

杨凌地区黄精氮磷钾优化施肥模式研究

王占红¹, 王瑾¹, 朱伍凤¹, 蒋花², 张小燕², 张跃进^{1*}

(1. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用氮、磷、钾三因素二次D-饱和最优设计, 通过田间试验研究了氮、磷、钾的施肥量与黄精一年生根茎产量、多糖含量的效应函数。结果表明, 氮、磷、钾肥对黄精产量的增产作用大小依次为磷肥>钾肥>氮肥, 对多糖含量的作用大小依次为钾肥>氮肥>磷肥, 其中磷肥为负效应, 氮、钾肥为正效应。寻优结果表明, 当目标产量为3 500~4 500 kg/hm²时, 在95%的置信区间, 优化施肥量为N 89.74~136.18 kg/hm², P₂O₅ 121.39~157.16 kg/hm², K₂O 61.06~92.63 kg/hm²。在多糖含量8%~9.5%之间, 在95%的置信区间, 优化施肥量为:N 103.91~153.65 kg/hm², P₂O₅ 69.5~124.27 kg/hm², K₂O 68.16~95.36 kg/hm²。黄精高产优质高效栽培的优化施肥量为:N 103.91~136.18 kg/hm², P₂O₅ 121.39~124.27 kg/hm², K₂O 68.16~92.63 kg/hm², N、P₂O₅、K₂O的最佳比例为:1:0.89~0.91:0.5~0.68。

关键词: 黄精; 优化施肥; 产量; 多糖含量; 效应函数

中图分类号: S567.23*7; S143 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-7601(2012)03-0143-06

黄精 (*Polygonatum. sibiricum* Red.) 为百合科植物, 主产于我国长江以北地区, 陕西各地均产。作为一种常用中药, 它具有补气养阴, 健脾、润肺、益肾的功效^[1], 现代药理及临床研究证明, 黄精还具有抗衰老、降血糖、降血脂、提高和改善记忆、抗肿瘤、调节免疫、抗病毒、抗炎等作用^[2]。黄精化学成分主要包括黄精多糖、皂苷类、黄酮类等, 其中黄精多糖和总皂苷是目前研究较多的成分, 不同的药效成分具有不同的药理作用^[3]。随着黄精的化学药理研究日益深入, 黄精的需求量快速增加, 人们开始进行大面积栽培。但由于人工栽培时间较短, 目前黄精在人工栽培中仍沿用传统的施肥技术^[4-6], 不能根据黄精的生长发育规律和土壤养分含量确定肥料的最佳比例, 最佳用量, 这势必影响到药材的产量和品质, 造成肥料浪费, 土壤污染等问题。因此实行配方施肥, 规范化种植是黄精人工栽培亟待解决的问题。为此在陕西杨凌西北农林科技大学药用植物园, 通过田间试验, 采用氮、磷、钾三因素二次D-饱和最优设计, 研究氮、磷、钾不同施肥模式对一年生黄精产量和黄精多糖、总皂苷含量的影响, 建立相关的数学模型, 定量研究各施肥因子效应, 旨在选择优化施肥方案, 为黄精在关中地区的高产优质生产和配套栽培技术提供合理施肥依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2010—2011年在西北农林科技大学生命科学院药用植物园内进行(农作一站), 前茬作物为玉米。试验地海拔530 m; 年均温度13℃~15℃; 属暖温带半湿润气候; 供试土壤为褐土类, 塿土亚类。供试土壤0~20 cm养分状况为: 土壤有机质含量7.03 g/kg, 全氮0.76 g/kg, 全磷128.91 mg/kg, 全钾10.06 mg/kg, 碱解氮54.07 mg/kg, 有效磷2.48 mg/kg, 有效钾316.64 mg/kg。

1.2 试验方法

采用三因素二次D-饱和最优设计, 设10个处理, 三次重复, 小区面积2 m×3 m=6 m², 随机区组排列, 试验设计编码值及施肥量见表1(其中X₁代表N, X₂代表P, X₃代表K)。

施用肥料: 氮肥为尿素(含N≥46.4%), 磷肥为重过磷酸钙(P₂O₅≥46%), 钾肥为硫酸钾(K₂O≥51%)。施用方法: 钾肥在移栽整地前作为基肥一次施入, 氮肥和磷肥的2/3作基肥施入, 其余作追肥施入。试验采用黄精根状茎进行无性繁殖, 材料来源于陕西步长集团略阳黄精基地, 行株距为27 cm×20 cm, 3月31日移栽, 4月23日出苗, 5月16日定苗, 6

收稿日期: 2012-02-22

基金项目: 校企合作项目“黄精 GAP 基地建设项目”(2008BC-01)

作者简介: 王占红(1984—), 女, 河北承德人, 在读硕士, 主要从事药用植物规范化生产研究。E-mail: wangzhanhong125@sina.com。

* 通讯作者: 张跃进(1960—), 男, 硕士生导师。E-mail: zhangxyj@nwsuaf.edu.cn。

月 22 日搭设遮阴网,其他管理措施与黄精大田栽培管理措施相同。

1.3 测试项目及方法

2011 年 3 月 13 日收获,测定根茎鲜、干重,计根产量(鲜重),并折合成公顷产量。黄精根茎中多糖

和总皂苷含量的测定:采用药典^[1]规定的回流提取,蒽酮-硫酸比色法测定黄精多糖含量;采用尤新军^[7]等的方法,超声提取,香草醛-高氯酸比色法提取并测定黄精总皂苷含量。

表 1 N、P、K 三因素二次 D-饱和最优设计方案
Table 1 Optimal design of N, P and K at three-factor D-saturation

处理 Treatment	水平编码值 Code			施肥量 Fertilizing amount (kg/hm ²)		
	X ₁	X ₂	X ₃	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	-1	-1	-1	0	0	0
2	1	-1	-1	225	0	0
3	-1	1	-1	0	225	0
4	-1	-1	1	0	0	150
5	-1	0.1925	0.1925	0	134.1	89.4
6	0.1925	-1	0.1925	134.1	0	89.4
7	0.1925	0.1925	-1	134.1	134.1	0
8	-0.2912	1	1	79.41	225	150
9	1	-0.2912	1	225	79.41	150
10	1	1	-0.2912	225	225	53.16

1.4 数据分析

数据用 SPSS17.0 进行分析,EXCEL 和 MATLAB7.0 作图。

2 结果与分析

2.1 黄精氮、磷、钾优化施肥效应

氮、磷、钾优化施肥对黄精的生长状况(新增根茎鲜、干重)、产量、黄精多糖及总皂苷含量的影响见表 2。

表 2 黄精 N、P、K 肥效试验结果

Table 2 The result of objective function on N, P and K fertilizer experiment

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	多糖 Polysaccharide (%)	总皂苷 Steroids saponins (%)
1	2618.4 ± 108.23	8.219 ± 0.084	0.127 ± 0.0008
2	3509.01 ± 202.92	7.385 ± 0.076	0.244 ± 0.0005
3	3412.51 ± 113.35	7.373 ± 0.067	0.223 ± 0.009
4	2597.28 ± 107.19	8.333 ± 0.132	0.314 ± 0.0049
5	4009.39 ± 161.04	7.828 ± 0.214	0.292 ± 0.0046
6	3339.71 ± 210.12	8.641 ± 0.139	0.228 ± 0.0019
7	3916.09 ± 87.09	7.592 ± 0.125	0.283 ± 0.0024
8	4417.03 ± 78.57	7.668 ± 0.232	0.308 ± 0.0015
9	3557.56 ± 130.13	8.208 ± 0.118	0.259 ± 0.0012
10	3492.04 ± 163.77	9.49 ± 0.354	0.229 ± 0.0007

各施肥处理中黄精产量和总皂苷含量均明显高于对照,处理 8 对提高黄精产量和总皂苷含量效果

较为显著。不同施肥处理对黄精总皂苷含量的影响程度不同:对产量影响依次为单施氮 > 单施磷 > 单施钾;对黄精总皂苷含量影响表现为单施钾 > 单施氮 > 单施磷;氮、磷、钾配合施用时对产量和总皂苷含量影响程度依次为磷钾配施 > 氮磷配施 > 氮钾配施。氮、磷、钾对黄精多糖含量的影响需进一步分析。

2.2 黄精产量效应函数

根据试验结果,通过数学模拟得到黄精新增根茎产量与 N(X₁)、P(X₂)、K(X₃) 的编码效应函数为:

$$Y = 4148.585 + 21.825X_1 + 383.579X_2 + 104.589X_3 - 280.392X_1^2 - 430.109X_2^2 - 146.38X_3^2 - 273.644X_1X_2 - 145.016X_1X_3 + 264.986X_2X_3$$

经方差分析 $F = 31.29 > F_{0.01}(9, 20) = 3.46$, 达到极显著水平,说明方程拟合良好,用于推荐施肥具有较高的可靠性。通过求解产量效应函数的赫森矩阵各阶顺序主子行列式,判定矩阵为不等,进行函数极值判别,确定该肥料效应回归方程为非典型函数,因此,采用相应的频率分析方法对模型寻优。

计算 N(X₁)、P(X₂)、K(X₃) 对根茎产量指标的贡献率 Δ_j ^[8] 分别为: $\Delta_1 = 1.895$ 、 $\Delta_2 = 2.928$ 、 $\Delta_3 = 2.518$ 。由此可知,氮、磷、钾肥对黄精根茎产量的增产作用大小依次为:磷肥 > 钾肥 > 氮肥。

2.3 黄精多糖效应函数

根据试验结果,通过数学模拟得到黄精多糖与 N(X₁)、P(X₂)、K(X₃) 的编码效应函数为:

$$Y = 8.257 + 0.336X_1 + 0.112X_3 + 0.0448X_1^2 +$$

$$0.394 X_2^2 - 0.644 X_3^2 + 0.561 X_1 X_2 +$$

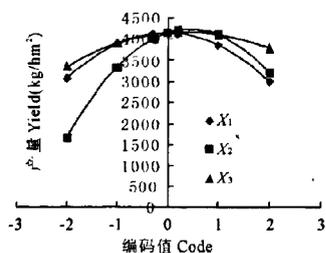
$$0.192 X_1 X_3 - 0.137 X_2 X_3$$

经方差分析 $F = 32.86 > F_{0.01}(9, 20) = 3.46$, 达到极显著水平,说明肥料效应函数能反映生产实际情况,黄精多糖含量与氮、磷、钾施肥量之间存在极显著的回归关系。经判定方程为非典型函数,采用频率分析法对其寻优。

计算 $N(X_1)$ 、 $P(X_2)$ 、 $K(X_3)$ 对多糖含量的贡献率 Δ_j ^[8] 分别为: $\Delta_1 = 1.9285$ 、 $\Delta_2 = 1.8505$ 、 $\Delta_3 = 2.66$ 。由此可知,氮、磷、钾肥对黄精多糖含量作用大小依次为:钾肥 > 氮肥 > 磷肥,其中磷肥为负效应,氮、钾肥为正效应。

2.4 黄精产量和多糖含量效应函数的解析

2.4.1 单因素效应分析 采用降维法^[8]研究氮、磷、钾对黄精产量和多糖含量的单因素效应。固定上述两个回归方程中的任意两个码值自变量为零水平,得到两组单因素效应方程,并分别作图(图 1)。氮肥对黄精产量的影响:



$$Y = 4148.585 + 21.825 X_1 - 280.392 X_1^2$$

磷肥对黄精产量的影响:

$$Y = 4148.585 + 383.579 X_2 - 430.109 X_2^2$$

钾肥对黄精产量的影响:

$$Y = 4148.585 + 104.589 X_3 - 146.380 X_3^2$$

氮肥对黄精多糖含量的影响:

$$Y = 8.257 + 0.336 X_1 + 0.0448 X_1^2$$

磷肥对黄精多糖含量的影响:

$$Y = 8.257 + 0.394 X_2^2$$

钾肥对黄精多糖含量的影响:

$$Y = 8.257 + 0.112 X_3 - 0.644 X_3^2$$

由图 1,可以看出,氮、磷、钾的产量单因子效应曲线均为开口向下的抛物线,在施肥量较少的情况下,磷肥对黄精产量促进作用很明显;在施肥量较小的情况下,黄精产量随氮肥用量变化不明显,但超过一定施肥量后,产量随氮肥用量增加而显著下降;在本实验的施肥范围内,黄精产量随钾肥用量变化不明显,这是由于该地区土壤表层有效钾含量较高。

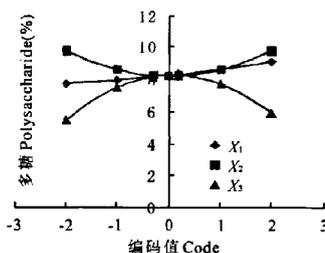


图 1 单因素效应曲线图

Fig.1 Curve of single-factor effect on yield and polysaccharide

氮、磷的多糖含量单因子效应曲线均为开口向上的抛物线,在试验范围内多糖含量随氮肥的用量增加而增加,这可能是因为氮素促进植株地上生长,植株健壮光合作用强度增大,碳水化合物向根茎转移;而施肥较少的情况下,磷肥的施用明显降低了多糖含量,这可能与产量的提高引起的稀释作用有关。钾对黄精多糖含量单因子效应曲线为开口向下的抛物线,在施肥量较少的情况下,钾肥对黄精多糖的增加作用很明显,但超过一定施肥量后,显著减少多糖含量,黄精多糖含量的极大值点出现在码值 0 附近,这说明黄精多糖的积累需要一个相对稳定的营养环境,施肥过少或过多均会导致多糖含量下降。因此,栽培过程中应该注意肥料的合理施用,否则将会导致肥料的浪费,并降低经济效益。

2.4.2 两因素互作效应分析 采用降维法^[8],研究氮、磷、钾对黄精产量和多糖含量的两因素互作效应,固定上述两个方程的任意一个编码自变量为零

水平,研究其他两个因素的交互作用,并分别作曲面图(图 2)。

产量效应函数的两因素互作效应方程为:

$$Y = 4148.585 + 21.825 X_1 + 383.579 X_2 - 280.392 X_1^2 - 430.109 X_2^2 - 273.644 X_1 X_2$$

氮磷互作效应:

$$Y = 4148.585 + 21.825 X_1 + 104.589 X_3 - 280.392 X_1^2 - 146.380 X_3^2 - 145.016 X_1 X_3$$

磷钾互作效应:

$$Y = 4148.585 + 383.579 X_2 + 104.589 X_3 - 430.109 X_2^2 - 146.380 X_3^2 + 264.986 X_2 X_3$$

多糖含量效应函数的两因素互作效应方程为:

氮磷互作效应:

$$Y = 8.257 + 0.336 X_1 + 0.0448 X_1^2 + 0.394 X_2^2 + 0.561 X_1 X_2$$

氮钾互作效应:

$$Y = 8.257 + 0.336X_1 + 0.112X_3 + 0.0448X_1^2 - 0.644X_3^2 + 0.192X_1X_3$$

磷钾互作效应:

$$Y = 8.257 + 0.112X_3 + 0.394X_2^2 - 0.644X_3^2 - 0.137X_2X_3$$

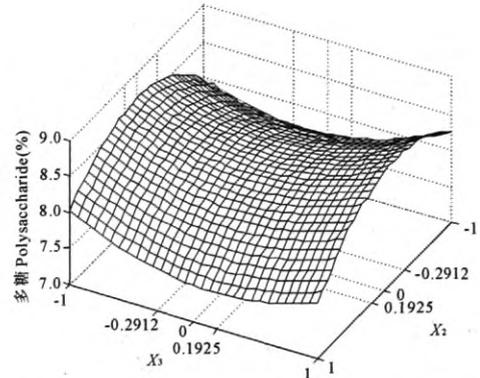
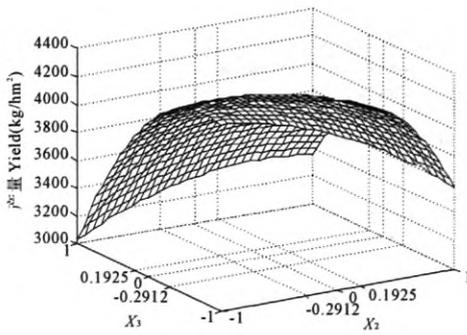
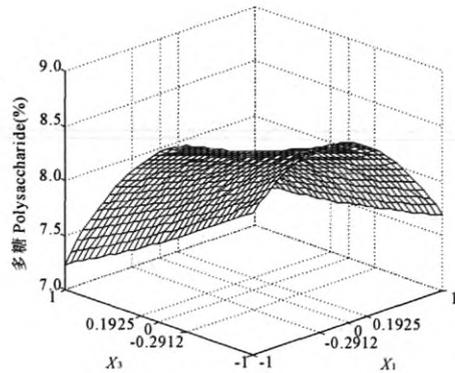
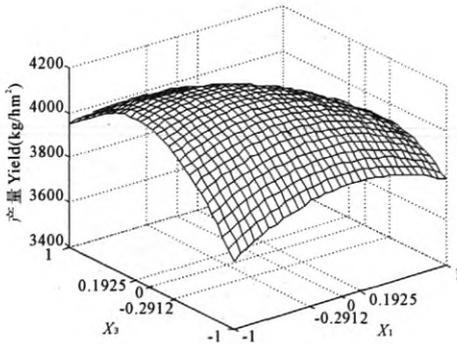
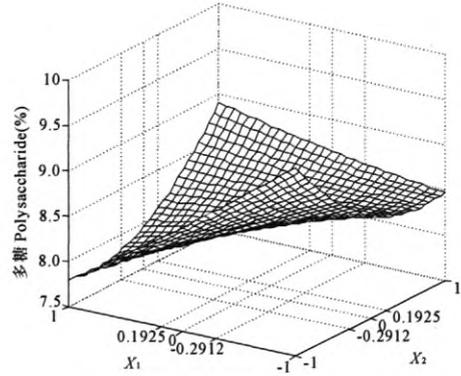
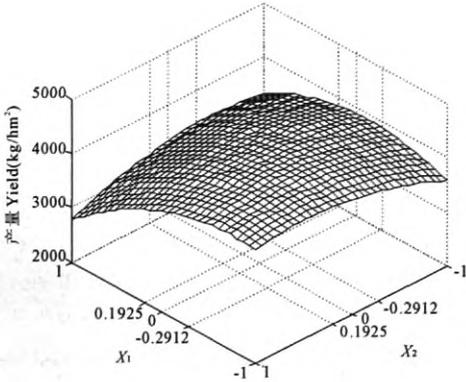


图 2 两因素互作效应分析

Fig.2 The analysis of two-factor interactive effect on yield and polysaccharide

由图 2 可知,氮、磷互作效应中随着氮肥和磷肥施用量的增加,黄精产量提高,交互促进作用明显,氮、磷互作对黄精多糖含量影响中,氮肥对多糖

含量影响更大,同一磷肥水平下,氮肥增加明显促进多糖含量增加,氮、磷编码值均为 1 时,交互作用最大。氮、钾互作效应中随着氮肥和钾肥施用量增加,

对黄精产量有显著的互作促进作用,但超过一定水平产量下降。氮肥在较高水平,钾肥在0.2水平附近,对黄精多糖含量交互作用促进最大。磷、钾互作效应中,较低水平下磷钾互作明显促进黄精产量增加,在同一施钾水平下,施磷对黄精多糖含量影响不明显,同一施磷水平下,施钾促进多糖含量增加,但超过一定水平多糖含量又下降。

2.5 施肥模式寻优结果

采用频率分析法^[8]对模型寻优,将码值在试验设计范围内划分出(-1、-0.2912、0.1925、1)4个水平,构成 $T=4^3=64$ 个处理组合,选定目标产量3 500~4 500 kg/hm²,多糖含量8%~9.5%进行频率分析,得到黄精氮磷钾肥效模拟方程寻优结果。

当目标产量为3 500~4 500 kg/hm²时,在95%的置信区间,优化施肥组合为: $X_1 \pm S_1 = -0.0041 \pm 0.2064$, $X_2 \pm S_2 = 0.2380 \pm 0.1589$, $X_3 \pm S_3 = 0.0246 \pm 0.2105$ 。优化施肥量为:N 89.74~136.18 kg/hm², P₂O₅ 121.39~157.16 kg/hm², K₂O 61.06~92.63 kg/hm²。N、P₂O₅、K₂O的最佳比例为:1:0.89~1.15:0.45~0.68。

在多糖含量8%~9.5%条件下,在95%的置信区间,优化施肥组合为: $X_1 \pm S_1 = 0.1447 \pm 0.2211$, $X_2 \pm S_2 = -0.1388 \pm 0.2434$, $X_3 \pm S_3 = 0.0902 \pm 0.1813$ 。优化施肥量为:N 103.91~153.65 kg/hm², P₂O₅ 69.5~124.27 kg/hm², K₂O 68.16~95.36 kg/hm²。N、P₂O₅、K₂O的最佳比例为:1:0.45~0.81:0.44~0.62。

为了在提高产量的同时保证黄精多糖含量,把以上两个优化施肥量取交集,得到黄精高产优质高效栽培的优化施肥量为:N 103.91~136.18 kg/hm², P₂O₅ 121.39~124.27 kg/hm², K₂O 68.16~92.63 kg/hm², N、P₂O₅、K₂O的最佳比例为:1:0.89~0.91:0.5~0.68。

3 讨论

氮、磷、钾是农业生产中最常见的肥料,是植物生长发育所必需的营养元素,药用植物同其他作物一样,需要从外界环境中吸收各种营养物质,用于建造营养器官和贮藏器官。合理使用能促进药用植物产量和有效成分的合成和积累。本试验结果表明,氮、磷、钾肥的施用对黄精产量、黄精多糖和总皂苷的含量都有显著影响,它们对产量的增产作用大小

依次为磷肥>钾肥>氮肥,对多糖含量的作用大小依次为钾肥>氮肥>磷肥,其中磷肥对多糖含量的影响为负效应,氮、钾肥对多糖含量的影响为正效应。氮、磷、钾各元素及其配比使黄精总皂苷含量明显增加。其中磷肥对一年生黄精产量影响最大,这与在一年生桔梗^[9]和三年生甘草^[10]上研究结果较一致。黄精、甘草、桔梗均为根茎类药材,而磷素对植株根系的生长有较大影响,因为磷素能促进细胞分裂和增殖,从而促进根系生长发育^[11],增加产量。钾对黄精多糖含量影响最大,可能是因为钾可以增强光合作用,影响碳水化合物的合成和运输,促进碳水化合物由地上向根部的运输,为多糖合成提供足够的底物^[12-13]。施肥明显促进了黄精根茎产量、多糖和总皂苷含量增加,但并不是氮、磷、钾肥的用量越多越好,如果过量施用会造成黄精减产,多糖及总皂苷含量降低。

当目标产量为3 500~4 500 kg/hm²时,在95%的置信区间,优化施肥量为:N 89.74~136.18 kg/hm², P₂O₅ 121.39~157.16 kg/hm², K₂O 61.06~92.63 kg/hm²。在多糖含量8%~9.5%条件下,在95%的置信区间,优化施肥量为:N 103.91~153.65 kg/hm², P₂O₅ 69.5~124.27 kg/hm², K₂O 68.16~95.36 kg/hm²。结合上述两个优化方案,得到黄精高产、优质、高效栽培的优化施肥量为:N 103.91~136.18 kg/hm², P₂O₅ 121.39~124.27 kg/hm², K₂O 68.16~92.63 kg/hm², N、P₂O₅、K₂O的最佳比例为:1:0.89~0.91:0.5~0.68。

本试验建立的黄精产量和多糖含量施肥模式以及由此得出的最佳施肥组合,都是在本试验栽培管理条件下获得的,它们还受土壤、气候、栽培措施等因子的制约,在生产应用时应根据上述因素进行调整,以达到最优化施肥。此外本试验只研究了氮、磷、钾对一年生黄精产量和多糖含量影响的施肥模式,关于氮、磷、钾与两年、三年生黄精产量和有效成分之间的关系还需做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(2010年第1部)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2010,215.
- [2] 陈 晔,孙晓生. 黄精的药理研究进展[J]. 中药新药与临床药理,2010,21(3):328-330.
- [3] 祝凌丽,徐维平. 黄精总皂苷和多糖的药理作用及其提取方法的研究进展[J]. 安徽医药,2009,13(7):719-722.

- [4] 杨子龙, 王世清, 左敏. 黄精高产栽培技术[J]. 安徽技术师范学院学报, 2002, 16(1): 51-52.
- [5] 赵德迎, 邢作山, 王钦秋, 等. 黄精及其栽培加工技术[J]. 陕西农业科学, 2006, (4): 183-183.
- [6] 赵致, 庞玉新, 袁媛, 等. 药用作物黄精栽培研究进展及栽培的几个关键问题[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(1): 85-86.
- [7] 尤新军, 郭蕊, 王琳, 等. 黄精总皂苷超声提取工艺研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 163-166.
- [8] 徐中儒. 回归分析与试验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [9] 王玲, 付志文, 董其亭, 等. 桔梗配方施肥方法研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 133(6): 697-698.
- [10] 张清云, 李强, 蒋齐, 等. 氮、磷、钾互作效应对甘草产量影响的研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1119-1122.
- [11] 王琪贞. 肥料学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993, 134.
- [12] 王清玲, 王振, 徐福利. 氮、磷、钾对膜荚黄芪生长发育及有效成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(15): 1802-1806.
- [13] 张峰, 王建华, 余松烈, 等. 白首乌氮、磷、钾积累分配特点及其与物质生产的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 369-373.

Study on the optimization models of nitrogen, phosphorus and potassium application for *Polygonatum. sibiricum* Red. production in Yangling

WANG Zhan-hong¹, WANG Jin¹, ZHU Wu-feng¹, JIANG Hua²,
ZHANG Xiao-yan², ZHANG Yue-jin^{1*}

(1. College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effect functions of fertilizing amount of nitrogen, phosphorus and potassium on rhizoma yield and polysaccharide content of *Polygonatum. sibiricum* Red. were established by the D-saturation optimal design with three factors. The results showed that the effect of nitrogen, phosphorus and potassium on yield improvement was phosphorus > potassium > nitrogen and that on polysaccharide content was potassium > nitrogen > phosphorus, and the effect of phosphorus on polysaccharide content was negative, while the effect of nitrogen and potassium were positive. When the target yield was 3 500 ~ 4 500 kg/hm², the optimum fertilizing amount was 89.74 ~ 136.18 kg/hm² for N, 121.39 ~ 157.16 kg/hm² for P₂O₅, and 61.06 ~ 92.63 kg/hm² K₂O with 95% confidence interval. When the polysaccharide content was during 8% ~ 9.5%, the optimum fertilizing amount was N 103.91 ~ 153.65 kg/hm², P₂O₅ 69.5 ~ 124.27 kg/hm², and K₂O 68.16 ~ 95.36 kg/hm² with 95% confidence interval. The optimum fertilizing amount for high yield, high efficiency and high quality in *Polygonatum. sibiricum* Red. production was 103.91 ~ 136.18 kg/hm² for N, 121.39 ~ 124.27 kg/hm² for P₂O₅, and 68.16 ~ 92.63 kg/hm² for K₂O. The best ratio of N:P₂O₅:K₂O was 1:0.89 ~ 0.91:0.5 ~ 0.68.

Keywords: *Polygonatum. sibiricum* Red.; optimization of fertilization; yield; polysaccharide; effect function