

# 马铃薯高产栽培的最优平衡不完全区组试验设计与分析

张毅, 方志荣\*, 彭正松, 李佩华, 曲继鹏

(西昌学院, 四川 西昌 615013)

**摘要:** 为了研究品种及栽培方式对马铃薯产量的影响及显著程度, 引入最优平衡不完全区组试验设计。结合一次马铃薯高产栽培试验, 在SAS环境下, 完成最优平衡不完全区组试验设计, 得到试验数据, 利用方差分析法对试验结果进行了数据分析。结果表明: 品种和栽培方式对马铃薯产量有显著影响, 品种栽培互作对马铃薯产量无显著影响, 试验筛选出了适合该地区土壤和气候条件的品种及栽培方式。该研究方法可以拓展应用于马铃薯以外的其它作物高产技术领域的试验设计和分析。

**关键词:** 最优平衡不完全区组设计; 方差分析; 主因子; 高产栽培

**中图分类号:** S-03; S532.048      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-1891(2018)03-0020-04

## The Design and Analysis of Optimal Balanced Incomplete Block Test for High Yield Cultivation Techniques of Potato

ZHANG Yi, FANG Zhi-rong, PENG Zheng-song, LI Pei-hua, QU Ji-peng

(Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** In order to define the influence and significance of varieties and cultivation modes on potato yield, the authors introduce the optimal balanced incomplete blocks design (optimal BIBD). We realized the BIBD of a potato experiment of high yield cultivation techniques using SAS and obtained the test data, which were analyzed using variance analysis. The results showed that varieties and cultivation modes had significant effects on potato yield, the interaction between varieties and cultivation mode had no significant effect on potato yield. Suitable variety and cultivation mode under the soil and weather condition were also gained as well. This study in this paper can be adopted in high yield cultivation techniques of the other crops except potato of test design and data analysis.

**Keywords:** optimal balanced incomplete blocks design; variance analysis; main factors; high yield cultivation

凉山州位于四川省的西南部, 属于典型的高原山地, 区内光照充足、昼夜温差大, 十分有利于马铃薯的生长, 是四川省马铃薯的主产区, 尤其是二半山(海拔1 500 m)以上的彝族聚居区, 马铃薯不仅是农民粮食的主要来源, 也是经济的主要来源, 在该地区发展马铃薯产业是贫困彝区农民脱贫致富的重要渠道。2015年, 凉山州马铃薯平均单产22.5 t/hm<sup>2</sup>, 远远低于美国、比利时、新西兰等国的46.9~48.7 t/hm<sup>2</sup> (世界粮农组织资料)。马铃薯产量受品种<sup>[1]</sup>、栽培密度<sup>[2-3]</sup>、氮磷钾肥配比<sup>[4-5]</sup>、微生物菌剂<sup>[6]</sup>、生长调节物质如S-诱抗素<sup>[7-8]</sup>等的影响。为了提高凉山州马铃薯产量, 有必要进行马铃薯高产栽培技术的研究。

在高产栽培技术的研究中, 主要采用正交

试验<sup>[3,5]</sup>、二次回归正交组合<sup>[2,4,9]</sup>等方法。正交试验需要进行重复试验, 要求每个区组内的小区数要等于试验的处理数, 但由于受试实验地的限制, 导致区组内的小区数小于处理数而使正交试验受到限制。二次回归正交组合因其处理数较多, 也会因为地形、地块大小或土壤肥力不均而使试验受到限制。平衡不完全区组设计 (Balanced Incomplete Blocks Design 简称 BIBD) 作为一种析因试验设计, 可以在被试对象数目受限的条件下进行试验设计, 分析试验因子与响应之间的关系<sup>[10]</sup>。平衡不完全区组设计用于田间试验主要有以下优点: 一是在一个区组内只包含全部试验处理的一小部分, 区组内的小区数小于试验的处理数, 因而比较容易满足同一区组内试验条件相同的要求<sup>[11-12]</sup>; 二是可以把要比

**收稿日期:** 2018-05-06

**基金项目:** 四川省科技厅项目(2016NZYD0003); 四川省教育厅项目(16ZB0265、17ZB0398); 四川省大学生创新创业项目: 微生物菌剂对凉山州普格县马铃薯的产量和品质的影响(201610628032); 西昌学院博士启动项目(2017BS012)。

**作者简介:** 张毅(1994—), 女, 四川资中人, 硕士研究生, 研究方向: 农业科学。\*为通信作者。

较的几种处理分成多个区组,只要求组内处理的试验条件基本相同,而允许区组间存在较大的差异<sup>[3]</sup>,从而减少了地形、地块大小等对试验的限制。但以上文献虽然给出了试验设计表,也给出了试验结果分析的基本公式,但是由于实际操作起来比较繁琐,对试验设计和数据处理没有结合具体的软件环境给出详细的过程,大大限制了最优平衡不完全区组设计在田间试验中的应用。高化猛等<sup>[10]</sup>虽然给出了最优平衡不完全区组设计及分析的SAS程序,但是由于研究领域的不同,导致程序使用过程中存在一定的困难。西昌学院马铃薯课题组在马铃薯高产栽培技术的研究过程中,进行了详细的最优平衡不完全区组试验设计,在试验数据的基础上,基于SAS环境,实现了最优平衡不完全区组试验设计和方差分析,并给出了详尽的SAS程序。本文内容对其它作物高产栽培的最优平衡不完全区组试验的试验设计和数据处理具有参考价值 and 借鉴意义。

## 1 试验设计及试验方法

### 1.1 选取的因素及水平

为了让试验设计更具有参考性,试验选用3个马铃薯品种A1、A2、A3以及3种栽培措施B1、B2、B3,共9个处理(Treats),安排3个区组(Blocks),共需27个小区,因地域所限,每个区组最多可以安排6个小区,计划不能实施。因此,不考虑与区组有关的交互,以考察效应Blocks, A, B, A\*B为目标,设计了一个具有3个区组,18个小区的最优平衡不完全区组试验,以确定影响产量的主要因子和最佳处理。

### 1.2 SAS的最优平衡不完全区组试验设计

在SAS中,利用factex设计试验点,并由output语句将其输出到指定的数据文件;optex过程完成平衡不完全区组设计及其优化。SAS程序如下:

```
proc factex;
  Factors x1 x2/nlev=3;
  Output out=full
  x1 nvals=(1 2 3)
  x2 nvals=(1 2 3);
run;
proc print data=full;
run;
proc optex data=full seed=73462;
class x1 x2;
model x1 x2;
```

```
blocks structure=(3)6;
output out=bibd blockname=blocks;
run;
proc print data=bibd;
run;
quit
```

运行上面的SAS程序,SAS最优平衡不完全区组试验设计得到的结果见表1。

表1 最优平衡不完全区组设计表

Obs	BLOCKS	x1	x2
1	1	1	2
2	1	2	3
3	1	3	3
4	1	3	2
5	1	2	1
6	1	1	1
7	2	2	3
8	2	1	2
9	2	2	2
10	2	3	3
11	2	1	1
12	2	3	1
13	3	3	1
14	3	1	3
15	3	2	2
16	3	3	2
17	3	1	3
18	3	2	1

为了便于试验的实施及结果的记录,将表1进行整理,整理后的试验设计见表2。

### 1.3 试验实施

马铃薯的栽培试验在位于普格县五道箐乡的西昌学院马铃薯种植基地内完成。马铃薯种植基地的土壤特征为:全氮 3.54 g/kg,全磷 1.26 g/kg,全钾 19.83 g/kg,碱解氮 317 g/kg。试验选用了3个品种的原原种:A1(青9)、A2(大西洋)、A3(夏坡蒂);采用了3种栽培措施:B1(对照,常规施肥)、B2(常规施肥+微生物菌剂)、B3(常规施肥+喷施s-诱抗素),试验安排3个区组,18个小区,小区面积12.33 m<sup>2</sup>,常规大田管理,试验在2017年4—8月完成。在收获期,测定各小区的马铃薯产量。

## 2 试验结果与分析方法

### 2.1 数据的获取与整理

在马铃薯的收获期,测定各小区的马铃薯产量,并将各小区产量的数据填入表2,以便于通过

SAS 程序进行后续的数据分析。

表 2 最优平衡不完全区组设计表及试验结果

Runs 实验数	Blocks 区组	x1 品种	x2 肥料	Treats 处理	Output 小区产量/kg
1	1	A1	B2	T2	32.55
2	1	A2	B3	T6	23.35
3	1	A3	B3	T9	16
4	1	A3	B2	T8	23.35
5	1	A2	B1	T4	28.25
6	1	A1	B1	T1	22.50
7	2	A2	B3	T6	23.40
8	2	A1	B2	T2	32.80
9	2	A2	B2	T5	28.70
10	2	A3	B3	T9	12.25
11	2	A1	B1	T1	25.15
12	2	A3	B1	T7	12.40
13	3	A3	B1	T7	13.90
14	3	A1	B3	T3	28.90
15	3	A2	B2	T5	27.90
16	3	A3	B2	T8	29.70
17	3	A1	B3	T3	23.15
18	3	A2	B1	T4	22.95

### 2.2 SAS 的最优平衡不完全区组试验分析

#### 2.2.1 应用 SAS 程序进行数据处理

将表 3 的数据样本创建为 SAS 数据表 sasuser.malingshu01, 采用 glm 过程对数据进行方差分析, 建模语句指定因子 Output 的效应为 Blocks、A、B 和 A\*B, 对品种和栽培措施影响产量的效果进行两两比较。SAS 程序如下:

```

Data sasuser.malingshu01;
Input Blocks A B Treats Output@@;
cards;
1 1 2 2 32.55
1 2 3 6 23.35
1 3 3 9 16
1 3 2 8 23.35
1 2 1 4 28.25
1 1 1 1 22.50
2 2 3 6 23.40
2 1 2 2 32.80
2 2 2 5 28.70
2 3 3 9 12.25
2 1 1 1 25.15
2 3 1 7 12.40
3 3 1 7 13.90
3 1 3 3 28.90

```

```

3 2 2 5 27.90
3 3 2 8 29.70
3 1 3 3 23.15
3 2 1 4 22.95

```

```

;
proc print data= sasuser.malingshu01;
proc glm data= sasuser.malingshu01;
class Blocks A B;
model Output=Blocks A B A*B;
means A B/LSD;
means A B/LSD alpha=0.01;
proc glm data= sasuser.malingshu01;
class Treats;
model Output=Treats;
means Treats/LSD;
means Treats/LSD alpha=0.01;
run;
quit;

```

程序输出的方差分析结果和均值多重比较结果整理后见表 3~7。

表 3 马铃薯种植试验因子效应方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	Pr>F
Blocks	2	14.843 3	7.421 7	0.83	0.473 5
A	2	311.947 5	155.973 8	17.52	0.001 9
B	2	265.990 8	132.995 4	14.93	0.003 0
A*B	4	51.242 7	12.810 7	1.44	0.315 9
模型	10	644.024 3	64.402 4	7.23	0.007 7
误差	7	62.335 6	8.905 1		$R^2=0.911 8$
总和	17	706.360 0			

表 4 品种的均值多重比较

A	均值	观测个数	显著性	
			0.05	0.01
A1	27.508	6	a	A
A2	25.758	6	a	A
A3	17.933	6	b	B

表 5 栽培措施的均值多重比较

B	均值	观测个数	显著性	
			0.05	0.01
B2	29.167	6	a	A
B3	21.175	6	b	B
B1	20.858	6	b	B

#### 2.2.2 因子效应分析

因子效应分析模型的确定系数  $R^2$  为 0.911 8, 显著性  $P$  值为 0.007 7, 方差分析有效。品种、品种栽培措施对马铃薯产量有显著影响, 其显著性  $P$  值分别为

0.001 9, 0.003 0; 区组和品种栽培互作对马铃薯产量无显著影响(表3)。品种(因子A)LSD分析结果表明:品种对产量的影响从大到小排序依次为:A1、A2、A3, 0.01水平上品种A1、A2对产量的影响显著高于A3品种(表4)。栽培措施(因子B)LSD分析结果表明:栽培措施对产量影响的大小依次为:B2、B3、B1, 0.01水平上栽培措施B2能明显提高马铃薯的产量。

### 2.2.3 处理效应的分析结果

处理效应模型的决定系数 $R^2=0.911 2$ , 显著性 $P$ 值为0.000 7, 方差分析有效。试验处理对产量影响

表6 玉米种植试验处理效应方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方	$F$ 值	$Pr>F$
处理	8	643.602 5	80.450 3	11.54	0.000 7
模型	8	643.602 5	80.450 3	11.54	0.000 7
误差	9	62.757 5	6.973 1		
总和	17	706.360 0		$R^2=0.911 2$	

表7 试验处理的均值多重比较

处理	均值	观测个数	显著性	
			0.05	0.01
T2	32.675	2	a	A
T5	28.300	2	ba	BA
T8	26.525	2	b	BA
T3	26.025	2	b	BA
T4	25.600	2	b	BA
T1	23.825	2	b	B
T6	23.375	2	b	B
T9	14.125	2	c	C
T7	13.150	2	c	C

显著, 其显著性 $P$ 值为0.000 7(表6)。各处理效应的LSD分析结果表明: 试验处理对产量的影响从大到小排序依次为:T2、T5、T8、T3、T4、T1、T6、T9、T7, 在0.05水平上, T2处理与T5无显著差异, 显著高于T8、T3、T4、T1、T6、T9、T7处理; 在0.01水平上, T2处理与T5、T8、T3、T4处理无显著差异, 显著高于T1、T6、T9、T7处理。

### 2.3 栽培措施的优化

通过以上分析可以得出影响该地区马铃薯产量的主要影响因子为品种和栽培措施, 品种A1、A2与B2的处理组合T2和T5均获得最高产量, 故确定适宜该地区土壤和气候条件的最佳品种为A1、A2, 最佳栽培方式为B2。

## 3 结语

最优平衡不完全区组设计可以在被试对象数目受限的条件下进行析因试验设计, 方差分析是最优平衡不完全区组设计的主要数据分析手段, 能够确定主要影响因子, 以及各试验因子对试验结果影响的差异, 同时能确定最佳的处理。本文围绕上述内容展开, 通过SAS程序得到了试验设计表, 并通过方差分析法对试验数据进行了分析, 发现了显著影响马铃薯产量的因子及其差异程度, 并得到了最佳处理。该方法也适用于不同地域、不同品种及不同栽培措施对马铃薯产量的影响, 对其它作物的高产栽培的最优平衡不完全区组试验的试验设计和数据处理具有参考价值和借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 氮、钾营养对不同品种马铃薯产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 571-576.
- [2] 崔学开, 陈建林, 王明义, 等. 不同施肥和密度对马铃薯产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(6): 360-363.
- [3] 张延丽, 扎西普赤, 杨喜珍, 等. 高寒地区脱毒马铃薯高产栽培技术研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12): 133-138.
- [4] 胡建风, 刘桂华, 张丽君, 等. 毕节中海拔地区马铃薯超高产栽培的数学模型研究[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(6): 191-194.
- [5] 李学才. 永登县北部山区不同氮磷钾配比对马铃薯产量的影响[J]. 北方农业学报, 2017, 45(2): 63-65.
- [6] 何万春, 谭伟军, 王娟, 等. 6种微生物菌剂对全膜马铃薯生长发育和产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2017(11): 54-59.
- [7] 张璐, 张孝然, 陈夕军, 等. 3种生物源物质对番茄的促生与防病作用[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2017, 38(4): 105-111.
- [8] 李刚, 张凤文, 姚晨涛, 等. 干旱胁迫下S-诱抗素对玉米幼苗生长及生理作用的影响[J]. 植物生理学报, 2017, 53(9): 1711-1716.
- [9] 高聚林, 刘克礼, 张宝林, 等. 马铃薯高产优化栽培措施与产量关系模型的研究[J]. 中国马铃薯, 2003(3): 131-137.
- [10] 高化猛, 王文秀, 陶辰立, 等. 炸药威力的平衡不完全区组试验设计与分析[J]. 军械工程学院学报, 2017, 29(1): 5-8.
- [11] 韩承伟. BIB设计和分析[J]. 内蒙古农业科技, 1986(1): 43-48.
- [12] 张荷观. 田间试验设计和统计分析(V)——5. 平衡不完全区组试验的设计和统计分析[J]. 新疆林业, 1987(21): 55-58+79.
- [13] 雷清华. 用平衡不完全区组BiB设计法优化双季稻灌溉试验处理[J]. 农田水利与小水电, 1986(3): 8-10.