

3 因素随机裂区试验设计及其统计分析

陈庭木, 王宝祥, 杨波, 迟铭, 李键, 宋兆强, 徐大勇*

(江苏省连云港市农业科学院/江苏省现代作物生产协同创新中心, 江苏连云港 222006)

摘要 提出一种新的 3 因素随机裂区试验设计, 给出了自由度与平方和分解方案, 以及固定模型、随机模型及 2 种混合模型的均方构成, 同时提出了随机模型误差方差计算方法。

关键词 3 因素试验; 随机裂区; 统计模型; 方差分析

中图分类号 S-3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)25-0003-03

Design and Analysis of Randomized Block and Split Plot Experiment of Three Factors
CHEN Ting-mu, WANG Bao-xiang, YANG Bo, XU Da-yong* et al (Lianyungang Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Modern Crop Production Cooperative Innovation Center, Lianyungang, Jiangsu 222006)

Abstract We designed a new design of randomized block and split plot of three factors, gave the decomposition scheme of the degree of freedom and square, as well as the mean square composition of fixed model, stochastic model and hybrid model of the two, and put forward the calculation method of stochastic model error variance.

Key words Three factors experiment; Randomized block and split plot; Statistical model; Analysis of variance

作物科学研究领域, 常用 3 因素试验设计, 一般 3 因素试验有完全随机区组试验、品种多年多点试验和再裂区试验, 至今很少有其他的 3 因素试验设计报道, 通用统计软件 SPSS\SAS\STATA 等也未提供相应分析方法^[1-3]。完全随机区组试验对于栽培研究很不适用, 不同的栽培因素如密度、水分管理、施肥方式等, 不适合小区操作, 但试验面积又不能过大。再裂区设计, 3 个因素误差精度不同, 主区试验面积最大、误差较大, 裂区试验面积较大、误差中等, 再裂区试验面积小、误差小、精度高。如 2 个栽培因素均要求较大小区, 或重要程度均较高, 则可以将这 2 个因素作完全随机组合排列, 较适宜操作且有相同试验误差, 将 2 个因素组合作为主区, 另一因素对小区面积要求不高, 或重要性高, 则将其在主区内裂区排列, 则该试验设计称为 3 因素随机裂区设计。笔者提出了一种新的 3 因素随机裂区试验设计, 给出了自由度与平方和分解方案, 以及固定模型、随机模型及 2 种混合模型的均方构成, 同时提出了随机模型误差方差计算方法, 以期生物统计提供新思路。

1 试验设计方法

设 A、B、C 3 个试验因素, 分别有 a、b、c 3 个水平, 每水平重复 r 次。A、B 共 ab 个组合, 将区组划分为 $a \times b$ 个主区, C 为副区因素, 在每个 AB 组合主区内裂区排列。该设计遵循重复、随机排列及局部控制原则。先按田间肥力梯度划分为 r 个区组, 每个区组划分为 $a \times b$ 个主区, 分别随机安排 A、B 因素的 $a \times b$ 个组合, 每个 AB 组合构成一个主区, 对每个主区再随机排入 C 因素的 c 个水平, 保证每个主区内均再随机裂区。播种期、栽插期或水分管理及 N、K 肥运筹间的主区间以田埂区隔, 密度主区间可以走道间隔, 品种、种苗处理、

药剂处理、移动性弱的 P 肥运筹适宜作副区因素, 副区间以走道间隔。

该设计是一种完全试验平衡设计, 较 3 因素随机区组试验设计, 增大了主区 2 因素的处理面积, 便于同一水平小区集中连片, 田间操作相对简易。较再裂区设计, 多了 1 个主区因素, 便于安排 2 个需要较大小区的因子, 2 个主区因素有共同的误差, 副区因素也有独立的误差估计。该试验设计较再裂区与条裂区试验设计误差成分简单。

2 线性模型

假定 X_{ijkl} 以表示条裂区试验设计的每一观察值, 其线性可加模型为

$$X_{ijkl} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ABjk} + \gamma_i + (\alpha\gamma)_{jl} + (\beta\gamma)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$
$$i = 1, 2, \dots, r; j = 1, 2, \dots, a; k = 1, 2, \dots, b; l = 1, 2, \dots, c$$

式中, $\mu, \rho_i, \alpha_j, \beta_k, (\alpha\beta)_{jk}, \varepsilon_{ABjk}, \gamma_i, (\alpha\gamma)_{jl}, (\beta\gamma)_{kl}, (\alpha\beta\gamma)_{jkl}, \varepsilon_{ijkl}$ 分别为总体平均、区组效应、A 因素效应、B 因素效应、AB 交互效应、主区误差、C 因素效应、AC 因素效应、BC 因素效应、ABC 因素效应、副区误差。2 个误差分别遵循 $N(0, \sigma_2^2)$ 、 $N(0, \sigma_1^2)$ 。

3 自由度与平方和分解

3.1 自由度分解

第一部分

$$f_A = a - 1$$
$$f_B = b - 1$$
$$f_{AB} = (a - 1)(b - 1)$$
$$f_{EAB} = (r - 1)(ab - 1)$$

第二部分

$$f_C = c - 1$$
$$f_{AC} = (a - 1)(c - 1)$$
$$f_{BC} = (b - 1)(c - 1)$$
$$f_{ABC} = (a - 1)(b - 1)(c - 1)$$
$$f_{EEC} = ab(c - 1)(r - 1)$$

基金项目 现代农业技术体系建设专项。
作者简介 陈庭木(1977—), 男, 安徽芜湖人, 副研究员, 从事水稻遗传育种与生物统计研究。* 通讯作者, 研究员, 博士, 从事水稻遗传育种研究。
鸣谢 刘文远同志提供试验数据, 谨此致谢!
收稿日期 2017-05-19

3.2 平方和分解

第一部分

$$\text{矩正数: } C = \frac{\left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c x_{ijk} \right)^2}{n}$$

$$\text{总平方和: } SS_{\text{总}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c x_{ijk}^2 - C$$

$$\text{区组平方和: } SS_R = \frac{\sum_{i=1}^r \left(\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c x_{ijk} \right)^2}{abc} - C$$

$$\text{A 因素平方和: } SS_A = \frac{\sum_{j=1}^b \left(\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c x_{ijk} \right)^2}{rbc} - C$$

$$\text{B 因素平方和: } SS_B = \frac{\sum_{k=1}^c \left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b x_{ijk} \right)^2}{rbc} - C$$

$$\text{AB 交互平方和: } SS_{AB} = \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \left(\sum_{i=1}^a x_{ijk} \right)^2}{rc} - C - SS_A - SS_B$$

$$\text{主区误差平方和: } SS_{EAB} = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \left(\sum_{l=1}^c x_{ijkl} \right)^2}{c} - C - SS_A - SS_B - SS_{AB} - SS_R$$

第二部分

$$\text{C 因素平方和: } SS_C = \frac{\sum_{l=1}^c \left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b x_{ijkl} \right)^2}{rab} - C$$

$$\text{AC 交互平方和: } SS_{AC} = \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^c \left(\sum_{i=1}^a x_{ijl} \right)^2}{rb} - C - SS_A - SS_C$$

$$\text{BC 交互平方和: } SS_{BC} = \frac{\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^c \left(\sum_{i=1}^a x_{ikl} \right)^2}{ra} - C - SS_B - SS_C$$

ABC 交互平方和:

$$SS_{ABC} = \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^c \left(\sum_{i=1}^a x_{ijkl} \right)^2}{r} - C - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{BC} - SS_{AC}$$

副区误差平方和:

$$SS_{EC} = SS_{\text{总}} - SS_R - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{BC} - SS_{AC} - SS_{ABC} - SS_{EAB}$$

4 方差分析与期望均方

随机模型方差构成见表 1, 依据不同的方差构成方案, 可以对每一待比较项目设定误差项(表 2)。对于表 3 类型的固定模型可统一应用对应误差均方作比较项, 判断因素主效或交互方差显著性, 但对于随机模型, 只有二级交互才能直接以相应误差项作比较项, 另外只有 2 个交互项方差可以用二级交互均方直接测验, 其他项均没有直接供测验项, 如 MS_A 由 $\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + r\sigma_{ABC}^2 + cr\sigma_{AB}^2 + br\sigma_{AC}^2 + bcr\sigma_A^2$ 构成, 没有合适的直接误差项, 可以看作由 $(\sigma_1^2 + c\sigma_2^2) + (MS_{A \times B \times C} - \sigma_1^2) + (MS_{A \times B} - MS_{A \times B \times C}) + (MS_{A \times C} - MS_{A \times B \times C})$ 4 项合成误差项, 令 $MS_1 = (\sigma_1^2 + c\sigma_2^2)$, $MS_2 = MS_{A \times B \times C} - \sigma_1^2$, $MS_3 = MS_{A \times B} - MS_{A \times B \times C}$, $MS_4 = MS_{A \times C} - MS_{A \times B \times C}$, $df_1 = df_{EAB}$, $df_2 = df_{A \times B \times C}$, $df_3 = df_{A \times B}$, $df_4 = MS_{A \times C}$, 令 $MS = \sum_{i=1}^4 MS_i$, (如果 $MS_i < 0$, 则

$MS_i = 0$, 表示第 i 项对近似误差没有影响), 为估计误差均方; $df = \frac{MS^2}{\frac{MS_1^2}{df_1} + \frac{MS_2^2}{df_2} + \frac{MS_3^2}{df_3} + \frac{MS_4^2}{df_4}}$, 为误差项的估计近似自由度, $F_A = \frac{MS_A}{MS}$, 近似服从自由度 (df_A, df) 的 F 分布, 当方差测验显著时, 以 MS 为误差项作多重比较, 文献[4-5]只有 2 个方差项合并的近似自由度计算, 该研究改为多个误差项的合并, 但不再将被比项加上另一个方差均方作近似 F 测验, 且原法无法估计误差项作多重比较。其他误差项的合并处理方法参考上述方法。从上述公式可以看出, 方差成分越大, 对近似自由度估计影响越大, 相反则越小, 为 0 则无影响; 方差项的自由度对近似自由度的估计则相反, 当除误差项均方外, 其他方差成分均为 0, 则转化为固定模型的测验方式。实践中, 方差成分出现负值很常见, 理论上方差只能为非负, 如最小范数二阶无偏方差估计法(MINQUE)、限制性极大似然方差成分估计法(REML)均对方差作了非负限制^[6]。

由表 2 可知, MS_B 方差显著性测验方法与 A 因素相同, MS_{AB} 、 MS_C 误差项均由 2 项构成, 误差项近似自由度估计公式略为简单。表 3、4、5 列出了其他 3 种模型的均方构成, F 测验的误差项选择与随机模型相似, 参考表 2 可写出方案。

表 1 随机模型期望均方构成

Table 1 The expected mean square composition of stochastic model

方差来源 Sources of variance		期望均方 Expected mean square
第一部分 The 1st part	区组 A	$\sigma_1^2 + abc\sigma_R^2$ $\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + r\sigma_{ABC}^2 + cr\sigma_{AB}^2 + br\sigma_{AC}^2 + bcr\sigma_A^2$
	B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + r\sigma_{ABC}^2 + cr\sigma_{AB}^2 + ar\sigma_{BC}^2 + acr\sigma_B^2$
	A × B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + r\sigma_{ABC}^2 + cr\sigma_{AB}^2$
	E _{A×B}	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2$
第二部分 The 2nd part	C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2 + br\sigma_{AC}^2 + ar\sigma_{BC}^2 + abr\sigma_C^2$
	A × C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2 + br\sigma_{AC}^2$
	B × C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2 + ar\sigma_{BC}^2$
	A × B × C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2$
	E _C	σ_1^2

表 2 随机模型方差分析均方比较方案

Table 2 The mean square alternative scheme of variance analysis of stochastic model

变异项 Variation item	自由度 Freedom	均方差 Mean square error	误差项 Error term
A	df_A	MS_A	$(\sigma_1^2 + c\sigma_2^2) + (MS_{A \times B \times C} - \sigma_1^2) + (MS_{A \times B} - MS_{A \times B \times C}) + (MS_{A \times C} - MS_{A \times B \times C})$
B	df_B	MS_B	$(\sigma_1^2 + c\sigma_2^2) + (MS_{A \times B \times C} - \sigma_1^2) + (MS_{A \times B} - MS_{A \times B \times C}) + (MS_{B \times C} - MS_{A \times B \times C})$
A × B	$df_{A \times B}$	$MS_{A \times B}$	$(\sigma_1^2 + c\sigma_2^2) + (MS_{A \times B \times C} - \sigma_1^2)$
C	df_C	MS_C	$MS_{A \times C} + (MS_{B \times C} - MS_{A \times B \times C})$
A × C	$df_{A \times C}$	$MS_{A \times C}$	$MS_{A \times B \times C}$
B × C	$df_{B \times C}$	$MS_{B \times C}$	$MS_{A \times B \times C}$
A × B × C	$df_{A \times B \times C}$	$MS_{A \times B \times C}$	σ_1^2

表 3 固定模型期望均方构成

Table 3 The expected mean square composition of fixed model

方差来源 Sources of variance		期望均方 Expected mean square
第一部分 The 1st part	区组	$\sigma_1^2 + abc\sigma_R^2$
	A	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + bcr\kappa_A^2$
	B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + acr\kappa_A^2$
	A × B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + cr\kappa_{AB}^2$
	E _{A×B}	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2$
第二部分 The 2nd part	C	$\sigma_1^2 + abr\kappa_C^2$
	A × C	$\sigma_1^2 + br\kappa_{AC}^2$
	B × C	$\sigma_1^2 + ar\kappa_{BC}^2$
	A × B × C	$\sigma_1^2 + r\kappa_{ABC}^2$
	E _C	σ_1^2

表 4 AB 随机 C 固定混合模型期望均方构成

Table 4 The expected mean square composition of hybrid model with random AB and fixed C

方差来源 Sources of variance		期望均方 Expected mean square
第一部分 The 1st part	区组	$\sigma_1^2 + abc\sigma_R^2$
	A	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + cr\sigma_{AB}^2 + bcr\sigma_A^2$
	B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + cr\sigma_{AB}^2 + acr\sigma_B^2$
	A × B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + cr\sigma_{AB}^2$
	E _{A×B}	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2$
第二部分 The 2nd part	C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2 + br\sigma_{AC}^2 + ar\sigma_{BC}^2 + abr\kappa_C^2$
	A × C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2 + br\sigma_{AC}^2$
	B × C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2 + ar\sigma_{BC}^2$
	A × B × C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2$
	E _C	σ_1^2

表 5 AB 固定 C 随机混合模型期望均方构成

Table 5 The expected mean square composition of hybrid model with random C and fixed AB

方差来源 Sources of variance		期望均方 Expected mean square
第一部分 The 1st part	区组	$\sigma_1^2 + abc\sigma_R^2$
	A	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + br\sigma_{AC}^2 + bcr\kappa_A^2$
	B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + ar\sigma_{BC}^2 + acr\kappa_B^2$
	A × B	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2 + r\sigma_{ABC}^2 + cr\kappa_{AB}^2$
	E _{A×B}	$\sigma_1^2 + c\sigma_2^2$
第二部分 The 2nd part	C	$\sigma_1^2 + abr\sigma_C^2$
	A × C	$\sigma_1^2 + br\sigma_{AC}^2$
	B × C	$\sigma_1^2 + ar\sigma_{BC}^2$
	A × B × C	$\sigma_1^2 + r\sigma_{ABC}^2$
	E _C	σ_1^2

表 1~5 只列出了 4 种模型期望均方构成,其他 4 种模型可仿该 4 个模型由随机模型变化得出,具体可以口诀“固含随,不含他固;随不含固”辅助写出。

5 实例计算

有一棉花栽培试验,有 A(播期)、B(密度)、C(品种)3 个因素,A 分为 A₁(谷雨播)、A₂(立夏播),B 分为 B₁(低密度)、B₂(中密度)、B₃(高密度),C 分为 C₁(品种 1)、C₂(品种 2)。3 次重复,AB 作为主区因素,完全随机排列,每个主区内随机排入 2 个品种。田间布局见图 1。试验数据见表 6。

区组1		区组1		区组1	
A ₂ B ₃	C ₁ :C ₂	A ₁ B ₁	C ₂ :C ₁	A ₁ B ₁	C ₂ :C ₁
A ₁ B ₁	C ₂ :C ₁	A ₂ B ₂	C ₁ :C ₂	A ₁ B ₃	C ₁ :C ₂
A ₂ B ₂	C ₁ :C ₂	A ₁ B ₃	C ₁ :C ₂	A ₂ B ₁	C ₁ :C ₂
A ₁ B ₃	C ₁ :C ₂	A ₁ B ₂	C ₁ :C ₂	A ₁ B ₂	C ₁ :C ₂
A ₂ B ₁	C ₂ :C ₁	A ₂ B ₁	C ₁ :C ₂	A ₂ B ₂	C ₂ :C ₁
A ₁ B ₂	C ₂ :C ₁	A ₂ B ₃	C ₂ :C ₁	A ₂ B ₃	C ₁ :C ₂

图 1 田间布局

Fig.1 The field layout

表 6 试验数据

Table 6 Test data

kg/hm²

A	B	C	重复 Repetition		
			1	2	3
A ₁	B ₁	C ₁	3 000.0	3 500.0	3 250.0
		C ₂	750.0	500.0	1 000.0
	B ₂	C ₁	3 000.0	2 750.0	2 750.0
		C ₂	1 000.0	750.0	1 000.0
	B ₃	C ₁	2 500.0	2 250.0	2 250.0
		C ₂	1 750.0	1 500.0	1 750.0
A ₂	B ₁	C ₁	2 500.0	2 250.0	2 250.0
		C ₂	500.0	500.0	750.0
	B ₂	C ₁	2 250.0	2 250.0	2 000.0
		C ₂	750.0	1 000.0	1 250.0
	B ₃	C ₁	1 500.0	1 500.0	1 750.0
		C ₂	1 250.0	1 750.0	1 750.0

有 A(播期)、B(密度)、C(品种)3 个因素。表 7 显示,播期与品种互作、密度与品种互作,4 种模型分析均极显著,播期、密度与品种二级互作、播期与密度互作、密度 4 种模型分析均不显著。播期、品种,不同的模型得出的结论不同,固定模型分析二者均极显著,其他模型显著水平发生变化或不再显著。因此,试验模型选择很重要,可能产生不同的结论。

表 7 方差分析

Table 7 Variance analysis table

变异来源 Sources of variation	df	SS	MS	随机模型 Stochastic model		固定模型 Fixed model		AB 随机,C 固定 Random AB and fixed C		AB 固定,C 随机 Random C and fixed AB	
				F	P	F	P	F	P	F	P
区组 Groups	2	72 916.67	36 458.33	0.875 0	0.441 8	0.875 0	0.441 8	0.875 0	0.441 8	0.875 0	0.441 8
A	1	1 562 500.00	1 562 500.00	1.252 8	0.464 2	51.724 1	0.000 0	33.333 3	0.028 7	1.344 5	0.453 1
B	2	31 250.00	15 625.00	0.006 1	0.994 0	0.517 2	0.611 3	0.333 3	0.750 0	0.006 3	0.993 8
AB	2	93 750.00	46 875.00	1.551 7	0.258 9	1.551 7	0.258 9	1.551 7	0.258 9	1.551 7	0.258 9
主区误差 The error of main area	10	302 083.33	30 208.33								

种,眼蝶科 5 属 5 种,蛱蝶科 12 属 14 种,灰蝶科 5 属 5 种,弄蝶科 5 属 6 种。在花卉栽培区观察到的蝶类种类和数量均最多,优势蝶种种类上最多的是蛱蝶,其次是粉蝶和弄蝶,最少的是凤蝶。个体数量最多的是蛱蝶,其次是弄蝶,最少的是凤蝶。

2.2 优势蝶类多样性指数 西浦森林公园不同生境优势蝶类多样性指数(H')、均匀度指数(J')见表 2。不同生境优势蝶类多样性指数分析表明,花卉栽培区物种多样性指数最高,为 4.166,乔木区物种多样性指数最低,为 3.164。物种多样性指数由高到低顺序为花卉栽培区、花灌木区、草坪区、乔木区。均匀度指数分析表明,草坪区均匀度指数最高,为 0.999,花灌木区均匀度指数最低,为 0.995。均匀度指数由高到低顺序为草坪区、花卉栽培区、乔木区、花灌木区。相似度指数对比(表 3)得出:乔木区和花灌木区的相似度指数最高,为 0.454,花灌木区和草坪区的相似度指数最低,仅为 0.111。

表 2 西浦森林公园不同样地优势蝶类生态学指数比较
Table 2 Ecological index of dominant butterfly in different sample sites of Xipu Forest Park

样地 Samples	种数 Species	个体数 Number of Individuals	多样性指数(H') Diversity index	均匀度指数(J') Uniformity index
I	9	245	3.164	0.997
II	16	480	3.984	0.995
III	13	391	3.697	0.999
IV	18	501	4.166	0.998

注:I. 乔木区;II. 花灌木区;III. 草坪区;IV. 花卉栽培区
Note:I. Arbor area;II. Flower shrubs area;III. Lawn area;IV. Floriculture area

3 结论与讨论

3.1 优势蝶类种群结构特点 西浦森林公园原为开放式公园,经扩建后发展为城市森林公园,其生态环境原始,植物种类较丰富,公园人为因素对蝶类影响较小。样地中植物种类的差异是影响蝶类分布丰富度的主要因素。

(上接第 5 页)

表 3 西浦森林公园不同样地优势蝶类相似度指数比较
Table 3 Similarity index of dominant butterfly in different sample sites of Xipu Forest Park

样地 Samples	I	II	III	IV
I	1	0.454	0.111	0.417
II			0.143	0.294
III			1	0.129
IV				1

注:I. 乔木区;II. 花灌木区;III. 草坪区;IV. 花卉栽培区
Note:I. Arbor area;II. Flower shrubs area;III. Lawn area;IV. Floriculture area

3.2 优势蝶类分布规律差异 西浦森林公园蝶类以花卉栽培区环境的多样性指数最高,体现了这类环境的植物丰富度较高,与蝶类的访花行为一致。

3.3 优势蝶类寄主植物分布区域性 部分蝶类的寄主植物分布具有区域性,如荨麻蛱蝶,仅在花灌木区林下细叶荨麻群落中可以观察到,而在其他环境中观察不到这种蝶类。

城市森林公园是保护生物多样性的一个很重要的区域,为保护好其蝶类资源,更好地维持森林公园中生态系统的多样性,建议加强西浦森林公园植物种质资源保护,维持好森林公园原始生态环境的多样性状态。

参考文献

[1] 罗志文,张雨奇,李世震. 佳木斯地区鳞翅目蝶类资源调查初报[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2004,22(3):404-409.
[2] 罗志文,李佳琳,肖志坚,等. 黑龙江省东部地区蝶类资源调查[J]. 江西植保,2011,34(3):115-116.
[3] 罗志文,李晓庆,程海涛,等. 镜泊湖世界地质公园不同生境蝶类多样性研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(1):196-198.
[4] 周尧. 中国蝶类志[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1994:1-216.
[5] 周尧. 中国蝴蝶分类与鉴定[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1998:1-349.
[6] 李传隆,朱宝云. 中国蝶类图谱[M]. 上海:上海远东出版社,1992:1-152.
[7] 王直诚. 东北蝶类志[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1999:1-293.
[8] 罗志文,吕冬云,薛春梅,等. 佳木斯南郊不同生境蝶类多样性调查[J]. 昆虫知识,2005,42(5):566-569.
[9] 李佳琳,裴海英,刘德江,等. 申家店林区不同生境蝶类多样性调查[J]. 环境昆虫学报,2011,33(3):308-314.

续表 7

变异来源 Sources of variation	df	SS	MS	随机模型 Stochastic model		固定模型 Fixed model		AB 随机,C 固定 Random AB and fixed C		AB 固定,C 随机 Random C and fixed AB	
				F	P	F	P	F	P	F	P
C	1	16 000 000.00	16 000 000.00	6.176 9	0.130 9	384.000 0	0.000 0	4.304 5	0.129 7	384.000 0	0.000 0
AC	1	1 173 611.11	1 173 611.11	676.000 0	0.001 5	28.166 7	0.000 2	676.000 0	0.001 5	28.166 7	0.000 2
BC	2	5 010 416.67	2 505 208.33	1 443.000 0	0.000 7	60.125 0	0.000 0	1 443.000 0	0.000 7	60.125 0	0.000 0
ABC	2	3 472.22	1 736.11	0.041 7	0.959 3	0.041 7	0.959 3	0.041 7	0.959 3	0.041 7	0.959 3
副区误差 The error of deputy area	12	500 000.00	41 666.67								
总和 Total	35	24 750 000.00									

参考文献

[1] 黄燕,吴平. SAS 统计分析及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006:106-113.
[2] 郝黎仁,樊元,郝哲欧. SPSS 实用统计分析[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003:166-179.
[3] ANDERSON T W. 多元统计分析导论[M]. 张润楚,程轶,译. 北京:人民邮电出版社,2010:258-262.

[4] 莫惠栋. 农业试验统计[M]. 2 版. 上海:上海科学技术出版社,1992:224-259.
[5] 马育华. 田间试验和统计方法[M]. 2 版. 北京:中国农业出版社,1995:171-186.
[6] 朱军,杨天桥. 遗传模型分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,1997:28.