

主成分分析法对土壤养分与小麦产量关系的研究*

郭笃发¹ 王秋兵²

(1 山东师范大学地理系, 济南 250014; 2 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN VARIOUS NUTRIENTS IN ALBIUDIC CAMBOSOLS PROFILE AND WHEAT YIELD

Guo Dufa¹ Wang Qiubing²

(1 Geography Department, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

(2 Land and Environment College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

关键词 漂白湿润淋溶土; 小麦; 主成分分析
中图分类号 S153 文献标识码 A

漂白湿润淋溶土, 存在一障碍层次——白浆层, 是山东省的主要低产土壤之一。小麦是该土壤上种植的重要粮食作物。影响小麦生长和产量的因素数量多, 且相互关联^[1~3]。对这类问题的统计分析, 以往多使用回归分析和相关分析。这些方法往往事先指定待考察的因素, 对其他因素则进行严格控制^[3~6], 如此得到的相互关系由于舍弃了某些因素以及固定了某些指定因素的作用而存在局限性。近年来在生物科学中应用较多的主成分分析方法为探索和阐明这类问题提供了手段^[7~12]。植物生长需要养分的支持, 不同养分对植物生长的影响不同; 即使同一养分, 在不同的层次, 影响也不同。研究养分与小麦产量的关系, 通常考虑的是表层养分^[13,14], 而同时研究表层和表下层多个养分与小麦产量的关系, 少见报道。本文以小麦产量、漂白湿润淋溶土表层(0~20 cm)和表下层(20~40 cm)的土壤有机质、不同形态的氮、磷、钾养分含量的实测值为变量, 应用主成分分析方法, 转换成个数较少且彼此独立的综合指标, 研究它们与小麦产量的关系, 并用田间试验加以验证。本研究可为小麦的施肥和管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 土样采集与小麦产量测定

山东省莒南县是漂白湿润淋溶土的集中分布区, 本研究于该县官坊乡官坊村选定种植规格相近的小麦地块 9 处, 选择原则是栽培因素如品种、播种量、灌溉、施肥、前茬作物尽量一致。小麦种植的第二年(2001 年)3 月下旬, 在每一地块的中央位置, 随机选取一个地点, 在其周围大致 20 m² 的范围内, 选择 9 个样点, 分层(0~20 cm、20~40 cm)采集土样, 混合, 用四分法选取室内分析样品 1 kg。在小麦成熟时, 测定 20 m² 面积的小麦产量(若选择点恰逢空缺区, 可向周围移动)。

1.2 土壤养分

土壤有机质含量、全氮、全磷、速效氮、有效磷、速效钾, 采用常规分析方法^[15]。

1.3 主成分分析

主成分分析方法是一种以量测数据表征的多因素多变量问题的统计分析方法, 是研究相关变量共同关系的技术。根据样品和变量在主成分上的得分

* 国家自然科学基金项目(40171037)资助

作者简介: 郭笃发(1963~), 男, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向是土壤肥力和土地资源管理。E-mail: guodufa@sohu.com

收稿日期 2003-10-30; 收到修改稿日期: 2004-05-20

或权系数,提供有关数据结构的基本特征,诸如样品或变量的聚类模式、样品间、变量间、或两者之间的相互关系及相关程度等。得分相近的样品应视为同类,权系数相近的变量视为相关,对主成分贡献大的变量其影响程度也大^[16]。

1.4 验证试验

针对主成分分析的结果,设置5个处理: $N_0P_0K_0$ 、 $N_0P_{37.5}K_{22.5}$ 、 $N_{75}P_0K_{22.5}$ 、 $N_{75}P_{37.5}K_0$ 、 $N_{75}P_{37.5}K_{22.5}$ 。在上述9个地块,随机选择3个,设置3次重复,共计15个小区,每个小区面积33 m²,区组随机排列^[17]。

处理代号 $N_{75}P_{37.5}K_{22.5}$ 右下角的数字分别代表每 hm² 施 N 75 kg、P₂O₅ 37.5 kg、K₂O 22.5 kg,其余与此类似。氮肥是含氮 460 g kg⁻¹ 的尿素,磷肥为含 P₂O₅ 140 g kg⁻¹ 的钙镁磷肥,钾肥为含 K₂O 500 g kg⁻¹ 的硫酸钾。所用化肥均在犁地前撒入各小区,然后翻耕入土作底肥,保证其分布在 20 cm 的土层以内。每 hm² 播种量 187.5 kg,小麦品种为济南 13 号,10 月 6 日播种,次年 6 月 4 日收获。

2 结果与讨论

2.1 数据整理与养分分布特点

对漂白湿润淋溶土 9 个样点表层(0~20 cm)和表下层(20~40 cm)养分含量的原始数据进行统计,结果如表 1。从中可以看出,空间变异最大的是表层有效磷,其次是表下层有效磷,而表层全磷含量则相对比较均匀。利用表 1 数据进行成对资料的 *t* 检验,结果表明,表层有机质、全氮、全磷、速效氮含量极显著大于表下层,表层有效磷和速效钾含量显著大于表下层,表明漂白湿润淋溶土表下层较低的养分肥力会更强烈地限制作物生长,这已为本文后面的研究结果所证实。产生养分分异的主要原因是白浆化过程中表下层土壤粘粒和养分淋失,形成贫瘠的白浆层,不但养分含量少,而且保蓄养分的能力弱,致使上下层在养分含量上表现出明显的差异。农民长期使用有机肥、化肥也主要集中于表层,从而扩大了这一差异。

表 1 土壤各指标的均值(A)、标准差(S)及变异系数(CV)

统计参数	OM1 (g kg ⁻¹)	OM2 (g kg ⁻¹)	OM1-OM2	TN1 (g kg ⁻¹)	TN2 (g kg ⁻¹)	TN1-TN2	TP1 (g kg ⁻¹)	TP2 (g kg ⁻¹)	TP1-TP2
A	6.05	3.94	2.10	0.463	0.362	0.101	0.702	0.617	0.086
S	1.19	0.814	0.800	0.0831	0.0806	0.0553	0.117	0.134	0.075
CV	0.196	0.206	0.381	0.179	0.222	0.547	0.167	0.217	0.881
统计参数	AN1 (mg kg ⁻¹)	AN2 (mg kg ⁻¹)	AN1-AN2	AP1 (mg g ⁻¹)	AP2 (mg kg ⁻¹)	AP1-AP2	AK1 (mg kg ⁻¹)	AK2 (mg kg ⁻¹)	AK1-AK2
A	53.7	42.8	11.0	5.01	3.13	1.88	54.69	42.52	12.17
S	23.5	19.4	8.34	3.03	1.51	1.84	23.75	17.04	13.28
CV	0.438	0.454	0.759	0.604	0.481	0.982	0.434	0.401	1.09

注:表中 OM、TN、TP、AN、AP、AK 分别代表土壤有机质、全氮、全磷、速效氮、有效磷、速效钾;指标后面的数字 1、2 分别代表表层(0~20 cm)和表下层(20~40 cm)的土壤性质;OM1-OM2 表示表层与表下层有机质之差,其余同类符号与此类似。各项代号下同

2.2 小麦产量与土壤指标的相关阵

9 个土壤各指标相关阵(表 2)所揭示的各种养分之间相关性的规律,有些早已为人们所认识,如有机质、全氮、碱解氮之间呈极显著正相关,它说明土壤有机质中均含有一定比例的氮素,并且其中的一定比例可以转化为作物可以利用的速效氮;但出现了表层有机质与表下层有机质、全氮呈显著正相关的情况,其原因有待进一步研究。表层土壤有效磷、速效钾与表下层有效磷、速效钾呈

极显著正相关,说明这些土壤的成土环境相似,成土过程相同,从而导致磷、钾在土壤剖面上的迁移转化的过程和程度相近。另外,土壤全磷与土壤有效磷在该土壤上也呈极显著正相关。从单相关矩阵看出,小麦产量与表层和表下层的速效氮、速效钾呈极显著正相关,与表层和表下层有效磷、表层全磷呈显著正相关。为了进一步了解小麦产量与各土层养分之间的关系,对相关系数矩阵作主成分分析。

表 2 小麦产量与土壤指标相关阵

	产量	OM1	OM2	TN1	TN2	TP1	TP2	AN1	AN2	AP1	AP2	AK1	AK2
产量	1												
OM1	0.214 8	1											
OM2	0.274 6	0.741 8	1										
TN1	0.534 3	0.922 9	0.818 2	1									
TN2	0.384 2	0.683 9	0.842 3	0.771 8	1								
TP1	0.768 8	0.298 8	0.584 5	0.597 5	0.564 7	1							
TP2	0.559 0	0.568 0	0.879 4	0.762 6	0.828 5	0.828 3	1						
AN1	0.847 0	0.641 0	0.571 2	0.859 6	0.605 0	0.760 8	0.691 7	1					
AN2	0.938 2	0.450 9	0.561 7	0.738 5	0.598 5	0.789 3	0.717 6	0.942 5	1				
AP1	0.740 4	0.460 4	0.605 1	0.698 5	0.717 5	0.925 6	0.787 3	0.824 9	0.790 7	1			
AP2	0.699 5	0.352 0	0.636 2	0.596 9	0.825 5	0.851 0	0.870 8	0.684 6	0.756 9	0.881 3	1		
AK1	0.897 8	0.399 4	0.422 9	0.672 9	0.380 3	0.707 2	0.535 8	0.929 7	0.933 7	0.707 2	0.530 5	1	
AK2	0.847 8	0.092 4	0.043 6	0.349 6	0.123 4	0.372 2	0.178 6	0.698 1	0.799 7	0.365 9	0.320 1	0.837 7	1

注: $r_{0.05} = 0.666$, $r_{0.01} = 0.798$

2.3 小麦产量与土壤各养分的主成分分析

主成分分析虽然保证了主成分之间的正交性, 但进行旋转变换前对主成分不易命名, 为此, 本研究通过对初始因子负荷矩阵进行四次最大正交旋转变换, 使各因子的负荷量向 0~ 1 两极分化(见表 3), 以达到对主成分的命名和解释更容易、更合理之目的。由表 3 可以看出, 第一主成分对于总方差的贡献率是 67.96%, 第二主成分对总方差的贡献率为 17.20%, 两者之和达到 85.16%, 即前两个主成分能把全部土壤指标提供信息的 85.16% 反映出来。因此, 该问题利用主成分分析是科学的、可靠的。

表 3 漂白湿润淋溶土前两个主成分的负荷量

项目	主成分	
	Z_1	Z_2
小麦产量	0.602	0.762
OM1	0.589	1.824E-03
OM2	0.845	-0.177
TN1	0.786	0.218
TN2	0.888	-0.145
TP1	0.870	0.262
TP2	0.964	-3.341E-02
AN1	0.746	0.608
AN2	0.749	0.648
AP1	0.902	0.243
AP2	0.932	8.903E-02
AK1	0.571	0.784
AK2	0.212	0.943
特征值	9.514	2.408
贡献率(%)	67.96	17.20
累计贡献率(%)	67.96	85.16

第一主成分表示漂白湿润淋溶土的氮磷营养对

小麦产量促进作用的量度。表层和表下层土壤有机质、全氮、速效氮、全磷、有效磷含量对第一主成分的正向负荷量较大, 且表下层各养分的负荷量大于表层。这说明, 氮肥、磷肥不论施入表层还是表下层都能增加小麦产量, 但施入表下层会有更大的增产效果。从表 1 可以看出, 表层和表下层速效氮的平均含量分别为 53.7 mg kg^{-1} 和 42.8 mg kg^{-1} , 表层和表下层的速效磷的平均含量分别为 5.01 和 3.13 mg kg^{-1} , 表明该土表层和表下层供应氮、磷的能力都较差, 且表下层的供肥能力更弱, 印证了主成分分析的结论。

第二主成分是漂白湿润淋溶土在供应氮、磷强度大致相同的条件下, 钾素营养对小麦产量促进作用的量度。表下层速效钾的负荷量最大, 为 0.943, 而表层速效钾的负荷量仅为 0.784, 比前者小得多。这表明只有将钾肥施入表下层才能充分发挥增产作用, 施入表层效果较差。从表 1 也可以看出, 表下层速效钾含量仅为 42.52 mg kg^{-1} , 表层平均速效钾含量为 54.69 mg kg^{-1} , 表明该土的供钾能力较弱, 且表下层更弱, 表下层供钾不足将成为小麦产量提高的限制因素。

第一主成分、第二主成分与小麦产量间的相关系数分别为 0.602 和 0.762, 两个主成分对小麦产量的相关系数都较大, 且第二主成分与小麦产量的相关程度达到显著水平。说明两者对小麦产量都有影响。以小麦产量 $y(\text{kg hm}^{-2})$ 为因变量, 第一主成分 (Z_1)、第二主成分 (Z_2) 为自变量, 进行多元线性逐步回归分析, 得到二元线性回归方程如下:

$$y = 1873.6 + 543.12 Z_1 + 687.04 Z_2$$

该回归方程 $r = 0.97^{**}$, 说明该回归方程是可靠的, 因此可以用第一和第二主成分的得分对小麦产量进行预测。由该方程得知, 主成分 Z_1 和 Z_2 对小麦产量的提高都起至关重要的作用。

2.4 验证试验结果分析

氮磷钾的不同组合对小麦产量的影响见表 4, 对试验数据进行方差分析可知, 各处理间的差异达到极显著水平。但为了弄清哪几个处理间差异显著, 作了 SSR 检验, 结果见表 5。表 5 表明, 氮磷钾处理和氮磷处理的肥效显著高于氮钾处理、磷钾处理, 但前两者之间肥效相似, 后两者之间的肥效也相似, 以上各处理的肥效又都极显著地高于无肥区。这表明, 当肥料施入表层时, 在肥料氮磷钾中只有氮肥、磷肥才能提高小麦产量, 而钾肥的肥效不明显。

这证实了主成分分析所得结论, 因为第一主成分是土壤氮磷供应强度对小麦产量影响程度的量度, 表层和表下层全氮、全磷、速效氮、有效磷均有较大的负荷量; 第二主成分表明在氮、磷营养供应强度大致相同的情况下, 钾素营养对小麦产量促进作用的量度, 其中对第二主成分影响最大的是表下层的速效钾, 而表层速效钾的影响较小。这表明氮肥和磷肥施入表层或表下层都能提高小麦产量, 而将钾肥施入表层则达不到增产的目的, 只有将钾肥施入表下层才能提高小麦产量, 与本验证试验的结论是一致的。而当地农民习惯将氮磷钾施入表层, 此时只有氮肥和磷肥能发挥肥效, 钾肥达不到增产效果。因此, 需改进目前的施肥方式, 不但将肥料施入表层, 更应施入表下层。同时表明主成分分析方法用于指导小麦施肥是科学的、可行的。

表 4 氮磷钾的不同组合对小麦产量的影响

处理代号	小区小麦产量(kg hm ⁻²)		
	重复 1	重复 2	重复 3
N ₀ P ₀ K ₀	2 273.2	2 400.8	2 253.0
N ₀ P _{37.5} K _{22.5}	2 880.8	2 933.2	2 813.2
N ₇₅ P ₀ K _{22.5}	3 191.3	2 994.0	3 060.0
N ₇₅ P _{37.5} K ₀	3 406.5	3 747.8	3 170.2
N ₇₅ P _{37.5} K _{22.5}	3 450.0	3 553.5	3 682.5

表 5 各处理间产量差异的 SSR 检验

处理代号	平均产量(kg hm ⁻²)	5% 显著水平	1% 极显著水平
N ₇₅ P _{37.5} K _{22.5}	3 562.0	a	A
N ₇₅ P _{37.5} K ₀	3 441.5	a	AB
N ₇₅ P ₀ K _{22.5}	3 081.8	b	BC
N ₀ P _{37.5} K _{22.5}	2 875.8	b	C
N ₀ P ₀ K ₀	2 309.0	c	D

参考文献

- [1] 周竹青, 朱旭彤, 王维金. 影响小麦粒重的农艺性状、生理指标的主成分分析. 生物数学学报, 2002, 17(1): 92~96
- [2] 章明奎. 低丘红壤上小麦生长的变异性与土壤侵蚀关系. 水土保持学报, 1995, 9(2): 70~76
- [3] He T X, Wu D Y, He C H, *et al.* Fertilization for high yields in corn sweet potato-wheat rotation: A systematic approach to nutrient limiting factors of soils in Chongqing, China. *Pedosphere*, 2002, 12(3): 265~274
- [4] Sun K G, Wang L G. Effect of different fertilization practices on yield of a wheat-maize rotation and soil fertility. *Pedosphere*, 2002, 12(3): 283~288
- [5] Wang X J, Xu H L, Wang J H, *et al.* Effects of organic and chemical fertilizations and microbe inoculation on physiology and growth of sweet corn plants. *Pedosphere*, 2000, 10(3): 229~236
- [6] Liu D H, Labetowicz J. Influence of long-term fertilization with different fertilizers and farmyard manure on some soil chemical properties and crop yields. *Pedosphere*, 1998, 8(3): 281~288
- [7] 张晓林, 和丽忠, 陈锦玉等. 土壤-烤烟矿质营养元素相互关系的主组元分析. 土壤学报, 2001, 38(2): 193~203
- [8] 刘多森, 曾志远. 土壤和环境中的数学方法与建模. 北京: 农业出版社, 1987. 109~134

- [9] 夏建国, 李廷轩, 邓良基等. 主成分分析在耕地质量评价中的应用. 西南农业大学学报, 2000, 13(2): 51~ 55
- [10] 和文祥, 朱铭莪. 陕西土壤脲酶与土壤肥力关系研究. 土壤学报, 1997, 34(1): 43~ 52
- [11] 郭笃发. 堆腐城市生活垃圾对莴笋生长影响的主成分分析. 应用与环境生物学报, 2000, 6(6): 520~ 525
- [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, 256
- [13] 陈秀德, 王洪征, 黄孝新等. 土壤养分含量及施肥与小麦产量关系的研究. 山东农业科学, 1999, (4): 34~ 35
- [14] 赵天成, 张建明, 马云瑞. 宁夏阴湿易旱区春小麦肥力因子分析. 宁夏农林科技, 1998, (5): 7~ 10
- [15] 南京农学院. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1980. 25~ 95
- [16] 黄宁. 关于主成分分析的应用与思考. 数理统计与管理, 1999, 18(5): 44~ 52
- [17] 盖钧镒. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社, 2000. 74~ 130

《土壤学报》再获百种中国杰出学术期刊称号

根据中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)的最新统计结果, 中国科学技术信息研究所发布信息, 《土壤学报》荣获 2003 年“百种中国杰出学术期刊”称号, 这是该刊连续两年获此荣誉称号。

又据 2004 年版“中国科技期刊引证报告”, 2003 年度《土壤学报》的影响因子和总被引频次分别为 1. 154 和 1422, 在 1576 种中国科技论文统计源期刊中分别排名第 46 位和第 52 位。2003 年度《土壤》的影响因子和总被引频次分别为 0. 686 和 552, 在 1576 种中国科技论文统计源期刊中分别排名第 162 位和第 275 位。

《土壤学报》荣获江苏省双十佳期刊奖

2004 年 12 月 27 日, 在江苏省第二届期刊方阵入选期刊表彰会上, 《土壤学报》再次入选江苏省期刊方阵, 并荣获江苏省新闻出版局、江苏省科学技术厅联合授予的“江苏省双十佳期刊”称号, 其综合评分排名在入选的十佳科技类期刊中居首位。

据了解, 目前江苏省共有各类期刊 439 种, 其中社科类 181 种、科技类 258 种。进入第二届期刊方阵的期刊共 140 种(社科类 60 种, 科技类 80 种)。第二届江苏期刊方阵分三个层面, 其中第一层面为双十佳期刊(社科类、科技类各 10 种), 第二层面为优秀期刊(社科类 20 种, 科技类 30 种), 第三层面为优秀提名期刊(社科类 30 种, 科技类 40 种)。