

# 基于均匀设计枇杷苗期氮磷钾施肥优化

黄岳<sup>1</sup>, 季莉<sup>2</sup>, 蒋际谋<sup>3</sup>, 邓朝军<sup>3</sup>, 雷夔<sup>3</sup>, 岳海英<sup>1</sup>, 冯学梅<sup>1</sup>, 李阿波<sup>1</sup>, 梁玉文<sup>1</sup>

<sup>1</sup>宁夏农林科学院园艺研究所, 宁夏 银川

<sup>2</sup>宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 宁夏 银川

<sup>3</sup>福建省农业科学院果树研究所, 福建 福州

收稿日期: 2021年10月10日; 录用日期: 2021年11月9日; 发布日期: 2021年11月16日

## 摘要

采用均匀设计方案对枇杷苗期氮磷钾施肥量进行了初步优化, 建立了施肥量对枇杷苗期叶绿素含量增量的数学回归模型:  $Y = 62.1 - X_1 * 3.68 - X_2 * 1.86 - X_3 * 3 + X_2 * X_3 * 0.15 + X_1 * X_1 * 0.12 + X_3 * X_3 * 0.05$ , 明确了氮磷钾单因素及因素交互效应, 通过频数分析确定出枇杷苗期适宜的施肥量范围为尿素3~5.52 g、过磷酸钙3~13.37 g、硫酸钾3~6.23 g, 适宜的氮磷钾元素比例为1:0.26~0.63:1.13~1.23。

## 关键词

均匀设计, 苗期, 施肥

# Nitrogen Phosphorus and Potassium in Seeding Stage of Loquat Optimized Fertilization Based on the Uniform Design

Yue Huang<sup>1</sup>, Li Ji<sup>2</sup>, Jimou Jiang<sup>3</sup>, Chaojun Deng<sup>3</sup>, Yan Lei<sup>3</sup>, Haiying Yue<sup>1</sup>, Xuemei Feng<sup>1</sup>, Abo Li<sup>1</sup>, Yuwen Liang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Horticulture Research Institute, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan Ningxia

<sup>2</sup>Quality Standard and Testing Technology Research Institute, Ningxia Agricultural Products, Yinchuan Ningxia

<sup>3</sup>Fruit Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou Fujian

Received: Oct. 10<sup>th</sup>, 2021; accepted: Nov. 9<sup>th</sup>, 2021; published: Nov. 16<sup>th</sup>, 2021

文章引用: 黄岳, 季莉, 蒋际谋, 邓朝军, 雷夔, 岳海英, 冯学梅, 李阿波, 梁玉文. 基于均匀设计枇杷苗期氮磷钾施肥优化[J]. 农业科学, 2021, 11(11): 984-990. DOI: 10.12677/hjas.2021.1111132

## Abstract

The uniform design was used to optimize the amount of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization in Loquat seedling stage. A mathematical regression model of chlorophyll content increment in seedlings stage of Loquat was established:  $y = 62.1 - x_1 \cdot 3.68 - x_2 \cdot 1.86 - x_3 \cdot 3 + x_2 \cdot x_3 \cdot 0.15 + x_1 \cdot x_1 \cdot 0.12 + x_3 \cdot x_3 \cdot 0.05$ . The single factor and factor interaction effects of nitrogen, phosphorus and potassium were determined. Through frequency analysis, the suitable range of optimized fertilization in Loquat seedling stage was urea 3~5.52 g, superphosphate 3~13.37 g, potassium sulfate 3~6.23 g. The optimum ratio of N, P and K is 1:0.26~0.63:1.13~1.23.

## Keywords

Uniform Design, Seeding Stage, Fertilization

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

均匀设计是处理多因素多水平试验设计的首选方法, 可用较少的试验次数, 完成复杂的科研课题和新产品的研究和开发, 其最大特点是试验次数可以等于最大水平数, 而不是试验因子数平方的关系[1]。近年来, 均匀设计方法已广泛应用于工业、医药领域, 但在农业施肥方面的应用还很少。本文采用均匀设计法对枇杷苗期大量元素 N、P、K 施用量及施用比例对枇杷苗期叶片叶绿素含量增量的影响进行了初步试验, 优化了枇杷苗期施肥量, 以期对枇杷苗期科学合理施肥提供技术依据与参考。

## 2. 材料与方 法

### 2.1. 试验材料及地点

试验以一年生植株长势、大小基本一致的枇杷实生苗为试材, 于 2018 年在贺兰园艺产业园试验日光温室内进行。试验用肥料以尿素(N 46%)、过磷酸钙( $P_2O_5$  12%)、硫酸钾( $K_2O \geq 52\%$ )为主, 试验用土壤为灌淤土, 常规养分含量分别为: 全盐 0.88 g/kg, 有机质 7.4 g/kg, 全氮 0.44 g/kg, 全磷 0.36 g/kg, 全钾 12.6 g/kg, 速效氮 62 g/kg, 速效磷 43 g/kg, 速效钾 186 g/kg, pH 8。

### 2.2. 试验设计

试验设计采用  $U_n$  表, 选用均匀设计表  $U_{13}^*(13^4)$ , 均匀设计偏差  $D = 0.1442$ , 试验方案如表 1 所示。通过单因素施肥量梯度试验得出试验中各类肥料施用量上下限, 其施肥量安全范围分别为尿素(3~23 g)、过磷酸钙(3~15 g)、硫酸钾(3~30 g)。施肥试验从 2018 年 2 月份开始至 2018 年 6 月份结束, 每月施肥一次, 其中尿素与硫酸钾溶于水中进行灌施, 每株用水量均为 1 L, 过磷酸钙撒施与植株根系附近表土后翻入土层中。试验设单株小区, 随机区组, 各试验处理 3 次重复, 以施肥试验前后叶绿素含量增量变化为因变量(Y)进行分析。叶绿素含量使用手持式叶绿素测定仪 SPAD520 进行测定, 相关试验数据分析过程采用 Office (Excel)、SPSS20.0, 绘图采用 Origin9 等软件进行。

**Table 1.** Results of N, P, K fertilization rate at seedling stage of Loquat and optimal uniform design scheme  
**表 1.** 枇杷苗期 N、P、K 施肥量优化均匀设计方案及结果

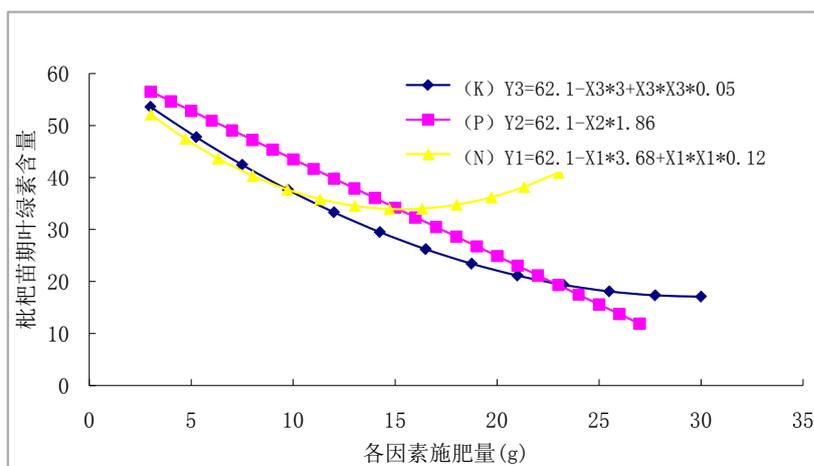
处理 Treatments	(X1)尿素/g Urea	(X2)过磷酸钙/g Calcium superphosphate	(X3)硫酸钾/g Potassium sulfate	叶绿素增量值(Y) Chlorophyll increment
1	3	11	25.5	6.9
2	4.7	6	18.75	12.2
3	6.3	15	12	12.2
4	8	10	5.25	18.2
5	9.7	5	30	5.9
6	11.3	14	23.25	13.4
7	13	9	16.5	6.9
8	14.7	4	9.75	5.6
9	16.3	13	3	4.5
10	18	8	27.75	5.8
11	19.7	3	21	-2.9
12	21.3	12	14.25	9.5
13	23	7	7.5	16.5

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 回归模型建立与检验

针对表 1 中的数据结果进行多项式逐步回归分析, 在置信度  $\alpha = 0.05$  水平下得出枇杷实生苗叶绿素含量增量值  $Y$  与各因素施肥量的回归方程为  $Y = 62.1 - X_1 \cdot 3.68 - X_2 \cdot 1.86 - X_3 \cdot 3 + X_2 \cdot X_3 \cdot 0.15 + X_1 \cdot X_1 \cdot 0.12 + X_3 \cdot X_3 \cdot 0.05$ , 经方差分析可知决定系数  $R^2 = 0.88$ , 回归方程检验的  $F$  值 = 6.39, 临界值  $p = 0.03 \leq 0.05$  显著水平表示方程拟合度较好, 能够反映出叶绿素含量增量值  $Y$  与各因素之间的关系, 可以进行后续分析。

#### 3.2. 单因素效应分析



**Figure 1.** Single factor effect analysis of chlorophyll and fertilization amount in loquat seedling stage

**图 1.** 枇杷苗期叶绿素与各因素施肥量单因素效应分析

用“降维法”可得到某一因素施用量与叶绿素增量  $Y$  之间的关系方程，由此来评价分析各单因素效应[2]。各单因素方程如下：(N) $Y_1 = 62.1 - X_1 \cdot 3.68 + X_1 \cdot X_1 \cdot 0.12$ ,  $X_1 \in [3, 23]$  g; (P) $Y_2 = 62.1 - X_2 \cdot 1.86$ ,  $X_2 \in [3, 15]$  g; (K) $Y_3 = 62.1 - X_3 \cdot 3 + X_3 \cdot X_3 \cdot 0.05$ ,  $X_3 \in [3, 30]$  g。由图 1 可以看出，N 素在施肥量的上下限范围内，当施肥量  $X_1 \in [3, 15.3]$  g 范围内时，叶绿素含量增量变化随施肥量增加而降低；当施肥量为 15.3 g 时，叶绿素含量增量达最小值，当施肥量  $X_1 \in [15.3, 23]$  g 范围内时，叶绿素含量增量随施肥量增加而增加，总体来看，N 素施用量为下限时，枇杷苗期叶绿素含量增量为最大值。P 素施肥量在试验的上下限范围内叶绿素含量增量的变化则随施肥量的增加而呈现出明显的下降趋。K 素施用量在试验的上下限范围内叶绿素含量增量的变化随施肥量的增加而下降，但当 K 素施用量  $> 21$  g 时，叶绿素含量增量的变化随施 K 量的增加而趋缓。

### 3.3. 因素互作效应分析

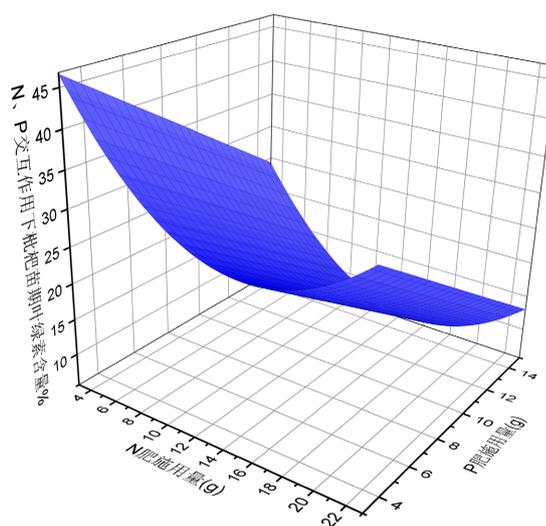


Figure 2. N, P interaction analysis

图 2. N、P 互作效应分析

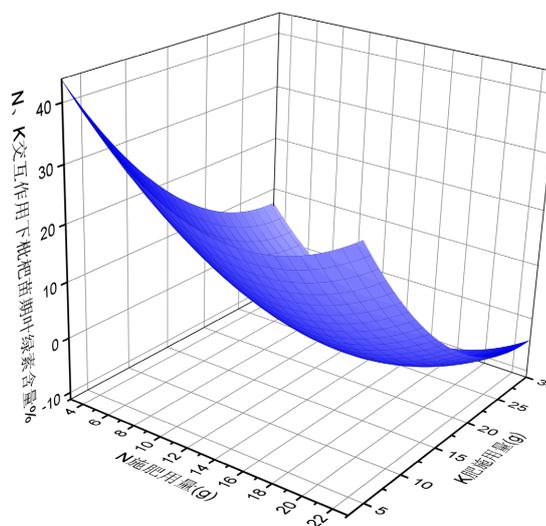
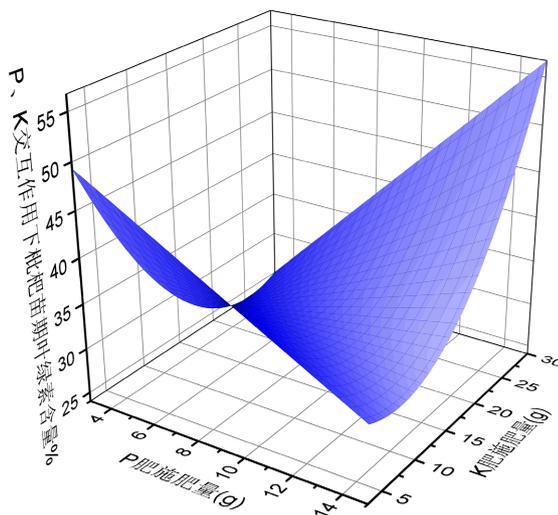


Figure 3. N, K interaction analysis

图 3. N、K 互作效应分析



**Figure 4.** P, K interaction analysis  
**图 4.** P、K 互作效应分析

在实际施肥过程中，肥料的单因素效应往往并不能够准确的反映出施肥效果，而各因子相互之间的互作关系对施肥效果起着促进或拮抗作用。在本施肥试验中，通过降维分析法可以得到各个施肥因素之间在施肥上下限范围内的交互效应方程，分别为： $Y1Y2 = 62.1 - X1*3.68 - X2*1.86 + X1*X1*0.12$ ， $Y1Y3 = 62.1 - X1*3.68 - X3*3 + X1*X1*0.12 + X3*X3*0.05$ ， $Y2Y3 = 62.1 - X2*1.86 - X3*3 + X2*X3*0.15 + X3*X3*0.05$ 。由图 2 可以看出，N、P 交互作用下，当 N 为 15.33 g 时，P 为最大施肥量上限 15 g 时，叶绿素含量增量达最低值 5.99；当 N、P 均为最小施肥量下限 3 g 时，叶绿素含量增量达最高值 46.56。由图 3 可以看出，N、K 交互作用下，当 N 为 15.33 g 时，K 为最大施肥量上限 30 g 时，叶绿素含量增量达最小值-11.11，说明 N、K 交互除正效应外还存在一定的负效应；由图 4 可以看出，当 N、P 均为最小施肥量下限 3 g 时，叶绿素含量增量达最高值 43.59。P、K 交互作用下，当 P、K 均为施肥量最大值上限时，叶绿素含量增量达最大值 56.7，但该值与 P、K 为施肥量最小值下限 3 g 时，叶绿素含量增量 49.32 仅相差 7.38。当 P 为施肥量下限最小值 3 g 时，K 为施肥量 25.5 g 时，叶绿素含量增量达最小值 24。

### 3.4. 合理施肥量优化

采用频数分析法对本试验数学模型进行优化处理。依据试验方案中的因素与水平数可知全因素试验共需  $13^3 = 2197$  个试验处理组合，以叶绿素含量增量 > 12 为参照，结合数学模型可以计算出叶绿素含量增量 > 12 的处理组合共有 986 个，详细频数分布如下：

**Table 2.** Chlorophyll increment > 12 of frequency distribution and optimization of loquat seedlings  
**表 2.** 枇杷苗期叶绿素增量 > 12 时频数分布及优化

因素 Factors		X1 (尿素) Urea		X2 (过磷酸钙) Calcium superphosphate			X3 (硫酸钾) Potassium sulfate		
序号 Numbers	处理 Treatments	频数 Treatments	频率% Frequencies	处理 Treatments	频数 Treatments	频率% Frequencies	处理 Treatments	频数 Treatments	频率% Frequencies
1	3	169	17.1	3	59	6	3	129	13.1
2	4.7	159	16.1	4	58	5.9	5.25	110	11.2
3	6.3	140	14.2	5	60	6.1	7.5	81	8.2

## Continued

4	8	85	8.6	6	61	6.2	9.75	58	5.9
5	9.7	57	5.8	7	65	6.6	12	39	4
6	11.3	41	4.2	8	70	7.1	14.25	40	4.1
7	13	35	3.5	9	77	7.8	16.5	42	4.3
8	14.7	34	3.4	10	81	8.2	18.75	47	4.8
9	16.3	34	3.4	11	85	8.6	21	60	6.1
10	18	37	3.8	12	89	9	23.25	77	7.8
11	19.7	46	4.7	13	91	9.2	25.5	89	9
12	21.3	58	5.9	14	94	9.5	27.75	102	10.3
13	23	91	9.2	15	96	9.7	30	112	11.4
集中区平均值 Mean value of concentration area		4.56			12.6			4.91	
集中区标准误 Standard error of concentration area		0.96			0.77			1.32	
集中区 95%置信 区间 Concentration 95% confidence interval		4.56 ± 0.96			12.6 ± 0.77			4.91 ± 1.32	
模型最优值 Model optimum		3			3			3	
合理施肥区间 Reasonable fertilize interval		3~5.52			3~13.37			3~6.23	
纯元素比例 Pure elements proportion		1			0.26~0.46			1.13~1.28	

由表 2 中的统计数据可以看出, 尿素各处理频数分布主要集中在前三个处理, 共出现 468 次, 累积频率为 47.4%, 施肥量加权平均值为 4.56 g。过磷酸钙各处理频数分布总体呈现出递增趋势, 频数随施肥量的增加而增加, 这与过磷酸钙中磷元素含量低及磷元素在土壤中移动范围小有一定的关系。在所有处理中频率 > 8% 以上的累积频数 536 次, 累积频率为 54.2%, 施肥量加权平均值为 12.6 g。硫酸钾各处理频数分布呈两极分化状, 集中分布于低施肥区和高施肥区, 其中低施肥区处理主要集中在前 3 个处理, 共出现 320 次, 累积频率为 32.5%, 施肥量加权平均值为 4.91 g, 高施肥区处理主要集中在后面 2 个处理, 共出现 214 次, 累积频率为 21.7%, 高施肥区出现集中分布可能存在多种原因, 目前还不能给出合理解释。结合施肥实践综合分析, 将低施肥区作为硫酸钾适宜施肥区分析较为合理, 其中尿素适宜的施肥量范围为 3~5.52 g 之间, 过磷酸钙适宜的施肥量范围为 3~13.37 g 之间, 变化范围较大, 这可能与苗期的营养生长对磷元素的吸收量不敏感有一定关系, 具体施用量在实际施用时需根据施用效果及施用成本进行适当调整, 硫酸钾适宜的施肥量范围为 3~6.23 g 之间。

## 4. 结论

均匀设计施肥优化能够很好的对施肥量进行定量化分析[3] [4] [5]，通过建立的数学回归模型可分析出单因素及因素间的交互效应，通过频数分析可确定出适宜的施肥量范围。本研究中，氮磷钾各元素在已确定好的施肥量上下限范围内进行优化，单因素效应表明枇杷苗期叶绿素含量增量值随施肥量增加总体呈下降趋势，其中氮肥存在明确的施用量临界点，对叶绿素含量增量表现为阶段性抑制；磷肥、钾肥施用量则表现为整体抑制，但钾肥用量上限附近抑制效果更为趋缓。N、P 与 N、K 互作在施用量下限处表现出最佳效应，而 P、K 互作则在施用量上下限两端效应最佳，出现该种现象可能与试验误差或其它因素有关，具体原因还有待于进一步深入分析。通过频数分析结合实践施肥应用最终确定出枇杷苗期氮磷钾三种肥料的合理施用量分别为尿素 3~5.52 g，过磷酸钙 3~13.37 g，硫酸钾 3~6.23 g，各元素间的具体比例 N:P:K 为 1:0.26~0.63:1.13~1.23，在实际施肥过程中应该参照该比例进行各类肥料用量的确定。

## 参考文献

- [1] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 刘正民, 郭素娟, 徐丞, 等. 基于饱和 D-最优设计的“燕山早丰”施肥研究[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(1): 70-77.
- [3] 周洋, 李勇, 王晶英, 等. 基于均匀设计研究氮、磷、钾肥对马铃薯产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2011, 15(2): 108-111.
- [4] 李文证, 马国成, 尹娟. 不同水肥处理对马铃薯肥料利用效率的影响[J]. 节水灌溉, 2016(9): 44-49.
- [5] 张朝春, 江荣凤, 张福锁, 等. 马铃薯氮、磷、钾肥料效应的研究[J]. 中国马铃薯, 2004, 18(6): 326-329.