙土; 主成分分析; 聚类分析

**中图分类号:** S158

宁夏淡灰钙土的面积 of 77.2 万  $\text{hm}^2$ , 占我国淡灰钙土总面积的 32.9%<sup>[1]</sup>, 处于干旱荒漠地区。这一地区的光热条件好, 但由于干旱缺水, 故自引黄灌溉后才开始开垦利用, 成为宁夏农民的生活依赖之本。而土壤贫瘠使农田生产力水平处于较低的层次, 生产效益低下。以往对新垦淡灰钙土的研究多集中在探讨种植初期施肥对玉米产量和土壤养分含量的影响以及玉米丰产栽培技术<sup>[2-6]</sup>, 而对不同施肥处理下新垦淡灰钙土土壤肥力质量的变化情况研究甚少。

土壤肥力质量是反映土壤保持生物生产力、环境质量以及动植物健康能力的土壤的内在属性, 是许多物理、化学和生物学性质及其形成过程的综合体现。近年来有很多关于土壤肥力质量评价方法的论述<sup>[7-9]</sup>, 聚类分析、因子分析、主成份分析也被用于土壤肥力的综合评价<sup>[10-12]</sup>。本文选择能反映土壤肥力质量特性的定量因子<sup>[13]</sup>, 利用主成分分析和聚类分析的方法, 着重研究淡灰钙土开垦前, 以及开垦后不同施肥的土壤肥力质量变化情况, 旨在阐明淡灰钙土能否开垦以及不同施肥措施对维护土壤肥力质量的作用, 从而为淡灰钙土可持续利用提供科学的理论依据。

### 1 试验概况

#### 1.1 试验地基本信息

试验地设在宁夏红寺堡灌区的淡灰钙土上, 该地区年均降水量为 145.8 ~ 307.2 mm, 年均蒸发量为 803 ~ 950 mm, 干旱少雨、蒸发强烈、土壤贫瘠。1998 年以前为荒地, 1999 年红寺堡扬水灌区建成后开垦, 2000 年粗放种植糜子 (不施肥) 用来固定表层沙土, 2001 年开始定位试验。试验前试验地 0 ~ 20 cm 土壤的化学性质为: 有机质 4.8 g/kg, 全 N 0.31 g/kg, 全 P 0.42 g/kg, 速效 P 5.1 mg/kg, 速效 K 120 mg/kg, 有效 Zn 0.49 mg/kg, 肥力较低。

#### 1.2 试验设计

试验设 7 个处理, 分别为: ①CK (不施肥); ②N (施N肥); ③NP (施N、P肥); ④NPZn (施N、P、Zn肥); ⑤NPZnK (施N、P、Zn、K肥); ⑥NPM (施N、P肥及羊粪); ⑦M (羊粪), 每个处理重复 3 次, 采用随机区组设计, 小区面积为 4.8 m × 10.5 m, 供试作物为玉米 (西农 11 号), 一年种植一次, 各处理的大田管理相同。每公顷施肥情况为: N 264 kg (尿素 574.5 kg)、 $\text{P}_2\text{O}_5$  103.5 kg (重钙 225 kg)、 $\text{K}_2\text{O}$  54 kg (硫酸钾 108 kg)、硫酸锌 45 kg、腐熟纯羊粪 (M) 22500 kg。其中全部 P、K、M、Zn 肥作基肥, 尿素 300 kg 作基肥、274.5 kg 作追肥。Zn 肥除第一年外以后不再施用。

2005 年采集定位试验地各小区 0 ~ 20 cm 土样,

①基金项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目 (10501-138)、“973”项目 (2005CB121102) 和西北农林科技大学创新团队计划项目资助。

\* 通讯作者 (ljll@nwsuaf.edu.cn)

作者简介: 陈留美 (1981—), 女, 河南确山人, 博士研究生, 主要从事土壤地理与土壤化学方面研究。E-mail: lmchen@issas.ac.cn



表 3 主成分分析表

Table 3 Results of the principal component analysis

	主成分 1	主成分 2	主成分 3
$X_1$	0.378	-0.213	-0.090
$X_2$	0.352	-0.298	0.040
$X_3$	0.341	0.232	0.332
$X_4$	0.204	0.512	-0.391
$X_5$	0.094	0.651	0.020
$X_6$	0.370	-0.157	0.156
$X_7$	-0.379	-0.176	-0.019
$X_8$	0.160	0.053	0.733
$X_9$	0.383	0.029	-0.206
$X_{10}$	0.338	-0.259	-0.350
特征值	6.138	1.611	1.523
贡献率 (%)	61.385	16.113	15.229
累积贡献率 (%)	61.385	77.498	92.727

### 2.1.6 计算主成分得分、综合得分并排列肥力等级

主成分是原  $p$  个指标的线性组合, 各指标的权数为

表 4 各主成分得分及综合得分

Table 4 Scores and general scores of principal components of different treatments

处理	主成分 1	主成分 2	主成分 3	综合得分	等级
生荒	-5.165	-0.687	-1.303	-3.479	8
CK	-1.294	-0.559	1.909	-0.594	7
N	0.504	-0.573	1.793	0.490	5
NP	1.171	0.577	-0.485	0.738	2
NPZn	-0.534	1.934	-0.192	-0.045	6
NPZnK	0.625	1.661	0.066	0.661	3
NPM	3.156	-0.646	-1.231	1.646	1
M	1.537	-1.708	-0.555	0.584	4

## 2.2 新垦淡灰钙土土壤肥力质量的主成分分析

在第 1 主成分上, 有机质、微生物数量、阳离子交换量、微生物生物量 C、全 N 和全 P 有较大的正值, 而土壤体积质量有较大的负值。土壤有机质的含量与土壤肥力水平是密切相关的, 虽然其仅占土壤总量的很小一部分, 但在土壤肥力中起着多方面的作用却是显著的。通常在其他条件相似的情况下, 在一定含量范围内, 有机质含量的多少, 将反映土壤肥力水平的高低。土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力, 土壤微生物生物量是土壤养分的储存库和植物生长可利用养分的一个重要来源, 其在土壤肥力和植物营养中具有重要作用。阳离子交换量是衡量土壤胶体保存各种阳离子数量的一个重要指标。全 N、全 P 反映了土壤养分的总储量。土壤体积质量则

是衡量植物赖以生存的土壤环境的一个指标。因此, 第 1 主成分实质上是对土壤环境和土壤养分储量、保存及转化的量度, 可称为保肥、供肥因子。

$$Z_1 = 0.378X_1 + 0.352X_2 + 0.341X_3 + 0.204X_4 + 0.094X_5 + 0.370X_6 - 0.379X_7 + 0.160X_8 + 0.383X_9 + 0.338X_{10}$$

(1)

$$Z_2 = -0.213X_1 - 0.298X_2 + 0.232X_3 + 0.512X_4 + 0.651X_5 - 0.157X_6 - 0.176X_7 + 0.053X_8 + 0.029X_9 - 0.259X_{10}$$

(2)

$$Z_3 = -0.090X_1 + 0.040X_2 + 0.332X_3 - 0.391X_4 + 0.020X_5 + 0.156X_6 - 0.019X_7 + 0.733X_8 - 0.206X_9 - 0.350X_{10}$$

(3)

将标准化数据代人 (1) ~ (3) 式, 可得到 8 个处理分别在 3 个主成分上的得分; 再根据  $F = \sum b_j Z_j = b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \dots + b_k Z_k$  得  $F = 0.61385Z_1 + 0.16113Z_2 + 0.15229Z_3$ , 从而求得综合得分  $F$  (表 4)。

在第 2 主成分上, 速效 P、有效 Zn 有较大的正值。新垦淡灰钙土养分贫瘠, 尤其速效 P 含量低已成为限制玉米高产的主要肥力因子<sup>[3]</sup>; 有效 Zn 含量也是影响玉米产量的一个重要养分因素。因此该主成分是对土壤供给作物养分能力大小的量度。可称为养分供应强度因子。

在第 3 主成分上, 黏粒含量有较大的正值。从贡献率看第 3 主成分可反映全部信息量的 15.2%。由于新垦淡灰钙土黏粒在土壤颗粒组成中所占百分含量较小, 各施肥处理间差异又不大, 所以在评价新垦淡灰钙土肥力质量的影响上较其他因子小。

### 2.3 土壤肥力质量等级的聚类分析结果

以各处理的主成分得分(表 4)作为评价其肥力的新指标,以欧氏距离作为衡量各处理肥力差异大小,采用最短距离法对各处理进行系统聚类<sup>[17]</sup>,见图 1。

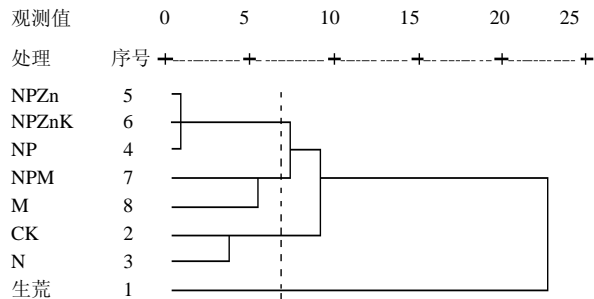


图 1 系统聚类图

Fig. 1 Sketch of hierarchical clustering

由表 4 综合得分可以看出,各处理上土壤质量排列顺序为  $NPM > NP > NPZnK > M > N > NPZn > CK > 生荒$ 。从系统聚类图来看,我们可以把 8 个处理分为 4 类:一等={NPM、M};二等={NP、NPZnK、NPZn};三等={N、CK};四等={生荒}。

相比较而言,生荒地土壤质量等级最低,由此可以得出:处于宁夏干旱荒漠地区的淡灰钙土经过开垦、灌溉、种植农作物,土壤有机质含量提高、微生物数量增加、体积质量降低,也就是说土壤在物理、化学、生物学性质方面都有所改善,土壤肥力质量提高,因此,在灌溉水有保障的情况下,淡灰钙土可以开垦。

开垦后,不同施肥处理土壤质量等级相比较来说,NPM、M 较高,NP、NPZnK、NPZn 中等,N、CK 较差,说明单施有机肥与有机肥配施化肥土壤肥力质量较高,N、P 以及与其他化学肥料配施次之,单施 N 肥与不施肥较差。这一结果表明:淡灰钙土开垦后,首先要施用一定量的化学肥料满足作物生育所需,归还作物从土壤中所带走的营养元素,尤其应注重 N 肥与 P 肥的配合施用,而当地农民施肥的大致习惯则是重 N 轻 P、忽视有机肥。另外,除了施用化学肥料外,还要配合施用有机肥,用来提高土壤有机质含量、增强微生物活性、改良土壤结构,以此培肥土壤,提高土壤质量,为淡灰钙土的可持续发展提供有力的保障。

### 3 结论

(1) 主成分分析结果显示:提取的前 3 个主成分能把土壤全部指标提供信息的 92.7% 反映出来。因

此,利用主成分分析新垦淡灰钙土肥力质量是可靠的。

(2) 在评价新垦淡灰钙土肥力质量的 10 个指标中,有机质、微生物数量、阳离子交换量、微生物生物量 C、全 N、全 P 与土壤体积质量贡献最大;速效 P、有效 Zn 次之;黏粒含量最小。

(3) 在灌溉水有保障的情况下,淡灰钙土可以开垦。但开垦后首先要施用一定量的化学肥料,尤其 N、P 肥配合施用,另外还要配合施用有机肥,这样才能为淡灰钙土的可持续利用提供有力的保障。

### 参考文献:

- [1] 王吉智. 宁夏土壤. 银川: 宁夏人民出版社, 1990
- [2] 蒋永前, 王世荣, 桂林国, 罗代雄. 扬黄灌区新垦地玉米丰产栽培技术. 作物杂志, 2003(1): 33-34
- [3] 桂林国, 赵天成, 王世荣. 新垦淡灰钙土玉米施磷效应研究. 土壤肥料, 2003 (1): 10-12
- [4] 桂林国, 丁金英. 开发红寺堡灌区面临的问题与对策. 农业环境与发展, 2002(2): 25-26
- [5] 金国柱, 马玉兰. 宁夏淡灰钙土的开发和利用. 干旱区研究, 2000, 17(3): 59-63
- [6] 桂林国, 罗代雄, 张学军. 宁夏盐环定灌区新垦淡灰钙土玉米施肥效果初报. 甘肃农业科技, 1999 (6): 35-37
- [7] 张华, 张甘霖. 土壤质量指标和评价方法. 土壤, 2001, 33 (6): 326-330
- [8] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究. 土壤, 2004, 36 (1): 104-106
- [9] 张贞, 魏朝富, 高明, 邵景安, 秦建成. 土壤质量评价方法进展. 土壤通报, 2006, 37(5): 999-1006
- [10] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 1999, 25(4): 378-382
- [11] 曹承绵, 严长生, 张志明. 关于土壤肥力数值化综合评价的探讨. 土壤通报, 1983(4): 13-15
- [12] 陈加兵, 曾从盛. 主成分分析、聚类分析在土地评价中的应用——以福建沙县夏茂镇水稻土为主要评价对象. 土壤, 2001, 33(5): 243-246
- [13] 孙波, 赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法. 地理科学进展, 1999, 18(2): 118-128
- [14] 张润楚. 多元统计分析. 北京: 科学出版社, 2006: 165-183
- [15] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析. 北京: 科学出版社, 2002: 188-200
- [16] 朱建平. 应用多元统计分析. 北京: 科学出版社, 2006: 93-100
- [17] 方开泰. 实用多元统计分析. 上海: 华东师范大学出版社, 1989: 215-223

## Evaluation on Soil Fertility Quality of Newly Cultivated Light Sierozem Under Different Fertilization with Methods of Principal Component and Cluster Analyses

CHEN Liu-mei<sup>1,4</sup>, GUI Lin-guo<sup>3</sup>, LV Jia-long<sup>1,2</sup>, WANG Chong-guang<sup>1</sup>, LI Zheng-zhong<sup>1</sup>, WANG Zeng<sup>1</sup>, SUN Rong<sup>1</sup>

(1 *College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;*

2 *The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China;*

3 *Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China;*

4 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)*

**Abstract:** This paper studied the chemical, physical and biological properties of newly cultivated light sierozem by field experiment and lab analysis, 10 indexes were selected and the methods of principal component and cluster analyses were used to evaluate soil fertility quality. The results showed that soil fertility quality of sierozem improved after cultivation, irrigation and crop-planting, and the application of organic manure or combined with chemical fertilizers could improve soil fertility quality of sierozem more effectively.

**Key words:** Soil fertility quality, Newly cultivated light sierozem, Principal component analysis, Cluster analysis