

空间效应模型分析田间试验的方法与效果^{*}

胡希远^a, 高金锋^a, 刘建军^b

(西北农林科技大学 a 农学院, b 理学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 为了提高田间试验分析的准确性, 讨论了利用空间效应模型分析田间试验的方法, 并通过实例分析和随机模拟分析对该方法的分析效果与传统方差分析法进行了比较。结果表明, 空间效应模型数据拟合效果较传统方差分析模型好, 空间效应模型具有较高的分析效率, 在不同空间变异条件下效应误差估计和一类统计错误率控制准确; 而传统方差分析模型的效应误差估计和一类统计错误率控制的准确性随空间变异增强和变程增大而降低。因此, 建议采用空间效应模型分析田间试验数据。

[关键词] 田间试验; 空间效应模型; 试验误差分析; 模型分析

[中图分类号] O 212.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)03-0087-06

Performance of spatial effect model in analysis of field experiment

HU Xi-yuan^a, GAO Jin-feng^a, LIU Jian-jun^b

(a College of Agriculture, b College of Math and Phy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to enhance the analysis precision of yield experiment, the analysis method based on spatial effect model was discussed, and the performance of this method was studied through practical data analysis and stochastic simulation in comparison with the traditional variance analysis. The results showed that the spatial effect model fitted the data better than the variance analysis model, and had higher analysis efficiency and better validity in both standard error estimation and control of the statistical Type I error rate. With the increase of strength and range of the spatial variation, accuracy of the traditional variance analysis in both standard error estimation and control of the statistical Type I error rate would decline. Therefore, the spatial effect model used in analysis of field experiments was suggested available.

Key words: field experiment; spatial effect model; experiment error analysis; model analysis

由于地质地貌、水分、营养、pH 值、土壤结构等理化特性及可能的病虫害浸染等多种原因, 田间试验普遍存在试验条件异质性问题^[1-3]。长期以来, 针对试验条件异质性问题采用的一个重要技术为试验对象的区组化处理, 即将试验对象安排在条件相对均匀的区组内, 使得区组间可能的不均匀性误差在试验分析时能从随机误差中分离出来, 以提高试验的精准度。然而, 区组控制误差的实际效果与对试验条件特征把握的准确性和区组设置状况有关, 且区组化处理不能解决区组内可能存在的不均匀性问

题。相应于区组化设计采用的方差分析, 其统计模型以假设试验单元在区组间不相关、在区组内协方差相同为前提^[4]。这一假设只符合试验条件为区组内均匀一致、区组间不连续变化时的一种理想情况, 而实际试验条件下试验单元在区组内和区组间都可能存在连续性的空间变异^[5-7]。因此, 区组化处理配以方差分析的传统方法, 在处理试验条件异质性问题, 改进试验数据分析效果方面受到较多限制。

近年来, 基于地理统计学处理空间变异性原理发展而来的空间效应模型, 可依据试验数据空间位

^{*} [收稿日期] 2006-09-13

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30571072); DAAD-K. C. WONG 教育基金和教育部留学回国人员基金资助项目

[作者简介] 胡希远(1963-), 男, 陕西蓝田人, 副教授, 博士, 主要从事作物生产与生物统计应用研究。E-mail: xiyuanhu@yahoo.com.cn

置信息,通过空间协方差结构灵活反映试验单元(数据)的空间变异,将其变异特征与广义线性模型相结合用于试验误差的校正,有望成为处理试验条件异质性、改进试验分析效果的有效方法^[5]。同时,由于统计分析软件的发展使空间效应模型的实际应用变得简单可行。本研究基于标准统计分析软件 SAS,利用空间效应模型分析田间试验数据的方法,比较空间效应模型与方差分析法分析结果的差异状况,并通过随机模拟研究验证这两种分析法在不同田间变异时的准确性,以期为田间试验数据的合理与高效分析提供依据,促进空间效应模型的推广应用。

1 空间效应模型的原理

1.1 空间效应模型

田间试验线性模型的一般矩阵形式为^[8]:

$$y = X\beta + e, \quad (1)$$

式中: y 为试验观测值向量, β 为处理效应向量, e 为误差效应向量, X 为处理效应试验设计矩阵。对剩余效应的分布有: $e \sim N(0, V)$, 对试验观测值的期望值有: $E(y) = X\beta$ 。空间效应模型与方差分析模型的区别在于,对误差效应 e 的方差协方差 V 处理形式不同。在方差分析模型中, V 为由剩余效应方差构成的对角矩阵(区组效应固定时),或由剩余效应方差与区组效应方差构成的区组对角矩阵(区组效应随机时);在空间效应模型中, V 具有下面的形式^[8]:

$$V = I\sigma^2 + \sigma^2 F,$$

式中: σ^2 和 σ^2 分别为随机性变异方差和空间结构性变异方差; I 和 F 分别为阶数等于试验观测值个数的单位阵和方阵; $\sigma^2 F$ 为反映空间变异的空间协方差矩阵。方阵 F 中的 i 行 j 列元素为第 i 和 j 观测值所在空间位置之间欧几里德距离 d_{ij} 的函数,用 $f(d_{ij})$ 表示。不同空间变异问题可能会反映在函数 $f(d_{ij})$ 的形式不同,形成各种空间效应模型。常见的空间效应模型有指数模型、球状模型、高斯模型和线性模型等(各模型的具体形式见文献[6, 8]),所有空间变异模型 $f(d_{ij})$ 中都有一个参数 ρ , 称作变程,表示空间距离小于该值范围内的两观测值存在空间相关。这样,任一试验结果的空间变异即由 $f(d_{ij})$ 的模型形式和参数 σ^2 与 ρ 所确定。通常用 RSV (relative structured variability) = $\sigma^2 / (\sigma^2 + \sigma^2)$ 表示空间变异的相对强度。 RSV 值越大,表示空间变异越强。

1.2 处理效应估计与检验

根据广义线性模型原理,模型(1)中处理效应 β

估计的任意线性对比 $L\hat{\beta}$ 由下式计算:

$$L\hat{\beta} = L(X\hat{V}^{-1}X)^{-1}X\hat{V}^{-1}y.$$

其估计误差为:

$$\text{var}(L\hat{\beta}) = L(X\hat{V}^{-1}X)^{-1}L'.$$

式中: L 为描述固定效应线性对比的行向量; $\hat{\beta}$ 和 $\hat{V}$ 分别为 β 和 V 的估计值, $\hat{V}$ 可用极大似然法(ML)和限制性极大似然法(REML)等方法进行估计^[9-11]。处理效应线性对比的 H_0 假设 $L\beta = 0$, 由下面的统计量进行检验^[12]:

$$t = \frac{L\hat{\beta}}{\sqrt{L(X\hat{V}^{-1}X)^{-1}L}}, \sim t(v).$$

自由度 v 由 Satterthwaite 法计算,该统计量近似服从 t 分布^[13]。

1.3 空间变异特性的确定

在进行试验数据分析时,应确定试验数据是否存在一定程度空间变异及其可能的空间变异特征,即有无必要对试验数据进行空间相关模型分析,及采用什么空间变异模型 $f(d_{ij})$ 描述数据空间变异更准确。本文采用模型拟合的信息量准则来确定。一方面,信息量准则选择最佳模型具有较高的准确性^[8];另一方面,该指标在 SAS 程序中作为基本统计量在分析时由程序自动给出,便于应用。根据信息量准则的原理,某模型拟合数据时信息量准则值最小,则该模型能最佳地反映所拟合数据的变异特性;若空间效应模型的信息量准则值小于方差分析模型的,表示有必要利用空间效应模型对该数据进行分析。SAS 中可利用的 3 个常用信息量准则为 AIC (Akaike's Information criterion)、AICC (Corrected AIC) 和 BIC (Bayesian Information criterion)。

2 实例分析

为了展示应用标准统计分析软件 SAS 进行空间效应分析的程序方法,及其分析结果与传统方差分析结果的差异状况,本文分析了一个具体试验数据。该试验为包含 20 个品种(系)的小麦品种比较试验,采用完全随机区组设计,试验设计与布局如图 1 所示。为了对试验数据利用空间效应模型法进行分析,需要给出每个试验观测值所在小区的空间位置信息。在图 1 中,以小区中心点代表观测值的坐标位置,设定区组 1 中品种 6 所在小区位置为坐标原点(0, 0),根据小区面积 4 m × 3 m 可知,区组 1 中品种 14 和 3 所在位置坐标 (x, y) 分别为(0, 4)和(3, 0),依此类推,其他小区的坐标如图 1 中括号内数字所示。若以 variety 表示品种处理,以 yield 表示小区

产量, 将坐标变量 x 与 y 及其数值添加到一般方差分析所需 SAS 数据中, 则基于空间效应模型分析的 SAS 程序为:

```
Proc mixed method= REML;  
  Class variety;  
  Model yield = variety/ddfm = Satterthwaite;  
  Repeated/subject= intercept type (exp) (x y);  
  L sm eans variety/pdiff;  
Run;
```

Proc 语句中编码 method= REML 定义方差协方差参数估计方法为限制性极大似然法。Model 语句中编码 ddfm = Satterthwaite 指出自由度估计方法为 Satterthwaite。Repeated 语句中编码 subject= intercept 表示观测值间存在空间变异, 编码 type (exp) 定义空间变异模型为指数模型(exp), 编码 (x y) 定义数据空间位置坐标变量的名称。type 后括号内的编码为空间变异模型名称的缩写, 可灵活改变。若要采用球状模型、高斯模型或线性模型描述空间变异特性, 则该编码可变为 type(sph)、type(gau) 或 type(lin)。

区组 4	16	12	20	8	1	14	13	9	2	15
	(0,28)	(3,28)	(6,28)	(9,28)	(12,28)	(15,28)	(18,28)	(21,28)	(24,28)	(27,28)
Block 4	4	17	11	10	3	18	7	6	19	5
	(0,24)	(3,24)	(6,24)	(9,24)	(12,24)	(15,24)	(18,24)	(21,24)	(24,24)	(27,24)
区组 3	19	11	3	4	10	14	1	9	7	8
	(0,20)	(3,20)	(6,20)	(9,20)	(12,20)	(15,20)	(18,20)	(21,20)	(24,20)	(27,20)
Block 3	5	20	18	17	15	2	13	6	16	12
	(0,16)	(3,16)	(6,16)	(9,16)	(12,16)	(15,16)	(18,16)	(21,16)	(24,16)	(27,16)
区组 2	7	3	17	4	8	13	1	11	14	9
	(0,12)	(3,12)	(6,12)	(9,12)	(12,12)	(15,12)	(18,12)	(21,12)	(24,12)	(27,12)
Block 2	2	20	12	16	15	19	5	10	18	6
	(0,8)	(3,8)	(6,8)	(9,8)	(12,8)	(15,8)	(18,8)	(21,8)	(24,8)	(27,8)
区组 1	14	8	20	7	13	17	12	5	15	1
	(0,4)	(3,4)	(6,4)	(9,4)	(12,4)	(15,4)	(18,4)	(21,4)	(24,4)	(27,4)
Block 1	6	3	11	16	4	9	18	10	2	19
	(0,0)	(3,0)	(6,0)	(9,0)	(12,0)	(15,0)	(18,0)	(21,0)	(24,0)	(27,0)

图 1 小麦品种试验设计示意图
图中数字为小麦品种编号, 括号内数字为小区位置坐标

Fig 1 A layout of the wheat experiment

The numeral is variety No. The numeral in parentheses is coordinate of the plot

利用该程序及方差分析程序对试验结果进行分析, 得到区组设计方差分析模型和 4 种空间效应模型(指数模型、球状模型、高斯模型和线性模型) 试验数据拟合的 3 个信息量准则(AIC、AICC 和 BIC) 值如表 1 所示。由表 1 可见, 空间效应模型的 3 个信息量准则值均以明显的差值小于方差分析模型, 表明试验数据存在一定空间变异, 空间效应模型拟合效果好, 有必要对该数据利用空间效应模型进行分析。空间效应线性模型寻优时未能达到收敛, 因而信息

量准则无结果, 其他 3 个空间效应模型中, 指数模型的信息量准则值最小, 说明指数模型较其他模型能更准确地描述该试验数据空间变异的特征, 应采用空间效应指数模型对该试验数据进行进一步的分析。基于空间效应指数模型分析所估计空间变异的变程 ρ 为 8.5 m, 说明其空间相关性存在于相距平均 8.5 m 范围内, 空间变异的相对强度 RSV 为 $0.13/0.16=0.81$, 说明试验误差以空间结构性变异为主, 随机性误差相对较小。

表 1 不同模型拟合小麦品种试验数据的信息量准则值
Table 1 Information criteria value from different models

信息量准则 Information criteria	方差分析模型 ANOVA	空间效应模型 Spatial model			
		指数模型 Exponential model	球状模型 Spherical model	高斯模型 Gaussian model	线性模型 Linear model
A IC	75.2	59.4	59.6	59.8	-
A ICC	75.4	59.8	60.0	60.3	-
B IC	74.0	65.6	65.9	66.1	-

该试验共有 190 对品种两两比较, 下面仅选择间隔距离最小、中等和最大 3 对品种的分析结果, 对不同方法分析结果的差异进行比较。该试验设计中这 3 对品种分别为品种 4 与 17(平均距离 11.3 m)、品种 2 与 15(平均距离 16.4 m) 和品种 9 与 20(平均距离 21.4 m), 分别用 4-17、2-15 和 9-20 表示。表 2 为方差分析模型和空间效应指数模型对这 3 对品种的检验结果。与模型拟合结果相对应, 品种比较分析结果在方差分析模型和空间效应指数模型间出现了明显差异。品种比较 4-17 在方差分析模型法中差异未达到显著水平, 而在空间效应指数模型法中差

异达到显著水平。另外两对品种比较差异虽然在两种分析法中均未达到显著水平, 但效应差异估计值、标准误、自由度、 t 值和概率水平等在两种分析法中都表现出了较大的差异。方差分析模型法中 3 对品种比较的标准误相同, 这是一种主观假定区组内完全均匀条件下的结果, 显然不符合试验条件空间变异的特征。空间效应指数模型法中, 标准误随所比较品种的距离不同而变化, 反映了空间变异的特征。空间效应指数模型所有品种比较的标准误都小于方差分析模型的, 说明空间效应指数模型法比传统的方差分析模型法具有更高的分析效率。

表 2 方差分析模型法和空间效应指数模型法的品种效应差异估计及其标准误和 t 检验结果

Table 2 Estimate, standard errors and t -tests of 3 variety contrasts using ANOVA and spatial model

模型 Model	品种比较 Contrast	估计值 Estimate	标准误 SE	自由度 DF	t 值 t value	概率水平 Probability level
方差分析模型 ANOVA	4-17	-0.275	0.234	57.0	-1.18	0.245
	2-15	-0.150	0.234	57.0	-1.64	0.524
	9-20	-0.325	0.234	57.0	-1.39	0.170
空间效应指数模型 Exponential model	4-17	-0.359	0.174	38.9	-2.07	0.045
	2-15	-0.235	0.178	39.6	-1.32	0.195
	9-20	-0.033	0.198	51.1	-0.16	0.870

注: 4-17、2-15 和 9-20 分别为平均距离最小、中等和最大的 3 对小麦品种比较; 表中分析结果以小区产量为基础。

Note: 4-17, 2-15 and 9-20 are variety contrasts with small, middle and large distance, respectively. The analysis results are based on plot yield.

3 分析准确性模拟验证

以上研究结果表明, 空间效应模型有较好的数据拟合效果和较高的分析率, 但其分析结果的准确性(或可靠性)需要采用随机模拟的方法予以验证。

模拟数据的产生以前述试验设计及空间变异性(指数模型)为基础。为使分析结论具有一般代表性, 模拟空间变异性时采用两个不同的变程 $\rho=5\text{ m}$ 和 20 m , 每一变程考虑 5 个空间变异强度: $RSV=0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ 和 0.9 。通过蒙特卡洛随机模拟产生 10 000 个数据集进行分析, 计算品种比较误差估计在所有数据集中的平均值, 同时利用所有数据集中品种比较估计值, 计算品种比较的经验性误差^[14-15]。如果一个分析方法的品种比较误差估计平均值与经验性误差接近, 则认为该方法分析准确, 否则, 认为不准确^[16]。由于品种比较差异显著性检验

常为试验分析者最为关注。因此, 本文还将考察品种比较一类统计错误率控制的准确性。如果一个方法对品种比较检验的实际一类统计错误率与名义值(显著水平)无差异或差异很小, 则认为该方法效应比较一类统计错误率控制准确^[17]。品种比较的实际一类统计错误率为品种差异零假设为真时, 所有模拟数据集中零假设检验被拒绝的比率。所有数据模拟与分析采用 SAS 9.1 中 DATA, PROC MIXED 和 PROC ML 程序。

图 2 给出了不同空间变异(不同变程和空间变异强度)条件下, 采用方差分析模型法和空间效应模型法, 品种比较误差估计值相对于经验性误差的偏差。采用空间效应模型法时, 在各种空间变异强度和不同变程条件下, 无论是对平均距离最小的品种比较 4-17, 还是对平均距离中等和最大的品种比较 2-15 和 9-20, 品种比较误差估计的偏差均接近零, 证

明空间效应模型法效应误差估计在各种空间变异条件下的准确性(图2中虚线)。采用方差分析模型法时,只在空间变异强度很小($RSV = 0.1$)情况下,品种比较误差估计的偏差接近零,随着空间变异强度增大,误差估计偏差逐渐增大。误差估计偏离的方向与所比较品种间的距离有关。对平均距离最小和中等的品种比较4-17与2-15形成误差偏大估计(正

偏差),对平均距离最大的品种比较9-20形成误差偏小估计(负偏差)。相对于变程 $\rho = 5\text{m}$ (图2a),误差估计的偏差在变程 $\rho = 20\text{m}$ (图2b)时有增大的趋势(图2中实线)。这些结果表明,区组设计方差分析模型分析田间试验数据的准确性,随田间变异情况及所比较品种间距离不同而变化,在田间变异性增强和变程增大时准确性趋于降低。

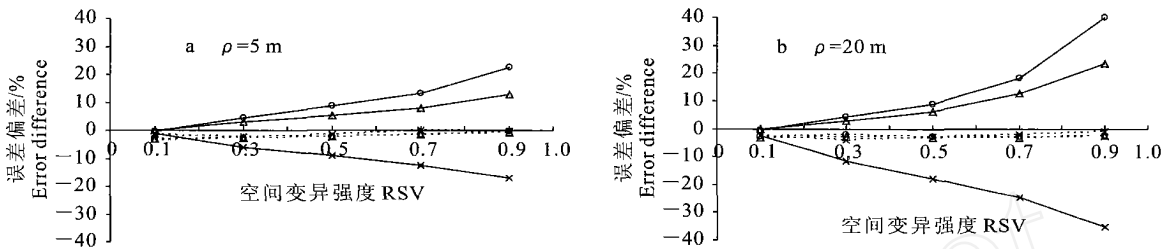


图2 不同空间变异状况下方差分析模型法(实线)和空间效应模型法(虚线)品种比较误差估计值相对于经验性误差的偏差

- ○ - . 平均距离最小的品种4-17; - □ - . 平均距离中等的品种2-15; - × - . 平均距离最大的品种9-20

Fig 2 Difference of estimated to empirical standard errors of variety contrast using ANOVA (solid line) and spatial effect model (dotted line) symbols

- ○ - . Distance small 4-17; - □ - . Distance middle 2-15; - × - . Distance large 9-20

显著水平(名义值) $\alpha = 0.05$ 时,方差分析模型法和空间效应模型法对品种比较检验的实际一类统计错误率如图3所示。在各种变程与空间变异强度条件下,不管两个品种间平均距离大小如何,空间效应模型法品种比较检验的实际一类统计错误率保持接近名义显著性水平 0.05 (图3中虚线)。而采用方差分析模型法时,在空间变异强度很小的情况下,3对品种比较检验的实际一类统计错误率均接近 0.05 ;随着空间变异强度增大,对平均距离最小的品种比较4-17和平均距离中等的品种比较2-15,实际

一类统计错误率逐渐偏向小于 0.05 ,而对平均距离最大的品种比较9-20,逐渐偏向大于 0.05 (图3中实线)。图3b较图3a变程增大,实际一类统计错误率偏差也增大,尤其在平均距离最大的品种比较9-20表现最明显。品种比较检验的实际一类统计错误率控制准确性情况与图2中误差估计结果相对应,即误差估计准确时,则实际一类统计错误率控制准确,误差偏大(小)时,则实际一类统计错误率将低(高)于名义值。

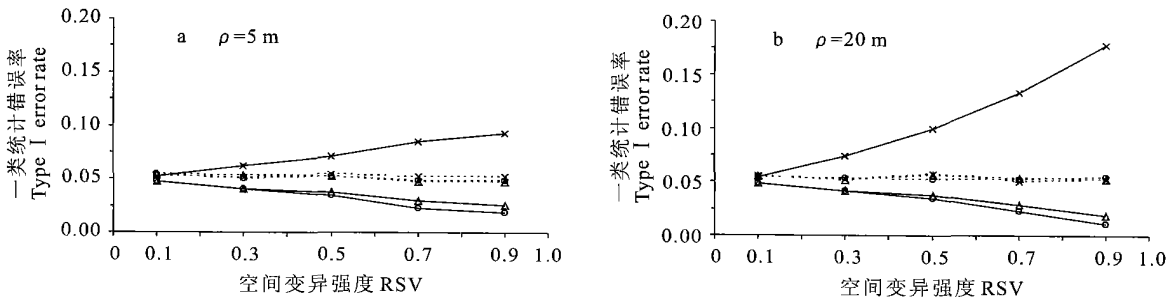


图3 不同空间变异状况下方差分析模型法(实线)和空间效应模型法(虚线)品种比较检验的实际一类统计错误率

- ○ - . 平均距离最小的品种4-17; - □ - . 平均距离中等的品种2-15; - × - . 平均距离最大的品种9-20; 名义 $\alpha = 0.05$

Fig 3 Statistical Type I error rate using ANOVA (solid line) and spatial effect model (dotted line)

- ○ - . Distance small 4-17; - □ - . Distance middle 2-15; - × - . Distance large 9-20; Nominal $\alpha = 0.05$

4 结 论

本研究通过对实际试验数据的拟合与分析,反映了田间试验较强空间变异的存在,空间效应模型法较区组设计方差分析法具有较高的分析效率。空间效应模型法误差估计和比较检验的实际一类统计错误率控制准确,且不会因空间变异增强、变程增大和试验处理距离不同而发生变化,因而分析结果准确性高而稳定。而传统的方差分析法在田间空间变异较强时,误差估计准确性降低,使平均距离大的效应比较误差估计偏小,使平均距离小的效应比较误差估计偏大;空间变异性越强和变程越大,其偏差会越大,导致效应比较检验的实际一类统计错误率控制准确性降低。在数据要求方面,相对于传统方差分析法,空间效应模型法只需增加数据的位置信息即可,并不增加试验的复杂性和试验工作量。虽然计算复杂,但已有现成的程序可供引用,使用者只需编写类似本文中所示的简单引导程序即可应用。因此,建议用空间效应模型法分析田间试验数据。

由于空间效应模型法计算复杂,在试验观测数据较少时,可能会出现空间变异参数估计无结果或参数估计异常的问题。这时,可尝试利用 SAS 提供的各种算法或对参数取值范围予以限定,以便得到有意义的空间效应参数估计。

需要指出的是,虽然空间效应模型法可不依赖随机区组设计而进行试验分析,但这并不说明实际试验不需要进行试验设计。根据 Stroup^[2]的研究,在无随机区组处理时,空间效应模型法的分析效率会降低;此外,在空间变异较强时,空间效应模型法相对方差分析法虽然可提高效率,但不能改变空间变异性增强分析效率绝对降低的趋势。因此,为提高试验分析的效率,除了要采用适宜的分析方法外,合理的试验设计及试验条件的改善等仍是不可缺少的重要措施。

[参考文献]

- [1] Zimmernan D L, Harville D A. A random field approach to the analysis of field-plot experiments and other spatial experiments[J]. *Biometrics*, 1991, 47: 223-239
- [2] Stroup W W. Power analysis based on spatial effects mixed models: a tool for comparing design and analysis strategies in the presence of spatial variability[J]. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*, 2002, 7: 491-511
- [3] Schabenberger O, Pierce F J. Contemporary statistical models for the plant and soil sciences[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2002
- [4] Kempthorne O. The design and analysis of experiments[M]. New York: John Wiley & Sons, 1952
- [5] Stroup W W, Baenziger P S, Mulitze D K. Removing spatial variation from wheat yield trials: a comparison of models[J]. *Crop Sci*, 1994, 86: 62-66
- [6] Fagroud M, Meirvenne M V. Accounting for spatial autocorrelation in the design of experimental trials[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2002, 66: 1134-1142
- [7] Grondona M O, Cressie N. Using spatial considerations in the analysis of experiments[J]. *Technometrics*, 1991, 33: 381-392
- [8] Little R C, Milliken G A, Stroup W W, et al. SAS system for mixed models[M]. Cary, NC: SAS Institute Inc, 1996
- [9] Hartley H O, Rao C R. Maximum likelihood estimation for the mixed analysis of variance model[J]. *Biometrika*, 1967, 54: 93-108
- [10] Harville D A. Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1977, 72: 320-338
- [11] 朱 军. 线性模型分析原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [12] Verbeke G, Molenberghs G. Linear mixed models in practice[M]. New York: Springer-Verlag, 1997
- [13] Mclean R A, Sanders W W, Stroup W W. A unified approach to mixed linear models[J]. *The American Statistician*, 1991, 145: 54-65
- [14] Piepho H P. Analysis of randomized block design with unequal subclass numbers[J]. *Agron J*, 1997, 89: 718-723
- [15] 胡希远. 数据非平衡性对试验分析结果的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(1): 103-107
- [16] Wu T, Dutilleul P. Validity and efficiency of neighbor analyses in comparison with classical complete and incomplete block analysis of field experiments[J]. *Agron J*, 1999, 91: 721-731
- [17] Cullis B R, Gleeson A C. Spatial analysis of field experiments - an extension of two dimensions[J]. *Biometrics*, 1991, 47: 1449-1460

[1] Zimmernan D L, Harville D A. A random field approach to the