

# 产量决定因子的多元统计分析

刘洪斌

武伟

(西南农业大学土化系 重庆北碚 630716)(西南农业大学中心室)

**摘 要** 运用多元统计方法选取产量决定因子,并评价它们的相对重要性。用主成分分析将水稻生长环境中的一系列影响产量的因子概括为四个主要因子:1)土壤有机质因子;2)土壤酸碱度因子;3)土壤粘粒因子;4)土壤全钾因子。将上述因子的得分作为自变量,水稻产量作为因变量,进行逐步回归分析,得到一个产量预测模型。方程的相关系数(R)达0.654 1,各因子对产量影响的大小顺序为:土壤粘粒因子>土壤有机质因子。土壤酸碱度因子和土壤全钾因子对水稻产量的影响未达到显著性水平。

**关键词** 水稻土 主成分分析 回归分析 产量决定因子

## Multivariate Statistical Analysis of Yield-determining Factors

*Liu Hongbin*

*Wu Wei*

*(Department of Soil Science and Agrochemistry,  
Southwest Agriculture University Chongqing 630716)*

**Abstract** The aim of this study was to develop a multivariate statistical method to identify yield-determining factors and evaluate their relative magnitudes. Main environmentally influent factors of rice yield were summarized to four main factors by Principal component analysis. Four major factors were 1) Soil organic matter, 2) Soil acidity and alkalinity, 3) Soil clay grain content and 4) Soil potassium. Taking scores of the above factors as independent variables and rice yield as dependent variable, by stepwise regression analysis, a yield predication function was derived. The coefficient of determination(R) reached 0.654 1, and the magnitude of each factor effect on yield was Soil clay > Soil agranic matter > Soil acidity and alkalinity as well as Soil potassium were not significant to yield-determining.

**Key words** hydromorphic soil principal analysis regression analysis yield-determining factors

作物的生长及其产量决定于很多环境因子。为得到最佳产量必须确定各种环境因子对作物产量产生影响的重要程度。迄今为止,还没有一种用于分析作物产量决定因子的比较完善的方法。

很多研究者,如 Rosa(1981)试图应用田间调查、土壤化学性质和物理性质等变量进行回归分析以建立产量预测方程,这些似乎可以预测作物产量,尽管其中的一些变量间常常具有较高的相关性。然而我们应该认识到这些观察变量仅仅是控制作物产量的“真正因子”的表面形成。

肥料对作物产量的影响模型。Colwill(1981)描述了应用互不相关的结果进行评价的稳定性的优点。Kosaki 和 Juo(1989)在他们的关于田间试验土壤变异性的论文中强调选取独立影响土壤变异的因子的重要性。因此,产量预测方程的获得与评价应建立在互不相关的变量的基础上。

本研究根据试验分析和田间调查所得数据,运用主成分分析和多元回归分析评价水稻产量决定因子,旨在为不同土壤环境条件下预测作物产量潜在变化提供一条有效途径。

## 1 材料和方法

### 1.1 田间调查

田间调查于1988年水稻生长季节实施,供试作物类型为杂交中稻。调查点分布在重庆市各区县由潮土、紫色土和黄壤三大土类发育而成的水稻土,共计32个点。土壤和作物生长数据收集于各个试验点。水稻移栽10星期后取土壤表层0~20cm的土样,分析土壤pH值、粘粒、CEC、全N、全P、全K、碱解N、有效P、有效K等含量。这些土壤性质均按常规方法进行测定。

### 1.2 统计分析

运用主成分分析方法分析环境数、评价变量之间的关系、选取影响水稻产量变化的因子。在一些因子被确定后,可计算每个调查点的因子得分,用这些因子得分与产量进行多元回归分析,因此得到一个产量预测模型。

模型中含有的变量数越多,计算得到的决定系数就越高。从而对每个变量都必须进行适当的考虑,因为使用显著性水平较低的变量会影响模型的精确度。因此,我们采用逐步回归分析选择达到指定显著性水平的变量,然后根据这些变量确定正确的模型。

逐步回归分析的基本思想是在所考虑的全部因素中,根据指定的入选F值,逐个对自变量进行检验,将该自变量的偏回归平方和与入选F值相比较,如果超过入选F值,表示该自变量对因变量有显著影响,因而入选回归方程,否则剔除该自变量。最后建立因变量对入选的自变量的回归方程。

所有计算结果都是通过安装在IBM PC/386计算机上的主成分分析和逐步回归分析程序计算得到的。

## 2 结果与讨论

### 2.1 可能影响产量的因子分类

表1列出了各变量原始数据的范围值、平均值和标准差。因此可利用表1来计算各变量的标准值,进而计算变量两两之间的相关系数(表2)。建立相关阵不仅是主成分分析的一个重要步骤,而且相关阵从专业上显示了变量之间的单相关系数,从而有助于深入理解各物理量间的联系和制约。

表1 原始变量的基本统计量(n=32)

变量	范围值	平均值	标准差
有机质(%)	0.88~3.08	1.71	0.54
粘粒(<0.01mm(%))	25.32~77.20	59.40	13.86
CEC(me/100g±)	8.37~30.88	16.40	4.46
pH	5.00~8.10	6.07	0.92
全N(%)	0.065~0.186	0.107	0.03
碱解N(mg/kg)	55~114	94.10	21.36
全P(%)	0.040~0.138	0.076	0.03
有效p(mg/kg)	2~18	9.41	3.70
全K(%)	1.46~4.00	2.24	0.55
有效K(mg/kg)	34~114	72.84	22.31
产量(kg/hm <sup>2</sup> )	3375.00~9754.50	6256.84	134.54

2.1.1 助成分的特征值及其贡献率 表3列出了通过助成分分析累积贡献率达100%的前8个

主成分的特征值及其贡献率。选择前4个主成分,因为它们的累积贡献率达86.91%。其余的主成分影响不显著,可以认为是误差,这些误差包括土壤变异的随机成分和在土壤取样分析各阶段中产生的各种误差。为了进一步说明每个主成分,我们介绍因子负荷量,其定义为主成分与原变量极相关系数。

表2 变量间的相关系数(n=32)

变量	有机质	粘粒	CEC	pH	全 N	碱解 N	全 P	有效 P	全 K	有效 K
有机质	1.000	0.516	0.458	0.146	0.961	0.863	0.250	0.535	0.125	0.658
粘 粒		1.000	0.465	0.037	0.638	0.357	-0.037	0.178	-0.228	0.573
CEC			1.000	0.384	0.523	0.522	0.454	0.267	0.285	0.425
pH				1.000	0.098	-0.028	0.769	0.022	0.301	0.188
全 N					1.000	0.871	0.236	0.585	0.072	0.733
碱解 N						1.000	0.239	0.708	0.038	0.655
全 P							1.000	0.340	0.378	0.186
有效 P								1.000	-0.061	0.564
全 K									1.000	-0.053
有效 K										1.000

表3 主成分的特征值与贡献率

主成分	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
PC <sub>1</sub>	4.718	47.18	47.18
PC <sub>2</sub>	2.063	20.63	67.81
PC <sub>3</sub>	1.040	10.40	78.21
PC <sub>4</sub>	0.870	8.70	86.91
PC <sub>5</sub>	0.491	4.91	91.82
PC <sub>6</sub>	0.379	3.79	95.61
PC <sub>7</sub>	0.268	2.68	98.29
PC <sub>8</sub>	0.171	1.71	100.00

2.1.2 主成分的因子负荷量与因子的分类 表4列出了前4个主成分的因子负荷量,根据各主成分中因子负荷量的大小,可以将各因子指标进行分类。

第一主成分(PC<sub>1</sub>)中,因子负荷量较大的变量是有机质、全 N、碱解 N、有效 K、有效 P、CEC 和粘粒。我们知道,土壤粘粒可与有机质形成有机-无机复合胶体,粘粒含量高时有利于有机质的保持和积累;而土壤有机质含量越高,CEC 就越大,同时土壤中的全 N、碱解 N、有效 P、有效 K 的含量都时受有机质含量的制约(表2)。因此,可以将第一主成分认为是表现“土壤有机质因子”的性质。

表4 前4个主成分的因子负荷量

主成分	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	PC <sub>4</sub>
有机质	0.954	-0.112	-0.093	-0.189
粘 粒	0.607	-0.335	0.652	-0.029
CEC	0.675	0.333	0.320	-0.203
PH	0.274	0.809	0.278	0.311
全 N	0.905	-0.182	-0.006	-0.135
碱解 N	0.885	-0.191	-0.306	-0.077
全 P	0.427	0.795	-0.091	0.303
有效 P	0.685	-0.117	0.508	0.364
全 K	0.122	0.654	-0.232	-0.648
有效 K	0.811	-0.172	0.109	0.167

第二主成分(PC<sub>2</sub>)中,因子负荷量较高的是 pH、全 P 和全 K。通常情况下,土壤酸碱度是影响固磷作用的最重要因素,不论是固磷作用的化学沉淀机制、表面反应机制或闭蓄机制,都在不同程

度上受酸碱反应的影响;同时土壤对钾的固定也受土壤酸碱度的影响。因此,此主成分可以认为是表现“土壤酸碱度因子”的特征。

第三主成分(PC<sub>3</sub>)是“土壤粘粒因子”,因为在其因子负荷量中,粘粒、有效 P 表现出较强的正向负荷。许多研究表明,土壤对磷的吸附量与粘粒含量成正相关,表明土壤粘粒的含量在一定程度上反应了土壤的供磷能力。

第四主成分(PC<sub>4</sub>)中,因子负荷量较高的是土壤全 K,因此可视为“土壤全 K 因子”。而造成土壤全 K 变异的原因,在本研究区域内主要是由于母质来源不同而造成的,这不仅决定于母岩的沉积环境及沉积物源,更决定于母质和土壤风化发育程度。不难看出,全 K 是随母质风化发育程度加深而降低的。

## 2.2 产量决定因子的评价

为进一步分析和评价产量决定因子与水稻产量的定量关系,我们计算各调查点的因子得分。将各调查点的标准因子得分和水稻产量分别作为自变量和因变量,进行逐步回归分析,得到回归方程。设该方程为:

$$Yield = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4$$

入选和剔除变量的显著性水平  $\alpha=0.05$ ,分析得到的最佳模型为:

$$Yield = 6152.34 + 349.67PC_1 + 425.40PC_3$$

复相关系数  $R=0.6451^{**}$ 。其它变量未达到上述显著性水平。

回归方程中各因子的回归系数表明了其对水稻产量的影响程度。PC<sub>3</sub>即“土壤粘粒因子”对水稻产量影响最大,其次是 PC<sub>1</sub>即“土壤有机质因子”。由于 PC<sub>2</sub>即“土壤酸碱度因子”和 PC<sub>4</sub>即“土壤全钾因子”未达到显著性水平,已将其从回归方程中剔除。

从以上分析来看,在同一地区范围内,播期相近或相同和主要栽培技术相同等环境条件下,同一栽培季节内,水稻产量主要受制于土壤理化性质的差异。事实上,土壤性质间往往存在着程度不同的相关性,致使它们提供的土壤学信息大部分发生重叠,因而必然会增加问题的复杂性。为此,本文运用主成分分析方法找出其中彼此无相关性的新的综合指标,而其中少数几个综合指标又反应了原来全部指标所提供信息的主要部分。在本试验条件下,土壤原有的理化性质信息被划分为4个综合指标:①土壤有机质因子;②土壤酸碱度因子;③土壤粘粒因子和④土壤全钾因子。既然各个被选取的因子不再相关,因此可直接用于评价它们与产量的关系,进而选取产量决定因子。结果表明,水稻产量决定因子为:土壤粘粒因子和土壤有机质因子,其对水稻产量的作用大小顺序为:土壤粘粒因子>土壤有机质因子。

本文虽然仅对一个事例进行了研究分析,然而这种分析方法也适用于那些在不同土壤条件下进行的用于分析产量决定因子的类型和作用大小以及得到各种环境条件下作物潜在产量的其它田间试验。如果在分析中假如通过在广泛的气候条件下和土壤条件下进行多点试验所得数据,则可使该方法得到进一步的完善。作者指出,如果要对田间试验进行有效的分析和评价,必须要有详尽的环境数据,例如土壤物理、化学性质;相应的土壤类型;宏观和微观的气候信息以及定量的病虫害指标等。

## 参考文献

- 1 中国土壤学会农业化学委员会.土壤农业化学常规分析方法.北京:科学出版社,1984
- 2 王学仁.地质数据的多元变量统计分析.北京:科学出版社,1982
- 3 傅明华等.上海土壤磷的吸附性及缓冲性能的研究.土壤学报,1986,23(2):113~122

- 4 刘多森. 主组元分析在分辨土壤类型及风化—成土过程上的应用(以水稻土为例). 土壤学报, 1986, 23(2): 113—122
  - 5 Colwell, J. D. Some considerations in modeling the effects of fertilizers on crop yields. J. Aust. Inst. Agri. Sci., 1979, 16(2): 172~183
  - 6 Dj la Rosa, Cardona F., and Almorza J. Crop yield predictions based on properties of soils in Sevilla, Spain. Geoderma, 1981, 25: 267~274,
  - 7 Burrough P A. Multiscale source of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. J. Soil Sci., 1983, 34: 577~597
  - 8 Norris J. M. Multivariate methods in the study of soils. Soils Fertil, 1970, 33: 313~318
  - 9 Roski T, and Juo A S R. Multivariate approach to growing soils in small fields. I. Extraction of factors causing soil variation by principal component analysis. Soil Sci. Plant Nutr, 1989, 35: 469~477
- ~~~~~

(上接第35页)

#### 参考文献

- 1 徐萌, 山仑. 无机营养对春小麦抗旱适应性的影响. 植物生态学和地植物学学报, 1991, 15(1), 79~87
- 2 薛青武, 陈培元. 土壤干旱条件下氮素营养对小麦水分状况和光合作用的影响. 植物生理学报, 1990, 16(1), 49~56
- 3 赵立新, 荆家海. 水分胁迫下施肥对冬小麦某些生理特性的影响. 西北植物学报, 1992, 12(5), 32~38
- 4 Tesha, T J et al. Effects of N fertilizer on drought resistance in coffea arabiea L., J. Agric. Sci. Camb., 1978, 90: 625~631
- 5 Morgan J A. The effects of N nutrition on the water relations and gas exchange characteristics of wheat, Plant Physiol. 1986, 80: 52~58
- 6 Turner N C. Adaption to water deficits: A Changeing perspective. Aust. J. Plant Physiol. 1986, 13: 175~190
- 7 Radin J W and L L Parker, Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. I. Dependence upon leaf structure, Plant Physiol. 1979, 65: 495~498
- 8 Radin J W L L. Parker and G Guinn, Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. V. Environmental control of abscisic acid accumulation and stomatal sensitivity to abscisic, Plant Physiol, 1982, 70: 1066~1070
- 9 Radin J W. Stomatal resposes to water stress and ABA in phosphorus deficient cotton plants, Plant Physiol, 1984, 76: 392~394
- 10 Yambao E B and J C O'Toole, Effects of nitrogen and root medium water potential on growth, nitrogen uptake and osmotic adjustment of rice, Plant Physiol, 1984, 60: 507~515
- 11 Morgen J A. Interaction of water and nitrogen supply in wheat. Plant physiol, 1984, 76: 112~117
- 12 Evans J R. Nitrogen and photosynthesis in flag leaf of wheat. Plant Physiol. 1983, 72: 297~302
- 13 许旭旦. 旱作农业中的合理施肥及其生理学基础, 干旱地区农业研究, 1985, 2: 56~71