

DOI:10.11937/bfyy.201506014

# 氮磷钾耦合效应对日光温室厚皮甜瓜产量的影响

叶 林, 李 建设, 张 光 弟, 高 艳 明

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

**摘 要:**以厚皮甜瓜“蜜世界”为试材,采用三因素五水平二次回归通用旋转组合设计,通过计算机模拟构建数学模型,探讨氮、磷、钾肥的主效应因子效应、单因子效应、互作效应、边际产量和最佳施肥量,以期探寻日光温室厚皮甜瓜最佳施肥方案。结果表明:3个因子对甜瓜产量的影响的大小顺序为施磷量>施氮量>施钾量。当施氮量为 449.78 kg/hm<sup>2</sup>、施磷量为 449.33 kg/hm<sup>2</sup>、施钾量为 449.78 kg/hm<sup>2</sup> 时,甜瓜产量最高,可达 26 097.95 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**氮磷钾;耦合;日光温室;甜瓜;产量

**中图分类号:**S 652.406<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)06-0050-05

随着经济的发展和人民生活水平的不断提高,国内外对甜瓜的需求量日益增长,甜瓜种植业发展很快,种植面积迅速扩大。据联合国粮农组织(FAO)统计,全世界甜瓜总产量的增长率均高于世界五大水果(葡萄、香蕉、柑橘、苹果、西瓜)<sup>[1]</sup>。甜瓜果实香甜可口,在我国南北保护地均有栽培,是广大人民群众喜食的一种鲜食水果<sup>[2]</sup>。甜瓜适合在土层深厚的冲积沙土或沙壤土中生长,对肥料和温度较为敏感。而配方施肥<sup>[3]</sup>是甜瓜栽培获得高效益的最基本条件。氮、磷、钾是植物生长发育必需的大量营养元素<sup>[4]</sup>,对甜瓜的生长和产量、品质的

形成不可缺少。有学者已经在黄瓜<sup>[5]</sup>、番茄<sup>[6]</sup>、辣椒<sup>[7]</sup>、西瓜<sup>[8]</sup>、草莓<sup>[9]</sup>、苹果<sup>[10]</sup>等园艺作物上应用配方施肥,认为合理的肥料配比可以达到增产、高效的效果。国内外关于蔬菜配方施肥的研究很多,然而有关厚皮甜瓜配方施肥的研究及其耦合效应<sup>[11]</sup>的模型构建鲜有报道。为了更好地提高保护地内肥料利用率,探索氮、磷、钾三要素<sup>[12]</sup>的耦合关系对甜瓜产量的影响,现采用二次通用旋转组合设计,通过建立数学模型<sup>[13]</sup>量化氮、磷、钾肥施用量,以期得出最佳施肥量,为温室高产、高效栽培提供理论依据<sup>[14]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在宁夏银川市兴庆区掌政镇五渡桥村设施蔬菜现代农业示范园日光温室内进行。日光温室长 85 m,跨度 7 m,脊高 3.4 m,棚膜为 EVA 华盾膜,试验地地处银川平原,属温带大陆性气候,气候四季分明,昼夜温差较大,全年日照达 3 000 h,是我国日照和太阳辐射最充足的地区之一,较适宜发展设施农业。

**第一作者简介:**叶林(1977-),男,蒙古族,内蒙古阿拉善左旗人,硕士,讲师,现主要从事设施园艺与蔬菜生理生态等研究工作。E-mail:yelin.3993@163.com.

**基金项目:**宁夏自然科学基金资助项目(NZ1112);自治区级大学生创新性实验计划资助项目(12CHY03);国家星火计划资助项目(2012GA88002);宁夏回族自治区科学技术厅资助项目(2010GA880007)。

**收稿日期:**2014-11-10

## Influence of Cold Haze Weather on Facility Vegetable Production in Henan Province

WANG Zhi-yong, ZHAO Yan-yan, YAO Qiu-ju, YUAN Yu-xiang, ZHANG Xiao-wei, ZHANG Qiang  
(Institute of Horticulture, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450008)

**Abstract:** In cold winter, haze weather happened in most regions of Henan province. Haze weather not only has brought people daily life inconvenience and health hazards, but also has a big effect on vegetable safety production in winter. Through the analysis and research on reasons the haze happening and harms of the cold weather to vegetable production, active measures need to be taken to enhance the security production of greenhouse vegetable and improve disaster prevention and disaster mitigation of vegetable production under the condition of the cold haze weather.

**Keywords:** Henan province; greenhouse vegetables; haze; cold weather

## 1.2 试验材料

供试甜瓜(*Cucumis melo* L.)品种为“蜜世界”,由中国台湾农友种苗股份有限公司提供洋香瓜品种。

试验地土壤为黄河前套银川平原灌淤土<sup>[15]</sup>。土壤

基本理化性状见表1。

表1

供试土壤的基本性状

Table 1

Soil physical and chemical properties

土壤深度 Soil depth /cm	有机质 Organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen /(g·kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total phosphorus /(g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium /(mg·kg <sup>-1</sup> )	全盐 The total salt /(g·kg <sup>-1</sup> )	pH值 pH value
0~20	11.63	1.07	0.79	119.60	82.89	208.12	1.18	8.31

## 1.3 试验方法

试验甜瓜于2月份定植,4月底采收。甜瓜定植株距为35 cm,行距为65 cm。每行20株,每小区2畦,共计80株。共计20个小区,每小区随机选取20株测定甜瓜单瓜重,然后折合成公顷产量。甜瓜整枝采用单蔓整枝,子蔓留1个瓜。

试验采用三因素五水平二次回归通用旋转组合设计,设 $X_1$ 为N, $X_2$ 为 $P_2O_5$ , $X_3$ 为 $K_2O$ 三因素, $\gamma=1.68$ ,中心试验点 $m_0=6$ ,共设20个处理,每个处理3次重复<sup>[16]</sup>。每个小区面积为9 m<sup>2</sup>,小区与小区之间埋入深1 m的塑料布,防止肥料之间的互相渗透。肥料施用量方法是将氮肥用量的30%作为底肥,其余作为追肥分别在甜瓜升蔓期、始果期和结果盛期分3次平均施入。磷肥作为基肥一次性施入。钾肥的50%作为底肥施入,剩余的

50%在始果期施入。供试肥料氮、磷、钾分别用尿素(含N 46%),普通过磷酸钙(含 $P_2O_5$  12%),硫酸钾(含 $K_2O$  50%)。试验设计编码值及施肥水平见表2。通用旋转组合设计结构矩阵见表3。

表2

试验因子水平编码

Table 2 Coding of experimental factor and level

因素 Factor $X_j$	氮 N /(kg·hm <sup>-2</sup> )	磷 $P_2O_5$ /(kg·hm <sup>-2</sup> )	钾 $K_2O$ /(kg·hm <sup>-2</sup> )
+1.68	898.65	449.33	898.65
+1	716.64	358.32	716.64
0	449.78	224.89	449.78
-1	182.91	91.45	182.91
-1.68	0.90	0.45	0.90
变化间距 $\Delta$	266.87	133.43	266.87

表3

通用旋转组合设计结构矩阵及产量

Table 3

The code of factor, fertilizer rate and yield of quadratic general rotary unitized design

处理 Treatment	$X_1$ 氮 (N)	$X_2$ 磷 ( $P_2O_5$ )	$X_3$ 钾 ( $K_2O$ )	甜瓜产量 The yield of muskmelon/(kg·hm <sup>-2</sup> )
1	1	1	1	25 464.77
2	1	1	-1	25 167.92
3	1	-1	1	24 808.10
4	1	-1	-1	24 671.66
5	-1	1	1	25 074.96
6	-1	1	-1	24 791.60
7	-1	-1	1	23 662.67
8	-1	-1	-1	23 304.35
9	-1.68	0	0	22 940.03
10	1.68	0	0	25 296.85
11	0	-1.68	0	23 815.59
12	0	1.68	0	26 328.34
13	0	0	-1.68	24 139.43
14	0	0	1.68	25 496.25
15	0	0	0	25 674.66
16	0	0	0	26 068.97
17	0	0	0	25 466.27
18	0	0	0	25 836.58
19	0	0	0	25 661.17
20	0	0	0	25 509.75

## 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 软件处理及作图,采用 DPS v7.05 软件统计分析<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与分析

## 2.1 产量目标函数数学模型的建立与检验

采用 DPS 数据库系统对该次产量进行多元线性回

归分析,建立产量与氮、磷、钾三因素的回归模型为: $Y=25\ 703.03+530.32X_1+606.17X_2+245.80X_3-557.93X_1^2-220.81X_2^2-310.65X_3^2-218.33X_1X_2-26.05X_1X_3+10.68X_2X_3$  (1),且复相关系数 $R=0.97$ 。回归式显著性测定结果: $F_1=2.90282<F_{0.05}(5,5)=5.05$ ,失拟不显著,表明回归方程在试验区域拟合很好; $F_2=18.15731>F_{0.05}(9,10)=$

3.02,表明回归系数达极显著水平,说明建立的产量函数二次回归模型具有代表性,可作为产量预测模型。采用

$t$  检验对(1)式回归模型偏回归系数进行显著性检验,其结果见表4。

表4

 $t$  显著性检验结果

Table 4

Significant test results of  $t$ 

$t$ 值 Value of $t$	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_{12}$	$t_{13}$	$t_{23}$	$t_{11}$	$t_{22}$	$t_{33}$
计算值绝对值 Calculation of absolute value	202.7	6.30	7.20	2.92	1.97	0.24	0.08	6.81	2.69	3.79
对产量影响程度 The degree of influence on yield	**	**	**	*	不显著	不显著	不显著	**	*	**

注: $t > t_{0.01}(10) = 3.169$ ,极显著\*\*; $t > t_{0.05}(10) = 2.228$ ,显著\*; $t < t_{0.05}(10) = 2.228$ ,不显著。

Note: $t > t_{0.01}(10) = 3.169$ ,extremely significant\*\*; $t > t_{0.05}(10) = 2.228$ ,significant\*; $t < t_{0.05}(10) = 2.228$ ,no significant.

以下是  $\alpha = 0.10$  显著水平剔除不显著项后,简化的回归方程: $Y = 25\ 703.03 + 530.32X_1 + 606.17X_2 + 245.80X_3 - 557.93X_1^2 - 220.81X_2^2 - 310.65X_3^2 - 218.33X_1X_2$  (2)。

## 2.2 主因子效应分析

对回归方程一次项系数的  $t$  值检验得到: $t_1 = 6.03$ 、 $t_2 = 7.20$ 、 $t_3 = 2.92$ ,可知  $t_2 > t_1 > t_3$ ,三因素皆与产量存在相关性,各因子对甜瓜产量的影响的大小顺序为:施磷量>施氮量>施钾量。

## 2.3 单因子效应分析

由图1可知,在试验范围内,氮肥施用量与甜瓜产量之间呈抛物线关系。氮肥施用量水平由-1.682增加到0.48水平时,甜瓜产量由23 244.68 kg/hm<sup>2</sup>增至25 830.00 kg/hm<sup>2</sup>;超过0.48水平后产量开始下降;到1.682水平时,产量下降至25 029.345 kg/hm<sup>2</sup>。磷肥施用量与甜瓜产量之间也呈抛物线关系。从图1可以看出,磷肥施用量水平由-1.682增加到1.37水平时,甜瓜产量由24 071.055 kg/hm<sup>2</sup>增至26 131.50 kg/hm<sup>2</sup>;超过1.37水平后产量开始下降;到1.682水平时,产量下降至26 110.98 kg/hm<sup>2</sup>。钾肥施用量水平由-1.682增加到0.40水平时,甜瓜产量由24 423.165 kg/hm<sup>2</sup>至25 764.00 kg/hm<sup>2</sup>;超过0.40水平后产量开始下降;到1.682水平时,产量下降至25 250.355 kg/hm<sup>2</sup>。

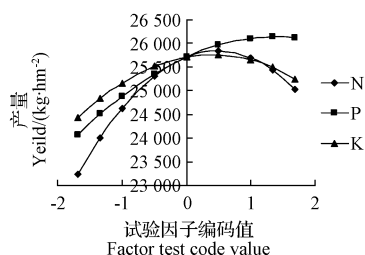


图1 施氮量、施磷量和施钾量对甜瓜产量的影响

Fig.1 Effect of nitrogen fertilizer,phosphate fertilizer and potash fertilizer amount on the yield of muskmelon

将回归模型中的  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  中的2个因素固定在零水平,求得单因素对产量的偏回归方程(3)、(4)、

(5),并据其描绘出相应的变化曲线。由图1可知,氮、磷、钾肥的施用量与甜瓜产量呈抛物线变化,在 $-1.68 \leq X_1 \leq +1.68$ 、 $-1.68 \leq X_2 \leq +1.68$ 、 $-1.68 \leq X_3 \leq +1.68$ 的区间内,随着氮、磷、钾肥的施用量分别从-1.68水平增加到极大值时,甜瓜产量相应达到最大值,当继续增加施肥量时,产量反而逐渐下降。

$$Y_1 = 25\ 703.03 + 530.32X_1 - 557.93X_1^2 \quad (3),$$

$$Y_2 = 25\ 703.03 + 606.17X_2 - 220.81X_2^2 \quad (4),$$

$$Y_3 = 25\ 703.03 + 245.80X_3 - 310.65X_3^2 \quad (5).$$

对上述(3)、(4)、(5)三式作偏回归子模型,分别令  $dy_1/dx_1 = 0$ 、 $dy_2/dx_2 = 0$ 、 $dy_3/dx_3 = 0$ ,可得  $x_1 = 0.48$ 、 $x_2 = 1.37$ 、 $x_3 = 0.40$ 。由于  $d^2y_1/dx_1^2 < 0$ 、 $d^2y_2/dx_2^2 < 0$ 、 $d^2y_3/dx_3^2 < 0$ ,故当  $x_1 = 0.48$ 、 $x_2 = 1.37$ 、 $x_3 = 0.40$  时,  $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$  有最大值为 25 830.00、26 131.50、25 764.00 kg/hm<sup>2</sup>。

## 2.4 边际效应分析

利用降维法得到各单因子作用模型,对模型求一阶导数得到边际产量子模型: $dy_1/dx_1 = 530.32 - 1\ 115.86X_1$ 、 $dy_2/dx_2 = 606.17 - 441.62X_2$ 、 $dy_3/dx_3 = 245.80 - 621.30X_3$ ,将编码值 $\pm 1.682$ 、 $\pm 1$ 和0代入上述子模型,算出边际产量并作图2。

图2中,斜率反映了单位肥料对产量的影响,磷肥和钾肥的变化对边际产量的影响相近,磷肥略高于钾肥,而氮肥的变化对边际产量的影响明显高于磷肥和钾肥。随着3种肥料的增加,边际产量均呈下降趋势,边

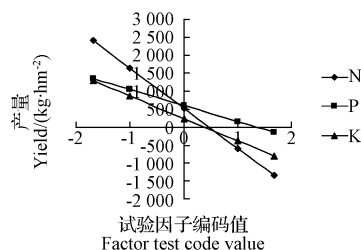


图2 甜瓜各单因素效应及边际产量效应

Fig.2 Fertilization effcter and marginal yield graph of muskmelon

际产量为零时,产量达最大值,超过此水平,呈负效应,这符合米采利希(E. Mitscherlich)提出的肥料效应报酬递减定律。从图 2 还可以直观的看出,各因子在不同水平时,对产量的影响也不同,这为在不同的条件下选择增产因素和决定施肥量大小提供了参数。

## 2.5 因子间交互作用效应分析

对(2)式作交互分析:将某一因素固定在零水平,分别得到氮磷( $X_1 X_2$ )对产量的交互方程为: $Y=1\ 714.35850+35.37256X_1+40.43160X_2-37.2024X_1^2-14.71643X_2^2-$

$$14.56250X_1 X_2 \quad (6)$$

由表 5 可知,当 N 水平为(-1.68~-0.50)时,P 水平为(-1.68~1.68)时,随 P 肥用量的增加,产量上升,而当 N 水平上升为(0~1.68)时,产量又开始下降。所以, $X_1 X_2$  交互效应的最大值出现在  $X_1=0.48, X_2=1.37$ ,即临界效应分界点。交互效应的最小值出现在  $X_1=-1.68, X_2=-1.68$ 。当 N 与 P 低于交互效应分界点时,与产量呈正相关,反之呈负相关。

表 5 氮、磷施用量的交互效应对甜瓜产量的影响

$X_1/X_2$	-1.68	-1.34	-1	-0.5	0	0.5	1	1.34	1.68
1.68	24 002.87	24 311.84	24 569.51	24 854.61	25 029.36	25 093.73	25 047.72	24 953.07	24 807.12
1.34	24 271.77	24 606.12	24 889.17	25 211.52	25 423.49	25 525.10	25 516.32	25 447.05	25 326.50
1.00	24 410.97	24 770.72	25 079.15	25 438.73	25 687.94	25 826.76	25 855.22	25 811.34	25 716.17
0.50	24 380.52	24 777.50	25 123.16	25 537.35	25 841.16	26 034.60	26 117.67	26 111.03	26 053.08
0	24 071.06	24 505.26	24 888.17	25 356.96	25 715.39	25 963.43	26 101.11	26 131.70	26 110.98
-0.50	23 482.56	23 953.99	24 374.13	24 897.54	25 310.58	25 613.24	25 805.52	25 873.34	25 889.85
-1.00	22 615.07	23 123.73	23 581.10	24 159.11	24 626.76	24 984.03	25 230.92	25 335.98	25 389.72
-1.34	21 863.64	22 397.69	22 880.45	23 495.69	24 000.57	24 395.07	24 679.20	24 809.63	24 888.77
-1.68	20 982.51	21 541.95	22 050.09	22 702.56	23 244.68	23 676.41	23 997.77	24 153.59	24 258.11

对图 3 进行分析,其产量效应结果列入表 6。由图 3 和表 6 可以看出,在氮肥小于 0.48、磷肥小于 1.37 施肥区域内,无论增加氮肥用量还是增加磷肥用量,产量都会增加;在氮肥大于 0.48、磷肥小于 1.37 施肥区域内磷肥施肥水平固定,产量随着施氮量的增加而降低,氮肥固定,产量随着磷肥用量的增加而增加;在氮肥小于 0.48、磷肥大于 1.37 施肥区域内,固定其中一个施肥水平,产量随着氮肥用量的增加而增加,随着磷肥用量的增加而降低;在氮肥大于 0.48、磷肥大于 1.37 施肥区域内,产量随着任意一个肥料用量的增加而降低。

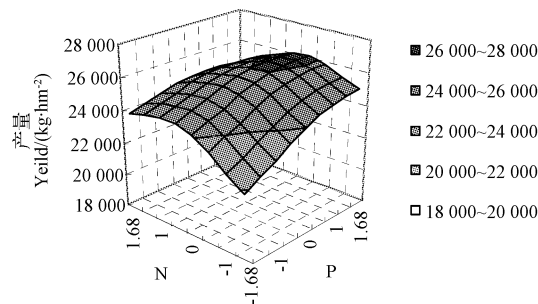


图 3 施氮量与施磷量交互效应曲面图

Fig. 3 The cure surface drawing of interaction response for muskmelon yield with nitrogen and phosphate fertilizer

## 2.6 模型寻优和频数分析

根据试验所得的数学模型,每个因素取 5 个水平:1.682、-1.628、1、-1 和 0,用计算机对  $5^3=125$  个方案进行寻优,得到甜瓜达最高产量时,施氮量、施磷量和施钾量的各因子水平分别为 0、1.682、0,即氮为 449.78 kg/hm<sup>2</sup>,磷

为 449.33 kg/hm<sup>2</sup>,钾为 449.78 kg/hm<sup>2</sup> 时,此时甜瓜产量最高,为 26 097.95 kg/hm<sup>2</sup>。

表 6 氮、磷施用量与甜瓜产量之间的关系

Table 6 Application amount of nitrogen, phosphorus and the relationship between the yield of muskmelon

区域 Range	因素变化 Factor variation	产量变化 Yield variation
当 $X_1 < 0.48, X_2 < 1.37$	N↑ P↑	↑
当 $X_1 > 0.48, X_2 < 1.37$	N↑ P—	↓
	N—P↑	↑
当 $X_1 < 0.48, X_2 > 1.37$	N↑ P—	↑
	N—P↑	↓
当 $X_1 > 0.48, X_2 > 1.37$	N↑ P↑	↓

注:“↑”表示增加,“↓”表示降低,“—”表示不变。

Note:“↑”means increase,“↓”means decrease,“—”means no change.

在所有的 125 个方案中,甜瓜产量高于 24 959.15 kg/hm<sup>2</sup> 的方案共有 33 个,从表 5 和表 7 可以看出,当  $X_1$  水平为 0.193~0.719,  $X_2$  水平为 0.544~1.082,  $X_3$  水平为 0.119~0.735 时,1 hm<sup>2</sup> 甜瓜产量有 95%

表 7 产量大于 24 959.15 kg/hm<sup>2</sup> 的 33 个方案中各变量取值的频率分布

Table 7 The frequency distribution of the value of variables in the 33 schemes of the yield above 24 959.15 kg/hm<sup>2</sup>

水平 Level	$X_1$	频率 Frequency	$X_2$	频率 Frequency	$X_3$	频率 Frequency
-1.682	0	0	0	0	0	0
-1	4	0.1212	2	0.0606	6	0.1818
0	12	0.3636	9	0.2727	11	0.3333
1	14	0.4242	12	0.3636	10	0.3030
1.682	3	0.0909	10	0.3030	6	0.1818



表 8 产量大于 24 959.15 kg/hm<sup>2</sup> 的  
33 个方案中各因子的频率

Table 8 The frequency distribution of  
variables in the 33 schemes of the yield above 24 959.15 kg/hm<sup>2</sup>

因子 Factor	加权均数 Weighted arithmetic	标准差 Standard deviation	95% 的分布区间 Distribution interval
X <sub>1</sub>	0.456	0.134	0.193~0.719
X <sub>2</sub>	0.813	0.137	0.544~1.082
X <sub>3</sub>	0.427	0.157	0.119~0.735

的可能高于 24 959.15 kg。也就是说当 1 hm<sup>2</sup> 投入氮肥量为 51.51~191.88 kg,投入磷肥量为 72.59~144.37 kg,投入钾肥量为 31.76~196.15 kg 时,甜瓜产量有 95% 的可能高于 22 495.915 kg/hm<sup>2</sup>。

### 3 结论与讨论

该试验在土壤肥力水平下,通过计算机模拟建立了日光温室甜瓜配方施肥数学模型,其拟合性较好,回归性显著,可反映氮磷钾耦合与甜瓜产量的关系。3 个因子对甜瓜产量的影响的大小顺序为:施磷量>施氮量>施钾量。其中,只有氮和磷之间有交互作用,而氮钾与磷钾无交互作用,这与姚静等<sup>[18]</sup>不一致,需进一步探讨。当各因子水平分别取 0、1.682、0 时,该试验研究得出日光温室厚皮甜瓜高产的最佳施肥配方,即施氮量为 449.78 kg/hm<sup>2</sup>;施磷量为 449.33 kg/hm<sup>2</sup>;施钾量为 449.78 kg/hm<sup>2</sup> 时,甜瓜产量最高,为 26 097.95 kg/hm<sup>2</sup>。

该试验所施化肥是基于甜瓜生长的各个时期而定,有基施有追施比例不同。特别是钾肥能促进营养成分运转而提高植物对氮的利用,由于日光温室是一个半封闭的环境,使得园艺作物生长环境变得复杂,模型的参数不可避免的受到温室小气候、园艺作物品种、土壤肥力水平等外界因素的影响,因此,该试验建立的数学模型需要进一步研究和验证。

### 参考文献

- [1] 王坚. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京:中国农业出版社,2000:14-21.
- [2] 王军,黄冠华,郑建华. 西北内陆旱区不同沟灌水肥对甜瓜水分利用效率和品质的影响[J]. 中国农业科学,2010(15):3168-3175.
- [3] 郭熙,赖锦春,赵小敏,等. 基于 GIS 丘陵土壤分区的水稻施肥配方研究[J]. 中国农业科学,2011(2):307-315.
- [4] 杨小锋,别之龙. 氮磷钾施用量对水培生菜生长和品质的影响[J]. 农业工程学报,2008(2):265-269.
- [5] 王丽英,张彦才,翟彩霞. 平衡施肥对连作日光温室黄瓜产量、品质及土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报,2008(6):1375-1383.
- [6] 何传龙,马友华,于红梅. 减量施肥对保护地土壤养分淋失及番茄产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010(4):846-851.
- [7] 梁运江,依艳丽. 水肥耦合效应对辣椒产量影响初探[J]. 土壤通报,2003(4):262-266.
- [8] 李云祥,王光英,万兵全. 甘肃中部地区砂田西瓜平衡施肥效应及效益研究[J]. 土壤通报,2008(2):453-455.
- [9] 顾玉成,杨波,万进,等. 平衡施肥对提高草莓产量和品质的效果[J]. 湖北农业科学,2005(4):57-58.
- [10] 刘汝亮,同延安,高义民,等. 渭北旱塬苹果园土壤养分状况分析与平衡施肥研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008(3):135-140.
- [11] 邵东国,孙春敏,王洪强,等. 稻田水肥资源高效利用与调控模拟[J]. 农业工程学报,2010(12):72-78.
- [12] 高志红,陈晓远,林昌华. 不同施肥水平对木薯氮磷钾养分积累、分配及其产量的影响[J]. 中国农业科学,2011(8):1637-1645.
- [13] 李光庆,谢祝捷,姚雪琴. 花椰菜氮磷钾平衡施肥和阶段施氮效应函数的建立及在配方施肥中的应用[J]. 中国农业科学,2011(10):2070-2080.
- [14] 李娟,章明清,林琼,等. 水稻根系氮磷钾吸收特性及其模拟模型研究[J]. 土壤通报,2011(1):117-122.
- [15] 叶林,李建设,高艳明. 氮磷钾施用量与日光温室西瓜产量的相关性研究[J]. 农业科学研究,2008(1):22-24.
- [16] 段震宇,桑志勤,王婷,等. 新饲玉 11 号氮磷钾最佳施肥量及肥效模型拟合研究[J]. 干旱地区农业研究,2013(2):38-41.
- [17] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS v7.05 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [18] 姚静,邹志荣,杨猛,等. 日光温室水肥耦合对甜瓜产量影响研究初探[J]. 西北植物学报,2004(5):890-894.

## Effect of Nitrogen Phosphorus Potassium Coupling on the Yield of Muskmelon in Solar Greenhouse

YE Lin, LI Jian-she, ZHANG Guang-di, GAO Yan-ming

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** With muskmelon 'Honey world' as material, with three factors and five levels of the quadratic General Rotary unitized design by means of computer simulation of mathematical model to explore the main factor effect of nitrogen, phosphorus and potassium, single factor effect, the interactions, the marginal yield and optimum fertilization with a view to exploring the best of muskmelon in sunlight greenhouse fertilization. The results showed that 3 factors on muskmelon yield in the order of phosphorus > nitrogen > potassium. When nitrogen was 449.78 kg/hm<sup>2</sup>, phosphorus was 449.33 kg/hm<sup>2</sup>, potassium was 449.78 kg/hm<sup>2</sup>, muskmelon yield could receive a maximum yield of 26 097.95 kg/hm<sup>2</sup>.

**Keywords:** nitrogen, phosphorus and potassium; coupling; solar greenhouse; muskmelon; yield