

主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用^①

陈吉^{1,2,3}, 赵炳梓^{1*}, 张佳宝¹, 沈林林^{1,2}, 王芳³, 钦绳武¹

(1 封丘农业生态国家实验站, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 苏州市农产品质量与环境监测站, 江苏苏州 215011)

摘要: 以长期定位试验玉米季成熟期 6 种土壤微生物活性和 9 种土壤化学性质指标组成的土壤生物肥力性质为评价指标对不同施肥条件下的土壤质量水平进行主成分分析。结果表明, 经 18 年连续不同施肥处理后, 各土壤性质在处理间均产生显著差异, 但各土壤性质在处理间的变化趋势并不完全一致。上述 15 个土壤性质指标最终可以用两个主成分来综合表征土壤质量, 其中有机 C、全 N、碱解 N、pH 值、微生物生物量 C、微生物生物量 N、脲酶、转化酶、FDA 酶和脱氢酶活性等 10 个土壤性质在第一主成分(PC1)上有较高因子负荷; 全 P、全 K、速效 N 和速效 P 在第二主成分(PC2)上有较高的因子负荷。同时各施肥土壤质量水平在主成分 1 上的分异程度大于主成分 2。根据两个主成分的综合得分结果显示, 长期不同施肥土壤质量水平高低依次表现为 OM>1/2OM>NPK>NP>PK>NK>CK。

关键词: 长期不同施肥; 土壤质量; 主成分分析

中图分类号: S154; S158

土壤质量是土壤在一定的生态系统内支持生物生产能力、净化环境能力和促进动物、植物及人类健康能力的集中体现, 是现代土壤学研究的核心^[1-2]。早期的土壤质量评价研究大多通过简单相关性分析论述单项土壤性质与土壤质量的关系。近年来, 随着统计学方法在相关领域的应用, 越来越多研究者采用多变量分析方法, 将大量土壤性质指标集成综合指标、函数关系式或图示来评定土壤质量^[3-4]。目前主成分分析法在土壤质量评价中正得到大量的应用^[5]。一般认为主成分分析可以弱化变量间的自相关性所引起的误差, 形成互不相关主成分, 获得各主成分得分, 同时通过计算得到综合评价得分, 从而达到对土壤质量的精确评价^[6]。

中国科学院封丘农田生态系统国家实验站长期肥料定位试验的建立旨在研究站区为代表的黄潮土在不同施肥条件下的养分供应能力及其作物产量变化趋势^[7]。但目前对该地土壤性质与土壤质量之间关系的系统评价研究还鲜见报道。

因此, 本研究以位于中国科学院封丘农业生态国家实验站内的长期定位试验为研究平台, 对玉米成熟

期土壤的 9 个土壤化学性质(有机 C (TOC)、全 N (TN)、全 P (TP)、全 K (TK)、碱解 N (MN)、速效 N (AN)、速效 P (AP)、速效 K (AK) 和 pH 值)和 6 个土壤微生物活性(微生物生物量 C (MBC)、微生物生物量 N (MBN)、脲酶 (URE)、转化酶 (INV)、FDA 酶 (FDA) 和脱氢酶活性 (DHD))组成的土壤生物肥力指标进行主成分分析, 并对长期不同施肥土壤质量状况进行分类, 以期为长期施肥对土壤质量影响的进一步了解提供可靠的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于河南省封丘县的中国科学院封丘农业生态国家实验站(35°04' N, 113°10' E)。该地属半干旱半湿润的暖温带季风气候, 年均降水量 605 mm, 主要集中于 7—9 月, 年均气温为 13.9℃, 土壤为华北平原的典

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-406-4)、“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BADA4B07)和中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02和KSCX1-YW-09-05)资助。

* 通讯作者(bzhao@issas.ac.cn)

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-406-4)、“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BADA4B07)和中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02和KSCX1-YW-09-05)资助。

* 通讯作者(bzhao@issas.ac.cn)

作者简介: 陈吉(1983—), 男, 浙江宁波人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态环境方面研究。E-mail: chenji@issas.ac.cn

全 K 18.6 g/kg、速效 N 9.51 g/kg、速效 P 1.93 g/kg、

速效 K 78.8 g/kg、pH 8.65。土壤肥力呈缺 N、P 和富 K。试验包括 7 个处理, 即: ①有机肥 (OM); ②有机无机配合施肥 (1/2OM); ③施 N、P、K 肥 (NPK); ④施 N、P 肥 (NP); ⑤施 P、K 肥 (PK); ⑥施 N、K 肥 (NK); ⑦不施肥, 即对照 (CK), 每个处理 4 个重复, 共 28 个小区随机排列, 每个小区面积 47.5 m²。

——小麦和玉米每季 N 肥和 K 肥用量均为尿素 (以 N 计) 150 kg/hm², 硫酸钾 (以 K₂O 计) 150 kg/hm², 小麦和玉米 P 肥用量分别为过磷酸钙 (以 P₂O₅ 计) 75 kg/hm² 和 60 kg/hm²。有机肥由粉碎的小麦秸秆、大豆饼和棉籽饼按 100:40:45 比例混合, 经 2 个月的堆制发酵而成, 施用前先分析 N、P、K 养分含量, 以等 N 量为标准, 有机肥中的 P、K 用化肥补足到等量。其中处理②、③、④、⑥小麦和玉米季 N 肥均以基肥和追肥的形式施入土壤; 处理⑤因不施 N 肥, 小麦和玉米季只施基肥, 不施追肥; 处理①小麦和玉米季肥料都作基肥一次施入, 不施追肥。具体试验田肥料用量见表 1。基肥施入土壤时间一般在作物播种前一天, 对于玉米和小麦来讲分别在 6 月初和 10 月中旬进行, 基肥施入后翻耕土壤。追肥分别在 7 月下旬和 2 月下旬进行地表撒施, 然后灌水。

表 1 试验田肥料用量 (kg/hm²)

Table 1 Fertilization rates of experimental plots

作物	施肥时期	N 肥 (N)	P 肥 (P ₂ O ₅)	K 肥 (K ₂ O)
小麦	基肥	90	75	150
	追肥	60	0	0
玉米	基肥	60	60	150
	追肥	90	0	0

1.2 土壤样品

供试土壤为玉米成熟期土壤。2007 年度的玉米季于 6 月 4 日施用基肥, 6 月 5 日播种, 7 月 19 日进行追肥, 最后于 9 月 21 日收获。采用多点混合采样法, 于夏玉米的成熟期 (2007 年 9 月 17 日) 在每个小区

用土钻取耕作层 0~20 cm 土样, 并及时去除土壤表层的枯枝落叶及根系。采样后, 土样一部分于 4℃ 冰箱保存, 快速完成微生物生物量 C、微生物生物量 N、FDA 酶和脱氢酶活性的分析, 每次鲜样测定前均于 25℃ 条件下预培养 24 h, 用于微生物活性的恢复; 其余土样风干后实验室保存, 分别用于土壤脲酶、转化酶活性和土壤基本理化性质的测定。

1.3 测定项目与方法

土壤化学性质的测定^[8]: 土壤有机 C (TOC) 采用丘林法测定; 全 N (TN) 用半微量凯氏法测定; 全 P (TP) 采用酸溶-钼锑抗比色法测定; 全 K (TK) 采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定; 碱解 N (MN) 采用碱解扩散法测定; 速效 N (AN) 采用 Skalar SAN^{plus} Segmented 流动分析仪测定; 速效 P (AP) 采用盐酸-氟化铵法测定; 速效 K (AK) 采用乙酸铵提取法测定; 土壤 pH 采用电位计法 (水土比 2.5:1) 测定。

土壤微生物生物量 C (MBC) 和 N (MBN) 的测定采用氯仿熏蒸浸提法^[8]; 转化酶活性 (INV) 采用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定^[9]; 脲酶活性 (URE) 采用苯酚钠比色法测定^[9]; 脱氢酶活性 (DHD) 采用三苯基四唑氯化物比色法测定^[10]; 荧光素水解酶活性 (FDA) 采用改进 FDA 法^[11]测定。

1.4 数据处理

原始数据经 Excel 2003 软件整理后, 采用 SAS v8.0 软件对土壤性质进行主成分分析。

2 结果分析与讨论

2.1 长期不同施肥土壤性质的变化

从表 2 中的 9 个土壤化学性质参数在 7 个施肥处理间的变化情况可以看出, 经过 18 年不同施肥处理后, 土壤有机 C、全 N 和碱解 N 含量变化趋势一致, 基本上都是施用有机肥 (或有机无机配合施肥) > 化肥, 施肥 > 不施肥, 平衡施肥 > 不平衡施肥, pH 值变化趋势正好相反; 处理间土壤速效养分含量则表现差异较大, 一般都是含有速效养分元素的缺素处理土壤含有较高的该速效养分, 而不含有速效养分元素的缺素处理土壤含有较低的该速效养分, 甚至低于 CK 处理。其中以 NK 处理的速效 N 和速效 K 含量最高, 常年不施用 N 肥的 PK 处理土壤则含有最高的速效 P, 而 NP 处理的速效 N、P 含量均不为最高。全 P、全 K 含量在各施肥处理间的变化趋势相似, 都是 PK 处理最高, NK 处理最低, 其余处理则没有显著性差异。

从表 3 各土壤微生物活性在不同施肥处理间的变化情况来看, 其变化趋势与土壤有机 C、全 N 和碱解

N 含量相似,整体上也表现为施用有机肥(或有机无机配合施肥)>化肥,施肥>不施肥,平衡施肥>不平衡施肥的变化趋势。进一步相关性分析表明(表 4),土壤有机 C、全 N、碱解 N 含量和 pH 值均与各土壤微生物活性呈很好的相关性,其中土壤有机 C、全 N

含量均与各微生物活性呈极显著正相关,pH 值与各土壤微生物活性呈显著或极显著负相关,其他土壤性质与土壤微生物活性则没有很好的相关性。由此可见土壤性质在不同施肥处理间的变化趋势存在差异,不能

表 2 长期不同施肥对土壤化学性质的影响

Table 2 Effects of long-term different fertilization systems on soil chemistry properties

处理	TOC (g/kg)	TN (g/kg)	TP (g/kg)	TK (g/kg)	MN (mg/kg)	AN (mg/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	pH
OM	9.83 a	1.331 a	0.642 b	17.3 cd	34.81 a	14.88 b	12.38 b	141.6 c	8.01 b
1/2OM	7.65 b	1.023 b	0.636 b	17.9 b	24.30 b	12.22 bc	9.61 c	120.2 d	8.16 ab
NPK	5.15 c	0.678 c	0.619 b	17.4 bcd	20.25 bc	8.98 cd	6.70 d	125.6 d	8.13 ab
NP	4.86 c	0.708 c	0.627 b	17.5 bc	19.75 bc	12.16 bc	7.16 d	47.2 f	8.18 ab
PK	3.70 d	0.553 d	0.737 a	18.5 a	14.05 cd	6.90 d	20.19 a	275.8 b	8.26 a
NK	3.47 d	0.538 de	0.449 c	16.8 d	23.54 b	21.21 a	1.12 e	301.9 a	8.20 a
CK	2.69 e	0.517 e	0.461 c	17.7 bc	12.66 d	6.71 d	1.10 e	61.3 e	8.25 a

注:每列不同字母表示在 $p<0.05$ 水平上呈显著差异 ($n=4$),下表同。

从表 3 各土壤微生物活性在不同施肥处理间的变化情况来看,其变化趋势与土壤有机 C、全 N 和碱解 N 含量相似,整体上也表现为施用有机肥(或有机无机配合施肥)>化肥,施肥>不施肥,平衡施肥>不平衡施肥的变化趋势。进一步相关性分析表明(表 4),土壤有机 C、全 N、碱解 N 含量和 pH 值均与各土壤微生物活性呈很好的相关性,其中土壤有机 C、全 N 含量均与各微生物活性呈极显著正相关,pH 值与各土壤微生物活性呈显著或极显著负相关,其他土壤性质与土壤微生物活性则没有很好的相关性。由此可见土壤性质在不同施肥处理间的变化趋势存在差异,不能简单的通过一个或几个土壤性质指标对土壤质量进行评价,因此需要对土壤质量进行综合评价。下面就以上述 9 个土壤化学性质和 6 个土壤微生物活性组成的土壤生物肥力指标对土壤质量进行主成分分析。

表 3 长期不同施肥对土壤微生物活性的影响

Table 3 Effects of long-term fertilization systems on soil microbial activities

处理	MBC (-mg/kg)	MBN (-mg/kg)	URE (以 NH_4^+-N 计) (mg/(g·d))	INV (以葡萄糖计) (mg/(g·d))	FDA (以 FDA 计) (mg/(kg·h))	DHD (以 TPF 计) (mg/(kg·d))
OM	388.22 a	80.59 a	2.31 a	24.62 a	42.05 a	199.15 a
1/2OM	281.86 b	66.33 b	2.23 a	23.45 b	18.02 b	147.37 b
NPK	172.00 c	40.55 c	1.59 b	16.94 c	20.57 b	113.28 c
NP	149.12 cd	34.56 cd	1.42 b	14.44 d	19.59 b	112.79 c
PK	144.61 cd	25.19 d	1.07 c	11.24 e	18.26 b	104.86 c
NK	100.41 de	24.98 d	0.90 c	8.40 f	8.00 c	57.37 d
CK	76.86 e	30.07 cd	0.68 d	8.35 f	8.30 c	57.14 d

表 4 土壤性质间的相关性分析

Table 4 Pearson correlation coefficients among soil properties

	MBC	MBN	URE	INV	FDA	DHD
TOC	0.991**	0.974**	0.965**	0.964**	0.870**	0.961**
TN	0.985**	0.983**	0.929**	0.935**	0.867**	0.944**
MN	0.850**	0.823*	0.786*	0.755*	0.755*	0.763*

pH	-0.864**	-0.853**	-0.822*	-0.818*	-0.868**	-0.832*
TP	0.483	0.311	0.514	0.514	0.570	0.640
TK	-0.014	-0.084	-0.017	0.027	-0.014	0.101
AN	0.191	0.169	0.166	0.085	0.060	0.052
AP	0.437	0.239	0.364	0.367	0.522	0.552
AK	-0.138	-0.303	-0.251	-0.306	-0.161	-0.211

注: *, ** 分别表示在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上具有差异性 ($n = 7$)。

简单地通过一个或几个土壤性质指标对土壤质量进行评价, 因此需要对土壤质量进行综合评价。下面就以上述 9 个土壤化学性质和 6 个土壤微生物活性组成的土壤生物肥力指标对土壤质量进行主成分分析。

2.2 土壤质量的主成分分析

2.2.1 特征根与方差贡献率 经主成分分析得出各主成分的特征值和方差贡献率(表 5)。根据统计学原理, 当各主成分的累积方差贡献率大于 85% 时, 即可用来反映系统的变异信息, 另外特征值在某种程度上可以被用来表示各主成分影响力度大小的指标^[12]。由表 5 可知, 由上述 9 个土壤化学性质和 6 个土壤微生物活性指标组成的土壤生物肥力指标所表征的土壤质量的主成分 1 和主成分 2 的累积方差贡献率达到 85.07%, 大于 85%, 且整体上没有变量丢失, 可以用来反映玉米季土壤质量系统内的变异情况。从方差贡献率和特征值来看, 各主成分评价土壤质量的影响力依次为主成分 1 (PC1) > 主成分 2 (PC2)。

表 5 主成分分析的特征根与方差贡献率

Table 5 Eigenvalues and proportions of variance

项目	特征值	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)
PC1	9.526	63.51	63.51
PC2	3.234	21.56	85.07

质量的主成分 1 和主成分 2 的累积方差贡献率达到 85.07%, 大于 85%, 且整体上没有变量丢失, 可以用来反映玉米季土壤质量系统内的变异情况。从方差贡献率和特征值来看, 各主成分评价土壤质量的影响力依次为主成分 1 (PC1) > 主成分 2 (PC2)。

2.2.2 因子负荷 一般认为因子负荷越大, 变量在相应主成分中的权重就越大^[13]。由图 1 可以看出, 有机 C、全 N、碱解 N、pH 值、微生物生物量 C、微生物生物量 N、脲酶、转化酶、FDA 酶和脱氢酶活性等 10 个土壤性质在 PC1 上有较高因子负荷; 全 P、全 K、速效 N 和速效 P 在 PC2 上有较高的因子负荷。由以上分析可知, 对玉米季的土壤质量系统来说, 绝大部分

变量(速效 K 除外)在上述两个主成分上有较高因子负荷, 表明用这两个主成分就可以反映由上述土壤生物肥力指标所表征的土壤质量水平的高低。同时选用的 6 个土壤微生物活性指标全部落在第一主成分内, 这跟以土壤微生物活性为代表的土壤生物学性质能敏感地反映土壤质量变化有关^[14]。

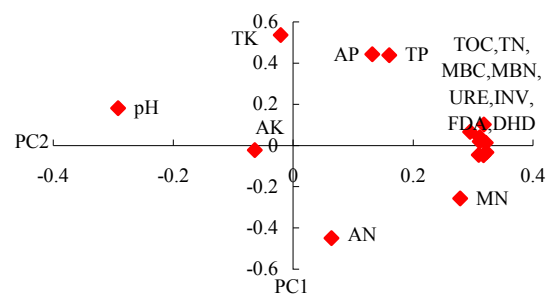


图 1 土壤性质在 PC1 和 PC2 的因子负荷分布图

Fig. 1 Correlations between soil properties and principal components in projection of components 1 and 2

2.2.3 各主成分得分和综合得分 根据分析所得的各变量在相应主成分上的因子负荷, 可分别获得各主成分的函数表达式:

$$\begin{aligned}
 PC1 = & 0.322 \times TC + 0.318 \times TN + 0.160 \times TP - 0.021 \times TK \\
 & + 0.279 \times MN + 0.0064 \times AN + 0.132 \times AP - 0.064 \times AK - 0.29 \times pH \\
 & + 0.321 \times MBC + 0.309 \times MBN + 0.311 \times URE + 0.311 \times INV \\
 & + 0.295 \times FDA + 0.318 \times DHD; \\
 PC2 = & -0.032 \times TC - 0.047 \times TN + 0.439 \times TP + 0.536 \times TK - \\
 & 0.257 \times MN - 0.449 \times AN + 0.443 \times AP - 0.023 \times AK + 0.181 \times pH \\
 & + 0.013 \times MBC - 0.046 \times MBN + 0.018 \times URE + 0.040 \times INV \\
 & + 0.066 \times FDA + 0.101 \times DHD.
 \end{aligned}$$

将各土壤生物肥力指标标准化的数据分别代入相

应的主成分函数表达式中,得到 7 种不同施肥处理土壤在各自两个主成分上的得分情况(图 2)。结果显示,在以 PC1 所代表的土壤质量水平上,各施肥土壤质量水平大小依次为 $OM > 1/2OM > NPK > NP > PK > NK > CK$;在以 PC2 所代表的土壤质量水平上,各施肥土壤质量水平大小依次为 $PK > OM = 1/2OM = NPK = NP = CK > NK$ 。同时,也表明各施肥土壤质量水平在 PC1 上的分异程度明显大于在 PC2 上的分异程度,这与 PC1 对土壤质量水平的方差贡献率较大有关。

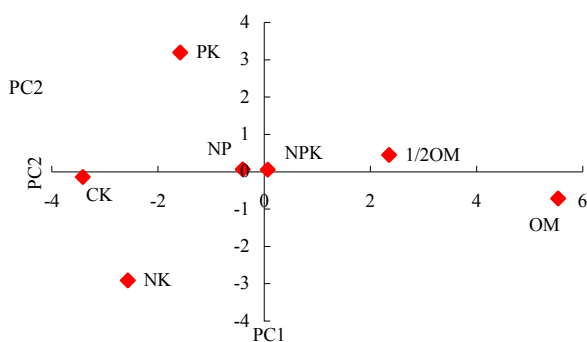


图 2 不同施肥处理土壤在 PC1 和 PC2 的得分分布图

Fig. 2 Distribution of scores from different fertilization soils on PC1 and PC2

将各土壤生物肥力指标标准化的数据分别代入相应的主成分函数表达式中,得到 7 种不同施肥处理土壤在各自两个主成分上的得分情况(图 2)。结果显示,在以 PC1 所代表的土壤质量水平上,各施肥土壤质量水平大小依次为 $OM > 1/2OM > NPK > NP > PK > NK > CK$;在以 PC2 所代表的土壤质量水平上,各施肥土壤质量水平大小依次为 $PK > OM = 1/2OM = NPK = NP = CK > NK$ 。同时,也表明各施肥土壤质量水平在 PC1 上的分异程度明显大于在 PC2 上的分异程度,这与 PC1 对土壤质量水平的方差贡献率较大有关。

根据综合主成分函数模型 $F = \sum b_j Z_j = b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \dots + b_m Z_m$ (b 为贡献率)^[15],计算出综合主成分值并进行排序(图 3),对各施肥处理土壤质量水平作出综合评价。结果显示,OM 和处理土壤的综合得分($F_{综}$)最大,1/2OM, NPK, NP, PK, NK 处理依次递减,CK 最小。

土壤质量等级可以通过主成分综合得分分区间

进行划分^[15],首先根据综合得分的最大值和最小值,选择适当的分值区间。通过对图 3 的综合得分结果按照等距 $d = (F_{综\max} - F_{综\min})/3$ 计算可以将土壤质量水平划分为 3 个质量等级。通过计算得等距 $d = 1.88$,现将土壤质量系统划分为如下 3 个质量等级:一等{ OM, 1/2OM },综合得分范围为[1.48, 3.36];二等{ NPK, NP, PK },综合得分范围为(-0.40, 1.48);三等{ NK, CK },综合得分范围为(-2.28, -0.40]。

由以上分析可知,经过 18 年连续不同施肥处理,

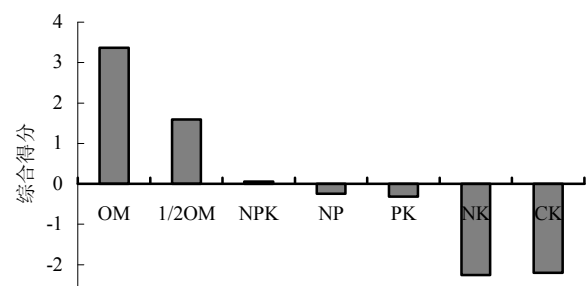


图 3 不同施肥处理土壤在 PC1 和 PC2 上的综合得分

Fig. 3 General scores of different fertilization soils on PC1 and PC2

图 3—不同施肥处理土壤在 PC1 和 PC2 上的综合得分

Fig. 3—General scores of different fertilization soils on PC1 and PC2

玉米季各施肥土壤的质量水平表现出较大差异,大小由以上分析可知,经过 18 年连续不同施肥处理,玉米季各施肥土壤的质量水平表现出较大差异,大小可依次划分为 3 个土壤质量水平,其中 OM、1/2OM 处理土壤质量水平最高, NPK、NP、PK 处理次之, NK 和 CK 处理土壤最低。表明长期施用肥料(NK 处理除外),可以提高土壤肥力水平,尤其是有机肥的长期施用对肥力的提高最为明显。另外,从综合得分情况来看,长期矿质化肥的平衡施用比缺素处理更有利于土壤质量的提高,经土壤质量水平等级的区分后,发现长期缺 K 和缺 N 处理与平衡施肥土壤质量等级均为二等,高于处于三等土壤质量水平的缺 P 处理,这可能主要跟当地土壤的富 K 以及与生物固 N 或大气沉降等作用而使缺 N 得到一定缓解等情况有关^[16],另外, P 素是微生物结构膜系统和微生物体内高能磷酸化合物的主要构成元素^[17],因此,缺 P 处理往往不利于土壤质量的建成。

3 小结

经过 18 年连续不同施肥处理后,各土壤性质在处理间均产生显著差异,但各土壤性质在处理间的变化趋势并不完全一致。由 9 个土壤化学性质和 6 个土壤微生物活性指标组成的土壤生物肥力指标的主成分分析结果来看,15 个土壤性质指标最终可以用两个主成分来综合表征。各土壤性质在各主成分上的分异情况各异,其中有机 C、全 N、碱解 N、pH 值、微生物生物量 C、微生物生物量 N、脲酶、转化酶、FDA 酶和脱氢酶活性等 10 个土壤性质在第一主成分(PC1)上有较高因子负荷;全 P、全 K、速效 N 和速效 P 在第二主成分(PC2)上有较高的因子负荷。经各主成分得分,表明各施肥土壤质量水平在主成分 1 上的分异程度大于主成分 2。进一步综合得分显示长期 OM 处理土壤质量水平最高,1/2OM、NPK、NP、PK、NK 处理次之,CK 处理最低。因此,长期施用有机肥有利于土壤质量水平的提高,但我们需要重视平衡施肥,尤其是要保证一定量 P 肥的投入。

参考文献:

- [1] 曹志洪. 解译土壤质量演变规律,确保土壤资源持续利用. 世界科技研究与发展, 2001, 23(3): 28-32
- [2] 徐建民, 黄昌勇, 安曼, 陈祖亮. 磺酰脲类除草剂对土壤质量生物学指标的影响. 中国环境科学, 2000, 20(6): 491-494
- [3] Stefanic G, Eliade G, Chirmogeanu I. Researches concerning a biological index of soil fertility // Nemes MP, Kiss S, Papaconstea P. Fifth Symposium on Soil Biology. Bucharest: Roman National Society of Soil Science, 1984: 35-45
- [4] Beck T. Methods and application of soil microbial analyses at the landensanstalt fur Bodenkultur und Pflanzenbau(LBP) in Munich for the dertermination of some aspects of soil fertility // Nemes MP, Kiss S, Papaconstea P. Fifth Symposium on Soil Biology. Bucharest: Roman National Society of Soil Science, 1984: 13-20
- [5] 刘世梁, 傅伯杰, 吕一河, 陈利顶, 马克明. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响. 生态学报, 2003, 23(3): 414-420
- [6] 白奕. 多指标综合评价的主成分分析模型及原理. 陕西师范大学学报 (自然科学版), 1998, 26(2): 105-106
- [7] 钦绳武, 顾益初, 朱兆良. 潮土肥力演变与施肥作用的长期定位试验初报. 土壤学报, 1998, 38(3): 367-375
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986
- [10] Chu HY, Hosen Y, Yagi K, Okada K, Ito O. Soil microbial biomass and activities in a Japanese Andisol as affected by controlled release and application depth off urea. Biology and Fertility of Soils, 2005, 42: 89-96
- [11] Johan S, Thomas R. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. Applied and Environment Microbiology, 1982, 43(6): 1 256-1 261
- [12] 王娟, 谷雪景, 赵吉. 羊草草原土壤酶活性对土壤肥力的指示作用. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 934-938
- [13] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 孙慧敏, 和文祥. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 277-280
- [14] 孙波, 赵其国, 张桃林, 余慎. 土壤质量与持续环境III. 土壤质量评价的生物学指标. 土壤, 1997, 5: 225-234
- [15] 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. 世界地质, 2004, 23(2): 169-174
- [16] 王俊华, 尹睿, 张华勇, 林先贵, 陈瑞蕊, 钦绳武. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响. 生态环境, 2007, 16(1): 191-196
- [17] 周德庆. 微生物学教程. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2002

Application of Principal Component Analysis in Evaluation of Soil Quality Under Different Long-Term Fertilization

CHEN Ji^{1,2,3}, ZHAO Bing-zi¹, ZHANG Jia-bao¹, SHEN Lin-lin^{1,2}, WANG Fang³, QIN Sheng-wu¹

(1 State Experimental Station of Agro-Ecosystem in Fengqiu, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 Graduate School-University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Suzhou Agrifood Testing and Environment Monitoring Station, Suzhou, Jiangsu 215011, China)

Abstract: Based on the experimental platform of Long-term Fertilization Test in the State Experimental Station for Agro-ecology in Fengqiu, Chinese Academy of Sciences, in this research the comprehensive soil quality was evaluated by the indicators of soil microbial activity and soil

chemistry properties through principal component analysis. The results indicated that soil properties significantly differed with incomplete patterns among fertilization regimes. Soil quality could be revealed by two principal components through 15 soil properties which consisted of 10 soil properties with high factorial loads in the first component (PC1) including soil organic C, total N, alkali-hydrolyzable N, pH, microbial biomass C, microbial biomass N and activities of urease, invertase, FDA and dehydrogenase, and the rest with high factorial loads in the second one (PC2) including soil total P, total K, available N and P. The variation of soil quality was higher in PC1 than in PC2. Judging from the integrated scores of the both principal components, the highest soil quality displayed in OM, then followed the sequence of 1/2OM, NPK, NP, PK, NK and CK.

Key words: Long-term different fertilization, Soil quality, Principal component analysis