

混料设计在辣椒不同类型氮肥 配比试验研究中的应用

庞占琴¹, 王鑫², 肖朝霞², 刘玲霞²

(1. 甘肃省华池县农技推广中心, 甘肃 华池 745600; 2. 陇东学院生命科学系, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 采用田间试验, 研究了混料设计中的单形重心设计在辣椒控释尿素、普通尿素配肥上的应用, 测定了辣椒的产量及其构成, 配置了各因子的产量回归方程, 解析寻优, 对肥料效应及经济效益进行了分析。结果表明, 三种氮肥比例为普通尿素 $U=0.20\sim0.30$, 控释尿素 D_{60} (控释期 60 天) $=0.40\sim0.60$, 控释尿素 D_{30} (控释期 30 天) $=0.20\sim0.40$ (换算为纯氮实际用量 $U=150.0\sim225.0\text{ kg/hm}^2$, $D_{60}=300.0\sim450.0\text{ kg/hm}^2$, $D_{30}=150.0\sim300.0\text{ kg/hm}^2$) 的方案, 预测最高产量可达 85.0 t/hm^2 。控释尿素 $D_{30}-D_{60}$ 两者配合施用、普通尿素与控释尿素 $D_{30}-D_{60}$ 三者配合施用均能显著提高辣椒产量, 比普通尿素分别增产 24.40 、 28.26 t/hm^2 , 增产率分别为 42.0% 和 49.0% , 产量差异均达极显著水平。施肥效应以 $D_{30}-D_{60}$ 混合最高, 为 20.88 t/hm^2 , 达极显著水平。经济效益分析表明, $U-D_{30}-D_{60}$ 处理施肥利润为 2.440 万元/hm^2 , 氮素利用率最高, 为 60.1% 。普通尿素与两种控释尿素按一定比例混合施用有利于提高辣椒产量和增加农民的经济收入。

关键词: 辣椒; 包膜控释尿素; 混料设计; 氮肥配比; 经济效益

中图分类号: S641.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0047-04

混料试验就是研究各因子在混料中的比例, 而不涉及混料的总量^[1], 是试验中各因子的取值按所占百分比计, 且其总和等于 $1(100\%)$ ^[2]。关于混料试验的设计方法, 自 1958 年 Scheffe^[3] 提出了单形格子与单形重心设计后, 发展至今天, 已有多种设计方法^[4]。这些方法主要应用于冶金、化工等领域^[5], 并取得了良好的效果, 农业领域遇到的不少问题也可用混料设计方法处理。近几年来, 一些研究者就该方法在植物营养与肥料方面的应用开展了一些研究工作, 如国内外一些学者都利用单形格子设计研究了作物不同生长期肥料的分配问题^[6,7]; Schrevens 等^[8]探讨了应用混料设计研究水培营养配方的效果。在控释肥料方面的混料试验只在土壤模拟试验条件下研究控释肥料的释放特性^[2], 对控释尿素混料设计在作物上的田间试验目前未见报道。陇东近年来辣椒生产发展极为迅速, 据庆阳市统计局和经作站统计: 2004 年各类蔬菜栽培面积为 2.98 万 hm^2 , 2005 年各类蔬菜栽培面积为 4.8 万 hm^2 , 比 2004 年增长 60.81% ; 辣椒设施栽培面积为 461 hm^2 , 其中温室栽培面积为 12.8 hm^2 。在辣椒生产中, 施肥的单一性和盲目性导致养分比例严重失调从而影响了辣椒的产量和品质, 致使生产成本

加大、经济效益降低。控释尿素如何合理施用才能提高辣椒的产量和品质, 针对这一突出问题, 本研究于 2004-2005 年进行了辣椒配方施肥田间试验, 以探索辣椒不同控释尿素与普通尿素的最佳配比, 为辣椒的优质、高产施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与基础肥力

试验在黄土高原腹地庆阳市西峰区董志乡进行。试验地为钢架拱棚, 供试土壤为黑垆土, 试验地基础肥力为: 有机质 15.66 g/kg , 全氮 1.93 g/kg , 碱解氮 62.26 mg/kg , 速效磷(P) 11.62 mg/kg , 速效钾(K) 229.8 mg/kg 。

1.2 供试肥料

包膜控释尿素由北京农林科学院植物营养与资源研究所提供, 系 $3\sim5\text{ mm}$ 的大颗粒尿素, 以高分子聚合物为包膜材料, 添加成孔剂制成。控释尿素 D_{60} (控释期 60 天), 控释尿素 D_{30} (控释期 30 天), 含氮量 $\geq 46.2\%$ 。

1.3 供试辣椒品种

22 号尖椒。

收稿日期: 2008-03-17

基金项目: 甘肃省庆阳市科技攻关计划项目(GDK031-1-5); 陇东学院科学研究项目(Szzk0312)

作者简介: 庞占琴(1969—), 女, 甘肃华池人, 高级农艺师, 主要从事农业技术推广工作。

通讯作者: 王鑫(1956—), 男, 甘肃肃原人, 副教授, 主要从事植物营养及新型肥料的应用研究工作。

1.4 试验设计

采用{3,3}单形重心设计^[4,5],在田间试验条件下,将控释尿素 D₆₀(控释期 60 天)、控释尿素 D₃₀(控释期 30 天)、普通尿素单施和配合施用,共 7 个处理(表 1),以施磷钾不施氮肥为对照,随机区组,重复 3 次,小区面积 12 m²,全生育期纯氮用量 525 kg/hm²。

于 11 月上旬育苗,翌年 4 月上旬移栽定植,定植密度 60 000 株/hm²,控释尿素在定植前按用量一次施入;尿素 1/2 做基肥,1/2 在“门椒”采收期施入;磷钾肥做基肥一次施入。所有基肥于翌年 3 月下旬单行开沟施于垄中。分期采收,分期计产,以总产量进行统计分析,定期观察记载,其他管理同于大田。

表 1 辣椒不同氮肥比{3,3}单形重心设计方案

Table 1 Simplex centroid design combination of coated urea and urea on hot pepper

试验 No.	处 理 Treatment	编码值 Coding value			施 N 量 Actual fertilizer rate(纯 N kg/hm ²)		
		X ₁ (U)	X ₂ (D ₆₀)	X ₃ (D ₃₀)	U	D ₆₀	D ₃₀
1	U	1	0	0	750.00	0.00	0.00
2	D ₆₀	0	1	0	0.00	750.00	0.00
3	D ₃₀	0	0	1	0.00	0.00	750.00
4	U - D ₆₀	1/2	1/2	0	375.00	375.00	0.00
5	U - D ₃₀	1/2	0	1/2	375.00	0.00	375.00
6	D ₆₀ - D ₃₀	0	1/2	1/2	0.00	375.00	375.00
7	U - D ₆₀ - D ₃₀	1/3	1/3	1/3	250.00	250.00	250.00
8	CK	0	0	0	0.00	0.00	0.00

注:U—普通尿素;D₆₀—控释期 60 天的控释尿素;D₃₀—控释期 30 天的控释尿素。每 hm² 施 P₂P₃ 300 kg、K₂O 225 kg

Note: U—urea; D₆₀—controlled release urea with 60 days of release duration; D₃₀—controlled release urea with 30 days of release duration; P and K application was 300 kg and 225 kg per hm², respectively.

2 结果与分析

2.1 辣椒产量的方差分析与回归方程的建立

表 2 表明,试验各处理与普通尿素相比较,控释尿素 D₆₀~D₃₀两者配合施用、普通尿素与控释尿素 D₆₀~D₃₀三者配合施用分别增产 24.40、28.26 t/hm²,增产率为 42.0% 和 49.0%,产量差异均达极显著水平;D₆₀单独施用增产 20.16 t/hm²,增产率为 35.0%,U - D₆₀、U - D₃₀配合施用增产 18.96、15.66 t/hm²,增产率为 33.0% 和 27.0%,说明与普通尿素比较,普通尿素与控释尿素 D₆₀、D₃₀两者配合施用或普通尿素与控释尿素 D₆₀~D₃₀三者配合施用可显著提高辣椒产量。

方差分析表明(处理 $F = 81.57$ $F_{0.05} = 4.76$ $F_{0.01} = 9.78$)各处理间差异达极显著水平。试验各处理辣椒产量显著高于对照,处理 7 最高,与各处理比较产量差异均达极显著水平;处理 6 与处理 2、4 比较产量差异未达显著水平,与其他各处理比较差异达极显著水平;单施尿素的处理 1 除与对照比较差异达极显著外,均低于其他各处理,差异达极显著水平;D₆₀单施与 D₃₀、普通尿素单施比较,产量差异达极显著水平;说明单施时以 D₆₀为最好,配合时则 U - D₃₀ - D₆₀或 D₃₀ - D₆₀都能显著提高辣椒产

量,在辣椒生产中应大力推广各种尿素的配合施用。

将表 2 试验产量结果代入(I) $b_i = y_i$, (II) $b_{ij} = 4y_{ij} - 2(y_i + y_j)$, (III) $b_{ijk} = 27y_{ijk} + 3(y_i + y_j + y_k) - 12(y_{ij} + y_{ik} + y_{jk})$ 配置得编码值回归方程为:

$$y = 4332x_1 + 5184x_2 + 4568x_3 + 1384x_1x_2 + 1736x_1x_3 + 2224x_2x_3 + 11760x_1x_2x_3$$

对上述回归方程经控制点检验^[4], $|\Delta y_i|$ 为 1 个控制点的试验结果 y_i ($i = 1, 2, \dots, 1$) 与用所得的回归方程求出的相应点的预测值 $\hat{y}_i$ 间的差值,所有的 $|\Delta y_i| < \epsilon = 0.75$ t/hm²。说明配置的回归方程是适宜的,该模型可以反映试验的实际情况。

2.2 优化方案的解析

采用频数分析法,根据模型,将因子按一定间隔变化,将满足 $\sum x_i = 1$ 的模型组合模拟出来,并按高产要求,对高于某产量的配合方案进行频数分析,其结果为:

≥ 85.0 t/hm² 的高产组合 $X_1 = 0.20 \sim 0.30$, $X_2 = 0.40 \sim 0.60$, $X_3 = 0.20 \sim 0.40$, 换算为每公顷纯氮实际用量为 $X_1(U) = 150.0 \sim 225.0$ kg, $X_2(D_{60}) = 300.0 \sim 450.0$ kg, $X_3(D_{30}) = 150.0 \sim 300.0$ kg;

$83.0 \sim 85.0$ t/hm² 的高产组合 $X_1 = 0.10 \sim 0.40$, $X_2 = 0.20 \sim 0.40$, $X_3 = 0.20 \sim 0.50$; 换算为每公顷纯氮实际用量为 $X_1(U) = 75.0 \sim 300.0$ kg, $X_2(D_{60}) =$

300.0~450.0 kg, $X_3(D_{30})=300.0\sim375.0$ kg;
81.0~83.0 t/hm² 的高产组合 $X_1=0.20\sim0.50$,
 $X_2=0.20\sim0.30$, $X_3=0.10\sim0.60$; 换算为每公顷纯
氮实际用量为 $X_1(U)=112.5\sim150.0$ kg, $X_2(D_{60})=$
 $75.0\sim187.5$ kg, $X_3(D_{30})=75.0\sim187.5$ kg;
≤80.0 t/hm² 的产量组合 $X_1=0.50\sim0.70$, X_2
 $=0.10\sim0.20$, $X_3=0.10\sim0.20$, 换算为每公顷纯
氮实际用量为 $X_1(U)=375.0\sim525.0$ kg, $X_2(D_{60})$
 $=75.0\sim150.0$ kg, $X_3(D_{30})=75.0\sim150.0$ kg。

2.3 辣椒混合施用控释尿素与普通尿素的效应
用差减法^[9]由表 2 产量结果计算出控释尿素与

普通尿素的肥料效应, 结果表明: 普通尿素与 D_{60} 配
合呈不显著的负效应, D_{30} 与 U、 UD_{60} 配合呈现正效
应并达极显著水平, 与 D_{60} 配合呈不显著的正效应,
 D_{60} 分别与 U、 D_{30} 、 UD_{30} 配合均呈现正效应并达极显
著水平。
2.4 辣椒控释尿素与普通尿素混料试验效益分析
表 2 表明, 单位面积的施肥利润、产投比以 U-
 $D_{60}-D_{30}$ 混合施用为最高, 每 hm² 增加经济收入为
2.440 万元, $D_{60}\sim D_{30}$ 次之, 每 hm² 增加经济收入为
1.953 万元, U 处理单位面积的施肥利润、产投比最
小, 每 hm² 增加经济收入为 0.454 万元。

表 2 控释尿素与普通尿素混料试验经济效益分析
Table 2 Economic beneficial analysis of mixture experiment design with controlled release urea and urea

处 理 Treatment	鲜果产量 Fresh fruit yield (t/hm ²)				增产量 Yield increase (t/hm ²)	增产率 Yield increase rate (%)	总产值 Output (万元/hm ²)	增产值 Value increase (万元/hm ²)	化肥成本 Chemical fertilizer cost (万元/hm ²)	施肥用工 Labor cost (万元/hm ²)	利润 Profit (万元/hm ²)	产投比 Output-input ratio
	产量	Yield	5%	1%								
U	64.98	e	E		7.38	13.5	6.498	0.738	0.164	0.12	0.454	20.1
D_{60}	77.76	bc	BC		20.16	35.0	7.776	2.016	0.457	0.03	1.529	98.2
D_{30}	68.52	de	DE		10.92	19.0	6.852	1.092	0.457	0.03	0.605	53.2
U- D_{60}	76.56	bc	BC		18.96	33.0	7.656	1.896	0.311	0.03	1.555	64.7
U- D_{30}	73.26	c	CD		15.66	27.0	7.326	1.566	0.311	0.03	1.225	53.4
$D_{60}-D_{30}$	81.48	ab	AB		24.40	42.0	8.148	2.440	0.457	0.03	1.953	118.9
U- $D_{60}-D_{30}$	85.86	a	A		28.26	49.0	8.586	2.826	0.360	0.03	2.436	110.2
CK	57.60	f	F		—	—	5.760	—	—	—	—	—

* LSD0.05 = 5.288 t/hm² ** LSD0.01 = 7.175 t/hm²

注: 产值按辣椒鲜重 1.00 元/kg 计, 普通尿素纯氮按 3.13 元/kg 计, 控释尿素纯氮按 8.70 元/kg 计。施肥用工按每个 20 元计, 产投比为
增产值比化肥成本与施肥用工之和。

Note: The price of fresh hot pepper fruit was supposed to be RMB 1.00 yuan per kilogram, the price of N in urea and controlled release urea was
supposed to be RMB 3.13 and 8.70 yuan per kilogram, the labor cost was RMB 20 yuan per person each day, output-input ratio was the result of value
increase divided by chemical fertilizer cost and labor cost.

2.5 氮肥利用率分析

表 3 表明: 普通尿素的氮素利用率最低为
28.4%, 施用控释尿素的各处理均比普通尿素的氮
素利用率高, 其中以 $UD_{30}D_{60}$ 处理氮素利用率最高
为 60.1%, 比普通尿素相对高 111.6%, 其次 $D_{30}D_{60}$
为 56.3%, 比普通尿素相对高 98.2%, UD_{30} 位居第
三, 为 43.1%, 比普通尿素相对高 51.8%。单施
 D_{30} 、 D_{60} 利用率为 35.3%、35.7%, 比普通尿素相对
高 24.3%、25.7%。

3 结 论

1) 研究表明, 控释尿素 $D_{60}\sim D_{30}$ 两者配合施
用、普通尿素与控释尿素 $D_{60}\sim D_{30}$ 三者配合施用均
能显著提高辣椒产量, 比普通尿素分别增产 24.40、
28.26 t/hm², 增产率分别为 42.0% 和 49.0%, 产量

差异均达极显著水平。
2) 采用频数分析法^[7], 根据模型, 并按高产量
要求进行频数分析, 其结果为 $x_1=0.20\sim0.30$, x_2
 $=0.40\sim0.60$, $x_3=0.20\sim0.40$, 换算为每公顷纯
氮实际用量为 $x_1(U)=150.0\sim225.0$ kg, $x_2(D_{60})$
 $=300.0\sim450.0$ kg, $x_3(D_{30})=150.0\sim300.0$ kg;
方案组合预测最高产量可达 85.0 t/hm²。
3) 从施肥效应来看, $D_{30}D_{60}$ 混合效应最高, 为
20.88 t/hm², 达极显著水平, 说明两种不同控释期
的控释尿素按一定比例混合施用可显著提高辣椒的
产量, 在辣椒生产中应大力推广应用。经济效益分
析表明, U- $D_{60}-D_{30}$ 处理单位面积的施肥利润为
2.440 万元/hm², 因此, 将普通尿素与两种控释尿素
按一定比例混合施用有利于增加农民的经济收入。

表 3 辣椒施用控释尿素的氮素利用率(g/kg)
Table 3 The nitrogen use efficiencies of hot pepper with envelope control-release urea technology

处 理 Treatment	果实全氮 Nitrogen weight of fruit	比对照 增加(%) Increase compared with contrast	茎全氮 Nitrogen weight of stem	比对照 增加(%) Increase compared with contrast	叶全氮 Nitrogen weight of leaves	比对照 增加(%) Increase compared with contrast	净吸氮 总量 Total N absorption	氮素 利用率(%) Nitrogen utilization rate
U	30.52	4.74	21.85	6.05	15.96	3.23	14.02	28.4
D ₆₀	36.90	11.12	19.24	3.44	16.01	3.28	17.84	35.7
D ₃₀	36.52	10.74	15.30	-0.50	19.19	6.46	17.66	35.3
U-D ₆₀	35.84	10.06	17.93	2.13	17.28	4.55	16.74	33.5
U-D ₃₀	37.48	11.70	17.04	1.24	21.32	8.59	21.53	43.1
D ₆₀ -D ₃₀	43.12	17.34	17.51	1.71	21.81	9.08	28.13	56.3
U-D ₆₀ -D ₃₀	43.96	18.18	19.64	3.84	21.04	8.31	30.33	60.1
CK	25.78	—	15.80	—	12.73	—	—	—

注:每 hm² 施用纯氮 750 kg。 Note: N application was 750 kg per hm².

4) U-D₃₀-D₆₀三者配合氮素利用率最高为60.1%,比普通尿素相对高111.6%,其次D₃₀-D₆₀为56.3%,比普通尿素相对高98.2%。

参 考 文 献:

[1] 张国祯,孙秉寅,黄占斌,等. 混料设计在花椒培肥试验研究中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(6):135—138.
[2] 王小利,周建斌,郑险峰,等. 控释氮肥养分控释效果及合理施用研究[J]. 植物营养与肥料研究,2003,9(4):390—395.
[3] Scheffe H. Experiments with mixtures[J]. J Roy Stat Soc B, 1958,20:344—360.
[4] 白厚义,肖俊璋. 试验研究及统计分析[M]. 西安:世界图书出

版公司,1998.
[5] 刘春光,周建斌,董竹君. 混料设计在肥料配比研究中的应用[J]. 西北农林科技大学学报,2001,29(1):59—62.
[6] Duda G G. Use of simplex-lattice design techniques to determine optimum distribution of fertilizers between times of their application[J]. Fertilizer Research, 1992,31:193—207.
[7] 李 隆. 肥料试验中应用的单形格子设计及其统计分析[J]. 土壤通报,1992,23(6):275—276.
[8] Schrevens E, Cornell J. Design and analysis of mixture systems: Applications in hydroponic, plant nutrition research[J]. Plant and Soil, 1993,15(4):45—52.
[9] 王 鑫. 陇东旱原冬油菜氮磷与硼锌配施的效果[J]. 土壤肥料,2000,(2):17—19.

Application of mixture design in the experiment of combination of different kinds of N-fertilizer on hot pepper

PANG Zhan-qin¹, WANG Xin², XIAO Zhao-xia², LIU Ling-xia²

(1. Huachi County Agri-technical extention Center, Huachi, Gansu 745600, China;
2. Department of Life Sciences, Longdong University, Qingyang, Gansu 745000, China)

Abstract: Field experiment was conducted to study the application of simplex centroid design in mixture experiment of combination of controlled-release urea and normal urea on hot pepper, and the pepper yield and its components are determined. Based on configuration of various factors to establish yield regression equation, effect and benefit of fertilizer application were analyzed. The results show that both the combined application of two kinds of controlled-release urea D₃₀-D₆₀ and the combined application of normal urea and controlled-release urea D₃₀-D₆₀ can increase the pepper yield by 24.40 t/hm² and 28.26 t/hm², with a increasing rate of 42.0% and 49.0% respectively compared to the application of single normal urea. The highest yield-increasing effect of the mixture of D₃₀-D₆₀ can get to a significant level of 20.88 t/hm². And the results of economic benefit analysis show that, with the nitrogen use efficiency as high as 60.1%, the profit per unit area of U-D₃₀-D₆₀ treatment is 24 400 yuan/hm². Therefore, mixed application of the normal urea and two kinds of controlled-release urea at a certain rate will benefit the increase of pepper yield and farmers' income.

Keywords: hot pepper; coated controlled-release urea; mixture design; N-fertilizer combination rate; economic benefit