

氮、磷、钾配施对川明参产量和品质的影响

邵镔钎¹, 李 丹³, 蒋 攀¹, 曾春艳¹, 阿的加加¹, 陈 瑶¹, 刘 雷¹, 胡 平², 杨玉霞^{2*}

1. 绵阳师范学院生命科学与技术学院, 四川 绵阳 621000

2. 四川省中医药科学院, 四川 成都 610041

3. 绵阳外国语学校 生物教研组, 四川 绵阳 621000

摘要: 目的 研究川明参生产中氮(N)、磷(P)、钾(K)最佳施肥组合及施肥量, 为川明参大田栽培合理施肥提供技术支撑和理论依据。方法 采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计, 研究 N、P、K 配施对川明参产量和主要有效成分的影响。结果 合理的 N、P、K 配施可显著提高川明参的产量, 并有利于总多糖及欧前胡素的积累。其中, 以 $N_2P_1K_2$ 的产量最高, 其产量为 75.22 kg/hm^2 , 增产率达 60.67%, 总多糖质量分数为 25.46%, 欧前胡素质量分数为 0.489 mg/g; $N_3P_2K_2$ 的产量最低, 其产量为 44.82 kg/hm^2 , 总多糖质量分数为 2.40%, 欧前胡素质量分数为 0.379 mg/g。N、P、K 3 种肥料配施对川明参产量影响的大小顺序为 $N > P > K$, N 肥增产效应最明显, P 肥次之, K 肥最差。结论 最佳施肥组合为 $N_2P_1K_2$ 或 $N_2P_3K_1$, 最佳施肥量为 N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为 1.08、0.73、0.83 kg/hm^2 或 1.08、1.10、0.50 kg/hm^2 。

关键词: 川明参; 氮磷钾配施; 产量; 总多糖; 欧前胡素

中图分类号: R282.21 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2018)16-3926-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2018.16.029

Effects of combined application of N, P, and K on yield and quality of *Chuanmingshen violaceum*

SHAO Qiang-qian¹, LI Dan³, JIANG Pan¹, ZENG Chun-yan¹, ADe Jia-jia¹, CHEN Yao¹, LIU Lei¹, HU Ping², YANG Yu-xia²

1. College of Life Science & Biotechnology, Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China

2. Sichuan Academy of Traditional Chinese Medicine Sciences, Chengdu 610041, China

3. Biology Teaching and Research Group, Mianyang Foreign Language Experimental School, Mianyang 621000, China

Abstract: Objective The best combination of nitrogen, phosphorus and potassium and application amount of fertilizer were studied to provide technical support and theoretical basis for rational fertilization in the production of *Chuanmingshen violaceum*. **Methods** The effects of N, P and K application on yield and main effective components of *C. violaceum* were studied by $L_9(3^4)$ orthogonal experiment design. **Results** Reasonable N, P, and K application could significantly increase the yield of *C. violaceum*, and was beneficial to the accumulation of total polysaccharides and the content of imperatorin. Among them, the yield of 75.22 kg/hm^2 under the combination of $N_2P_1K_2$ was the highest, the increase rate was 60.67%, the total polysaccharide content was 25.46%, and the content of imperatorin was 0.489 mg/g. The yield of 44.82 kg/hm^2 under the combination of $N_3P_2K_2$ was the lowest, the total polysaccharide content was 2.40%, and the content of imperatorin was 0.379 mg/g. The effects sequence of N, P, and K fertilizers on the yield of *C. violaceum* were $N > P > K$. The nitrogen fertilizer had the most obvious effect on the yield of *C. violaceum*, followed by phosphate fertilizer, and potassium fertilizer had the worst effect. **Conclusion** Under the conditions of this experiment, the best combination of fertilization was $N_2P_1K_2$ or $N_2P_3K_1$. The optimum amount of fertilization of N, P_2O_5 , and K_2O were 1.08, 0.73, and 0.83 kg/hm^2 , respectively; or 1.08, 1.10, and 0.50 kg/hm^2 , respectively.

Key words: *Chuanmingshen violaceum* Sheh et Shen.; combined application of nitrogen, phosphorus and potassium; yield; total polysaccharide; imperatorin

收稿日期: 2018-03-01

基金项目: 四川省科技厅科技支撑计划 (2013SZ0114); 四川省中医药管理局应用基础研究项目 (A-2012N-14); 四川省省级公益性科研院所基本科研业务专项 (A-2018N-12, A-2011N-35, A-2010N-39); 2018 年四川省大学生创新创业训练计划项目 (201810639024)

作者简介: 邵镔钎 (1984—), 男, 四川绵阳人, 助教, 主要从事植物资源评价与利用研究。Tel: (0816)2578262 E-mail: 41045121@qq.com

*通信作者 杨玉霞 (1980—), 女, 四川乐山, 博士, 研究员, 主要从事中药材遗传育种、资源评价与利用等研究。

Tel: (028)85255011 E-mail: yangyuxia-7@163.com

川明参俗称明参或明沙参，为伞形科川明参属植物川明参 *Chuanmingshen violaceum* Sheh et Shen 的干燥根，有利肺、和胃、化痰、解毒作用，主产于四川青北江、金堂、苍溪、巴中等地，是川产道地药材，具有良好的药用价值和滋补作用，国内外市场需求量很大^[1]。随着市场需求量的增加，川明参规范化栽培已迫在眉睫。而在规范化栽培过程中，施肥是中药材品质和产量的重要保证。在所有的肥料中又以氮（N）、磷（P）和钾（K）肥 3 要素影响最大。目前，有关 N、P、K 肥配施对药用植物产量和质量影响的研究表明，不同的药用植物对 N、P、K 的最佳配比不同，施肥量过大或单一营养元素偏高均对植物的生长发育有影响，且容易造成土壤肥料的过剩，肥料利用率低等^[2-4]。目前对川明参的研究多侧重于有效成分^[5-16]、药理作用^[17-18]、加工方法^[19-24]等方面，对川明参需肥规律和营养吸收特性等方面的研究尚属空白，有关川明参 N、P、K 配施及其对产量和药材质量影响的研究未见报道。为此，本研究采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计，研究 N、P、K 肥不同配比对川明参产量和主要有效成分的影响，旨在确定川明参高产优质最佳施肥方案，以达到川明参“安全、有效、稳定、可控”，从而促进川明参产业健康发展。

1 实验地概况

本实验基地位于四川省成都市青白江区清泉镇桔丰村（104°24'47"E、30°44'20"N），平均海拔 601.0 m，属亚热带湿润季风气候带，年平均气温 14.9~16.7 °C，全年无霜期 273~279 d，年平均降水量为 925.4 mm，年平均日照 1 239.1 h。土壤质

地为砂土，播前土壤基础肥力状况为（0~30 cm）：pH 值 7.53，全 K、全 N、全 P、有机质质量分数分别为 36.77、0.62、0.10、82.40 g/kg，速效 N、有效 P 及速效 K 质量分数分别为 141.40、51.27、179.33 mg/kg。

2 材料与仪器

样品由四川省中医药科学院舒光明研究员鉴定为伞形科川明参属植物川明参 *Chuanminshen violaceum* Sheh et Shen 的种子。供试肥料 N 肥为尿素，总 N≥46.4%；P 肥为过磷酸钙，折合 P_2O_5 ≥12%；K 肥为硫酸钾，折合 K_2O ≥50%。

Agilent 1200 高效液相色谱仪（美国 Agilent 公司）；UV-1800 紫外可见分光光度计（日本岛津公司）；电子分析天平（德国 Sartorius BS110S 型十万分之一）；KQ2200 型超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）；DHG-9140 电热鼓风干燥箱，欧前胡素对照品（中国食品药品检定研究院，批号 110826-201214）；D-无水葡萄糖对照品（中国食品药品检定研究院，批号 110833-201205）；质量分数均大于 98%。乙腈（色谱纯，Tedia Company, Inc.）；甲醇（色谱纯，Tedia Company, Inc.）；水为超纯水；其他试剂均为分析纯。

3 方法

3.1 农艺性状考察

2015 年 8 月对川明参种子进行育苗，2016 年 6 月选择生长较为一致的川明参种根进行移栽。采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计，设 3 因素（N、P 和 K）4 水平，见表 1。其中，0 水平为不施肥，1 水平施肥为 N 0.77 kg/hm²、 P_2O_5 0.73 kg/hm²、 K_2O 0.50 kg/hm²，2 水平为 N 1.08 kg/hm²、 P_2O_5 0.92 kg/hm²、 K_2O

表 1 $L_9(3^4)$ 正交试验设计的施肥种类和施肥量

Table 1 Types and levels of different N, P, K combination treatments on *C. violaceum*

处理	组合	施用量/(kg·hm ⁻²)			折合施肥量/(kg·hm ⁻²)		
		N	P (P_2O_5)	K (K_2O)	尿素	过磷酸钙	硫酸钾
1	N ₁ P ₁ K ₁	0.77	0.73	0.50	1.67	6.11	1.00
2	N ₁ P ₂ K ₂	0.77	0.92	0.83	1.67	7.64	1.67
3	N ₁ P ₃ K ₃	0.77	1.10	1.17	1.67	9.17	2.33
4	N ₂ P ₁ K ₂	1.08	0.73	0.83	2.33	6.11	1.67
5	N ₂ P ₂ K ₃	1.08	0.92	1.17	2.33	7.64	2.33
6	N ₂ P ₃ K ₁	1.08	1.10	0.50	2.33	9.17	1.00
7	N ₃ P ₁ K ₃	1.39	0.73	1.17	3.00	6.11	2.33
8	N ₃ P ₂ K ₁	1.39	0.92	0.50	3.00	7.64	1.00
9	N ₃ P ₃ K ₂	1.39	1.10	0.83	3.00	9.17	1.67
10 (CK)	N ₀ P ₀ K ₀	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

0.83 kg/hm², 3 水平为 N 1.39 kg/hm²、P₂O₅ 1.10 kg/hm²、K₂O 1.17 kg/hm²。重复 3 次, 小区面积 20 m², 行株距为 25 cm×7 cm。施肥方法: P 肥均作为基肥, N、K 肥分 2 次施入, 基肥施 60%, 出苗后 60 d 施 40%。从 2016 年 11 月 15 日开始至 2017 年 4 月 15 日测产时, 每隔 30 d 每小区取长势一致的 5 株, 测定株高、总叶片数、主根长、主根粗、根鲜质量、茎叶鲜质量和总鲜质量, 记录单株产量并折合每公顷产量, 取其平均值进行数据统计。

3.2 水溶性多糖含量测定

参考雷晓莉等^[25]的方法, 采用硫酸-苯酚法对川明参药材多糖含量进行测定。

3.2.1 对照品溶液的制备 取 105 ℃ 烘干至恒定质量的无水葡萄糖 25 mg, 精密称定。置 25 mL 量瓶中, 加少量蒸馏水溶解, 定容至刻度, 摇匀, 配成 1 mg/mL 的葡萄糖储备液, 作为对照品溶液。

3.2.2 供试品溶液的制备 分别精密称取川明参样品细粉(60 目)约 0.5 g, 加蒸馏水回流提取 3 次, 每次 90 min, 合并 3 次提取液, 滤过, 滤液浓缩至 50 mL。取浓缩液 5 mL 加入 30% 三氯乙酸溶液 1 mL, 振荡混合均匀后, 4 ℃ 下静置过夜, 离心 20 min (4 000 r/min), 弃去沉淀, 收集上清液。取上清液 1 mL 于 50 mL 量瓶中, 用蒸馏水稀释至刻度, 即得供试品溶液。

3.2.3 线性关系考察 分别精密吸取 0.1、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mL 对照品溶液于 50 mL 容量瓶中, 蒸馏水稀释至刻度, 再各取 2 mL 于 10 mL 具塞试管中, 加 1.5 mL 5% 苯酚试剂, 混匀, 精密加入 6 mL 浓硫酸, 振摇后放置 5 min, 置沸水浴中加热 20 min, 立即转入冰水浴中冷却至室温, 以蒸馏水为空白, 在 490 nm 波长处测定吸光度 (*A*)。以 *A* 值对葡萄糖浓度进行回归, 得回归方程 $Y=29.844\ 3 X-0.090\ 7$ ($r=0.999\ 4$)。结果表明, 葡萄糖在 0.002~0.05 mg/mL 内, 其质量浓度与 *A* 值线性关系良好。

3.2.4 样品含量测定 分别取样品溶液按照“3.2.3”项方法显色后测定 *A* 值。根据标准曲线方程计算样品中水溶性多糖的含量。

3.3 欧前胡素含量测定

参考曹柳等的方法^[26], 采用 HPLC 法对川明参药材欧前胡素含量进行测定。

3.3.1 色谱条件 色谱柱为 Zorbax Eclipse C₁₈ 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为甲醇-水

(70:30); 体积流量 1 mL/min; 检测波长 248 nm; 柱温 30 ℃; 进样量 10 μL (图 1)。

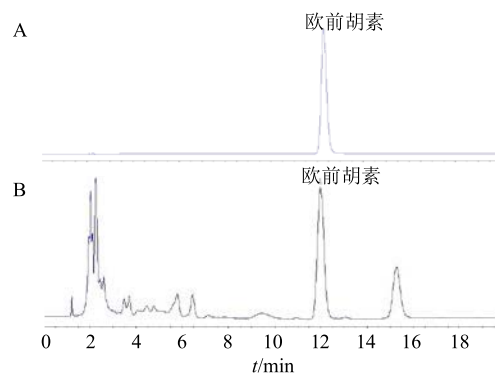


图 1 对照品 (A) 和样品 (B) 溶液 HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of reference (A) and samples (B)

3.3.2 对照品溶液的制备 精密称取欧前胡素对照品适量, 用甲醇溶解稀释制成含欧前胡素 88.0 μg/mL 的对照品溶液。

3.3.3 供试品溶液的制备 分别精密称取川明参样品粉末(60 目)约 1 g, 加甲醇 15 mL, 称定质量, 超声处理(功率 250 W, 频率 40 kHz) 30 min, 放冷, 再称定质量, 用甲醇补足减失的质量, 摇匀, 取上清液用微孔滤膜(0.45 μm)滤过, 即得。

3.3.4 线性关系考察 分别精密吸取欧前胡素对照品溶液 0.2、0.5、1、3、5、8、10、12、15、20 μL, 注入液相色谱仪, 按色谱条件测定欧前胡素峰面积, 以对照品进样量为横坐标 (*X*), 峰面积为纵坐标 (*Y*) 进行回归分析, 得回归方程为 $Y=3\ 794.7 X+2.112\ 2$, $r=0.999\ 9$, 欧前胡素在 0.017 6~1.760 μg 内呈良好的线性关系。

3.3.5 样品含量测定 取不同处理的川明参样品适量, 按“3.3.3”项下的方法制备供试品溶液, 同时按“3.3.1”项下的色谱条件测定, 采用外标一点法计算川明参药材中欧前胡素含量。

3.4 数据分析

利用 Excel 2007 进行数据预处理; 利用 DPS 7.05 软件对数据进行统计分析, 采用 LSD 法检验差异显著性。

4 结果与分析

4.1 N、P、K 配施对川明参主要农艺性状的影响

由表 2 可知, 处理 8 在生长前期对川明参株高增长有较强的促进作用, 11 月时株高均超过 30 cm, 处理 2、处理 9 在生长后期对川明参株高增长有较强的促进作用, 2017 年 3、4 月时株高均达 65 cm

表2 N、P、K配施对川明参主要农艺性状的影响

Table 2 Effects of combined application of N, P, K on main agronomic characters of *C. violaceum*

处理	株高/cm						叶片数/片					
	2016-11	2016-12	2017-01	2017-02	2017-03	2017-04	2016-11	2016-12	2017-01	2017-02	2017-03	2017-04
1	24.9 c	27.1 c	30.2 c	26.7 cd	47.0 c	61.3 c	12 b	11 b	13 ab	10 a	9 f	10 e
2	26.6 bc	32.7 ab	27.9 c	29.2 bcd	68.6 a	73.0 a	22 a	17 ab	17 a	14 a	11 e	10 e
3	26.3 bc	25.9 c	27.8 c	25.3 d	42.2 c	44.3 f	13 b	20 a	9 b	12 a	13 d	13 d
4	26.9 bc	25.6 c	33.3 abc	29.1 bcd	52.0 bc	47.0 e	11 b	16 ab	15 ab	13 a	18 a	18 a
5	25.5 bc	29.0 abc	31.4 bc	29.0 bcd	42.8 c	50.0 d	15 b	19 ab	15 ab	12 a	13 d	13 d
6	26.1 bc	32.7 ab	31.6 bc	30.2 bc	42.0 c	39.7 g	12 b	13 ab	9 b	12 a	18 a	17 a
7	24.7 c	28.4 bc	32.0 bc	30.6 abc	47.8 c	44.0 f	10 b	14 ab	16 a	18 a	14 cd	14 cd
8	32.6 a	33.2 a	39.0 a	35.2 a	48.3 c	59.8 c	10 b	15 ab	12 ab	12 a	15 bc	15 bc
9	30.2 ab	28.9 abc	37.1 ab	31.9 ab	67.3 ab	65.0 b	13 b	11 b	14 ab	15 a	16 b	15 bc
10	26.9 bc	29.0 abc	32.5 bc	29.5 bcd	50.8 c	51.0 d	13 b	15 ab	13 ab	13 a	15 bc	15 bc

处理	主根长/cm						主根粗/mm					
	2016-11	2016-12	2017-01	2017-02	2017-03	2017-04	2016-11	2016-12	2017-01	2017-02	2017-03	2017-04
1	14.74 b	19.95 a	22.75 abc	25.95 ab	24.10 a	24.60 a	6.37 ab	7.44 ab	7.55 c	9.75 ab	9.45 ab	10.56 c
2	16.47 ab	17.40 a	24.90 a	23.40 bc	23.80 a	24.25 ab	5.92 bc	7.38 ab	9.08 ab	10.16 ab	10.69 a	11.19 bc
3	16.09 ab	21.35 a	21.40 bc	22.40 c	21.55 a	21.70 c	6.07 abc	7.75 a	7.92 bc	8.84 b	10.06 ab	11.95 ab
4	17.92 a	19.59 a	24.20 ab	26.75 a	24.75 a	23.05 abc	6.66 a	7.03 abc	8.16 abc	11.12 a	10.74 a	11.65 abc
5	15.27 ab	19.55 a	21.35 c	24.50 abc	24.50 a	23.45 abc	4.96 d	6.90 abc	7.99 bc	10.61 a	9.96 ab	12.01 ab
6	16.68 ab	18.75 a	22.25 abc	23.15 bc	22.00 a	23.15 abc	6.18 abc	7.18 abc	8.14 abc	10.57 a	9.89 ab	12.04 ab
7	15.33 ab	19.20 a	21.15 c	23.15 bc	20.70 a	21.95 bc	5.80 bc	6.36 c	9.26 a	9.82 ab	9.83 ab	12.51 a
8	14.69 b	20.30 a	21.55 bc	22.35 c	25.25 a	23.85 abc	6.02 abc	6.63 bc	8.03 bc	9.79 ab	9.63 ab	11.23 abc
9	15.05 b	18.70 a	20.85 c	23.05 bc	22.60 a	24.25 ab	5.56 cd	6.50 c	7.97 bc	9.88 ab	8.50 b	10.90 bc
10	15.87 ab	19.23 a	22.07 abc	23.66 abc	22.40 a	23.42 abc	5.86 bc	7.03 abc	8.17 abc	10.12 ab	9.65 ab	11.23 abc

处理	根鲜质量/g						茎叶鲜质量/g					
	2016-11	2016-12	2017-01	2017-02	2017-03	2017-04	2016-11	2016-12	2017-01	2017-02	2017-03	2017-04
1	3.0 b	7.8 a	14.1 ab	17.7 a	14.2 b	27.8 e	10.5 c	15.2 b	19.8 ab	10.8 c	12.3 cde	15.7 c
2	3.1 b	7.4 ab	14.8 a	19.4 a	19.6 ab	23.7 g	18.5 a	18.7 ab	20.5 ab	12.3 bc	23.0 a	14.0 cd
3	3.1 b	7.9 a	12.8 abc	15.9 a	17.4 ab	31.5 c	12.8 abc	16.0 b	16.1 b	11.9 bc	12.9 cde	15.7 c
4	4.8 a	6.9 ab	11.4 abc	21.5 a	20.6 a	37.6 a	15.7 abc	14.4 b	17.3 ab	13.6 bc	17.0 bc	18.3 ab
5	2.0 b	5.7 ab	12.0 abc	21.9 a	16.2 ab	27.2 f	12.1 bc	17.4 ab	23.7 ab	17.5 abc	7.2 e	18.7 ab
6	3.2 b	5.3 ab	12.7 abc	19.0 a	16.9 ab	33.9 b	16.1 abc	21.7 ab	26.5 a	15.0 bc	12.4 cde	15.3 c
7	2.3 b	4.9 b	12.6 abc	21.6 a	17.5 ab	27.2 f	11.1 c	16.1 ab	22.4 ab	24.0 s	11.2 cde	18.0 b
8	3.0 b	5.4 ab	10.3 bc	20.1 a	17.2 ab	28.7 d	14.7 abc	23.7 a	20.4 ab	19.6 ab	8.7 de	12.0 d
9	2.0 b	5.7 ab	8.6 c	19.4 a	14.3 b	22.4 i	17.3 ab	19.4 ab	21.4 ab	16.2 abc	18.8 ab	13.7 cd
10	2.7 b	5.9 ab	12.2 abc	19.3 a	20.1 a	23.4 h	14.2 abc	18.4 ab	19.3 ab	10.7 c	13.3 bcd	20.3 a

处理	总鲜质量/g											
	2016-11	2016-12	2017-01	2017-02	2017-03	2017-04						
1	13.5 c	23.0 a	33.9 a	28.5 b	26.5 cd	43.5 g						
2	21.6 a	26.1 a	35.3 a	31.7 ab	42.6 a	37.7 i						
3	15.9 abc	23.9 a	28.9 a	27.8 b	30.3 bcd	47.1 c						
4	20.5 ab	21.3 a	28.7 a	35.1 ab	37.6 ab	55.7 a						
5	14.1 bc	23.1 a	35.7 a	39.4 ab	23.4 d	45.8 d						
6	19.3 abc	27.0 a	39.2 a	34.0 ab	29.3 cd	49.2 b						
7	13.4 c	21.7 a	35.0 a	45.6 a	28.7 cd	45.2 e						
8	17.7 abc	29.1 a	30.7 a	39.7 ab	25.9 cd	40.7 h						
9	19.3 abc	25.1 a	30.0 a	35.6 ab	33.1 bc	36.1 j						
10	16.9 abc	24.3 a	31.4 a	30.0 b	33.4 bc	43.8 f						

同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)Data with different little letters in same column showed significant difference ($P < 0.05$)

或以上; 处理 2 的叶片数在生长前期显著高于其他处理, 但 2 月的叶片数无显著差异, 3、4 月的叶片数以处理 4 的为最高; 12 月、3 月的主根长无明显差异, 其他处理的也仅存在个别差异, 其中, 11 月、2 月的均以处理 4 最长; 各处理对主根粗的影响较大, 11 月以处理 4 的主根最粗, 12 月的处理 3 的最粗, 1 月、4 月的以处理 7 的最粗, 2 月、3 月的以处理 4 的最粗, 与其他处理间达到显著水平的差异; 除 2 月的根鲜质量差异不显著外, 其他处理的根鲜质量均有一定差异, 其中, 11 月以处理 4 的根鲜质量最高, 12 月的为处理 3, 1 月以处理 2 为最高, 3 月、4 月的以处理 4 为最高; 茎叶鲜质量在各月、各处理间达到一定显著水平, 其中, 11 月处理 2 的茎叶鲜质量最高, 12 月的处理 8 的最高, 1 月的处理 6 的最高, 2 月的处理 7 的最高, 3 月的处理 2 最高, 4 月的却为处理 10 的最高; 12 月、1 月的总鲜质量差异不显著, 11 月的以处理 2 的总鲜质量最高, 2 月的处理 7 最高, 3 月的处理 2 最高, 4 月的处理 4 最高。

4.2 N、P、K 配施对川明参产量的影响

不同施肥量对川明参产量(根鲜质量计)有显著影响。其中, 以处理 4 ($N_2P_1K_2$), 即施尿素 2.33 kg/hm²、过磷酸钙 6.11 kg/hm²、硫酸钾 1.67 kg/hm² 的产量最高, 为 75.22 kg/hm², 较对照增产 60.67%; 其次是处理 6 ($N_2P_3K_1$), 即施尿素 2.33 kg/hm²、过磷酸钙 9.17 kg/hm²、硫酸钾 1.00 kg/hm², 其产量为 67.76 kg/hm², 较对照增产 44.74%。处理 9 ($N_3P_3K_2$) 的产量为 44.82 kg/hm², 比对照减产 4.25%。

方差分析表明, 在产量方面, 除处理 2 及处理 9 外, 各施肥处理与不施肥处理之间差异达到显著水平。处理 4 和处理 6 间差异不显著, 但与其他处理间差异达显著水平, 处理 1、处理 3 和处理 8 间

差异不显著, 但和处理 5、处理 7 间差异达显著水平, 处理 2、处理 9 和处理 10 间差异不显著。由此可以看出, 合理的施肥是提高产量的一项重要措施, 肥量过高过低都不利于产量的提高。

4.3 施肥对川明参总多糖及欧前胡素含量的影响

不同施肥量对川明参总多糖及欧前胡素含量亦有显著影响。其中, 处理 1~10 的总多糖质量分数依次为 14.72%、5.65%、3.34%、25.46%、18.31%、16.13%、6.79%、6.38%、2.40%及 5.40%。处理 1~10 的欧前胡素含量依次为 0.769、0.625、0.585、0.489、0.615、0.625、0.563、0.448、0.379、0.414 mg/g。总多糖含量以处理 4 ($N_2P_1K_2$) 最高, 达 25.46%, 为处理 10(对照)的 4.7 倍; 其次是处理 5 ($N_2P_2K_3$) 和 6 ($N_2P_3K_1$), 分别为对照的 3.4 和 3 倍。处理 9 ($N_3P_3K_2$) 的总多糖含量最低, 为 2.4%, 比对照少 55.56%。欧前胡素含量以处理 1 ($N_1P_1K_1$) 最高, 为 0.769 mg/g, 处理 2 ($N_1P_2K_2$) 和 6 ($N_2P_3K_1$) 其次, 为 0.625 mg/g, 处理 9 ($N_3P_3K_2$) 的最低, 仅 0.379 mg/g, 比处理 1 低 0.390 mg/g。

方差分析表明, 总多糖含量各施肥处理与对照之间均达到了极显著水平, 处理 4 与其他处理之间达到了极显著, 处理 7 和 8 之间没有差异显著性; 从欧前胡素含量来看, 处理 1、2、6 与其他处理之间有显著性差异, 其中处理 1 与其他处理达到极显著水平, 除处理 9 外, 其他处理与处理 10 之间均达到了显著水平。由此可以得出, 在一定范围内, 施肥能显著提高川明参总多糖及欧前胡素的量, 且合理的施肥具有最好的效果。

4.4 川明参不同测定指标的极差(R 值)比较及正交方差分析

川明参不同测定指标的 R 值比较见表 3。结果显示影响川明参株高、主根粗、茎叶鲜质量的因素

表 3 川明参不同测定指标的 R 值比较

Table 3 Range analysis (R value) of different indexes of *C. violaceum*

指标	R 值			主次关系
	N	P	K	
株高	13.96	11.26	15.57	K 肥>N 肥>P 肥
叶片数	5.00	2.33	1.00	N 肥>P 肥>K 肥
主根长	0.30	0.82	1.50	K 肥>P 肥>N 肥
主根粗	0.67	0.15	0.91	K 肥>N 肥>P 肥
根鲜质量	0.30	0.82	1.50	K 肥>P 肥>N 肥
茎叶鲜质量	2.87	2.43	3.13	K 肥>N 肥>P 肥
总鲜质量	9.56	6.73	2.86	N 肥>P 肥>K 肥
产量(根鲜质量)	13.60	8.68	4.41	N 肥>P 肥>K 肥
总多糖含量	14.78	8.37	2.93	N 肥>P 肥>K 肥
欧前胡素含量	0.20	0.08	0.11	N 肥>K 肥>P 肥

依次为 K 肥>N 肥>P 肥,影响川明参总叶片数、总鲜质量、亩产量、总多糖含量的因素依次为 N 肥>P 肥>K 肥,影响川明参主根长、根鲜质量的因素依次为 K 肥>P 肥>N 肥,影响欧前胡素含量的因素依次为 N 肥>K 肥>P 肥。

川明参产量及总多糖、欧前胡素含量的正交方差分析见表 4。N 肥、P 肥、K 肥对川明参亩产量及欧前胡素含量的影响不显著;N 肥对总多糖含量的影响达到显著水平,但 P 肥、K 肥对总多糖含量的影响不显著。

表 4 川明参产量及总多糖、欧前胡素含量的正交方差分析

Table 4 Orthogonal ANOVA analysis of yield and content of total polysaccharides and imperatorin of *C. violaceum*

指标	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
产量	N	68 399.97	2	34 199.99	1.08	0.480 0
	P ₂ O ₅	25 917.23	2	12 958.62	0.41	0.710 0
	K ₂ O	6 842.36	2	3 421.18	0.11	0.900 0
	误差	63 267.32	2	31 633.66		
	总和	164 426.88				
总多糖含量	N	371.24	2	185.62	36.79	0.026 5
	P ₂ O ₅	108.70	2	54.35	10.77	0.084 9
	K ₂ O	12.98	2	6.49	1.29	0.437 4
	误差	10.09	2	5.05		
	总和	503.01				
欧前胡素含量	N	0.06	2	0.03	3.61	0.216 9
	P ₂ O ₅	0.01	2	0.00	0.56	0.641 1
	K ₂ O	0.02	2	0.01	1.38	0.419 6
	误差	0.02	2	0.01		
	总和	0.11				

$P < 0.05$ 表示该因子影响效应显著; $P < 0.01$ 表示该因子影响效应极显著; $P > 0.05$ 表示该因子影响效应不显著

$P < 0.05$ indicates that effect of the factor is significant; $P < 0.01$ indicates that effect of factor is very significant; $P > 0.05$ indicates that effect of factor is not significant

5 讨论

5.1 试验结果的可靠性

正交试验设计是因其方法科学、操作简便、费用节省、效果显著等特点,目前广泛应用于各研究领域。多因素多水平试验,可以合理科学的安排试验和提高工作效率,并可通过较少试验得出各因素的主次关系和最优搭配条件。但由于正交设计一般不设重复^[27-29],容易产生偏差。但本实验中,在正交试验的基础上,做了 3 次重复试验,且 3 次重复试验得到了一致的结果。因此,本试验结果具有较高的可信性和准确性。

5.2 川明参最佳施肥组合及最佳施肥量

肥料是提供植物必需营养元素或兼有改良土壤性质、提高土壤肥力功能的物质^[30],而施肥是提高栽培药用植物产量和品质的重要措施,合理施肥既能促进植物生长发育,提高药材产量,又能改善药材品质。N 对植株茎叶的生长有重要的促进作用,

对川明参的总叶片数、总鲜质量的促进作用相对最为明显;P 对作物碳水化合物的合成、分解和运输起着重要的作用,对川明参产量和品质的提高尤为明显;K 在改善作物品质方面起着良好的作用,常被认为是“品质元素”,对川明参总多糖及欧前胡素含量的增加作用较为突出。因此,合理的 N、P、K 配方施肥能够提高川明参的产量和品质。

实验结果表明,不同施肥处理对川明参主根长、叶片数、总鲜质量的影响相对较小,对株高、主根粗、根鲜质量、茎叶鲜质量等有明显的影响,合理的 N、P、K 配施可显著提高川明参的产量。从亩产量看,N 肥对其影响效应相对较大,最佳施肥组合为 N₂P₁K₂ 或 N₂P₃K₁,即 N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 1.08、0.73、0.83 kg/hm² 或 1.08、1.10、0.50 kg/hm²。不同施肥处理下,川明参总多糖含量差异明显,其中 N 肥影响最大,且各处理间达到显著水平的差异,其次是 P 肥,K 肥影响最小,最佳

施肥组合亦为 $N_2P_1K_2$ 或 $N_2P_2K_3$ 、 $N_2P_3K_1$ 。不同施肥处理下, 川明参酚前胡素含量差异亦比较明显, 其中 N 肥的影响亦最大, K 肥次之, P 肥影响最小, 最佳施肥组合为 $N_1P_1K_1$ 或 $N_1P_2K_2$ 或 $N_2P_3K_1$ 。因此, 综合产量和品质指标来看, 以 $N_2P_1K_2$ 或 $N_2P_3K_1$ 为最佳施肥组合, 最佳施肥量为 N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为 1.08、0.73、0.83 kg/hm² 或 1.08、1.10、0.50 kg/hm²。

参考文献

- [1] 万德光. 四川道地中药材志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2005.
- [2] 聂金娥, 郭庆梅, 王真真, 等. 施肥与中药材质量相关性研究概况 [J]. 辽宁中医杂志, 2014, 41(1): 186-188.
- [3] 彭 锐, 马 鹏, 孙年喜, 等. 施肥对川党参产量和质量的影响研究 [J]. 中医药现代化, 2010, 12(2): 254-259.
- [4] 于二敏, 李衍素, 闫 妍, 等. 不同氮钾肥配施对大棚芦笋产量品质的影响 [J]. 北方园艺, 2015(20): 41-46.
- [5] 陈胡兰, 苏筱琳, 邓 贇, 等. 川明参药效活性部位化学成分研究 [J]. 中成药, 2008, 30(9): 1334-1336.
- [6] 饶高雄, 王兴文, 刘启新, 等. 川明参的化学成分 [J]. 云南植物研究, 1996, 18(3): 359-360.
- [7] 周 燕, 彭树林, 吕发强, 等. 川明参根部的化学成分 [J]. 天然产物研究与开发, 1998, 11(6): 15-17.
- [8] 王明安, 彭树林, 王明奎, 等. 川明参茎叶中的化学成分 [J]. 高等学校化学报, 2002, 23(8): 539-1541.
- [9] 李邦经, 彭树林, 梁 婕, 等. 川明参须根中的化学成分 [J]. 中草药, 2004, 35(6): 616-618.
- [10] 邵承斌, 李 宏, 吴鹤麟, 等. 川明参营养化学成分的研究 [J]. 中草药, 1997, 25(10): 590-591.
- [11] 赵 波, 李 宏, 任 波, 等. 川明参不同加工品化学成分指纹图谱比较研究 [J]. 中成药, 2011, 33(4): 557-559.
- [12] 金滨滨, 陈朝霞, 陈 璐, 等. 川明参地上部分与根的化学成分比较研究 [J]. 中药与临床, 2013, 4(6): 7-10.
- [13] 郝安辉, 张兴国, 李坤伦, 等. 不同生长年限及不同部位川明参红外光谱研究 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(11): 2665-2667.
- [14] 孙 佩, 童 文, 叶 霄, 等. 川明参栽培后期生长动态与品质相关性探讨 [J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(7): 1154-1159.
- [15] 岳 媛, 杨晓阳, 肖佳佳, 等. ICP-MS 法测定川明参中 6 种重金属元素 [J]. 中草药, 2016, 47(9): 1595-1600.
- [16] 徐玉玲, 谢 敏, 张 佳, 等. 川明参提取物质量标准的构建 [J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2017, 36(3): 230-234.
- [17] 张 梅, 雨 田, 苏筱琳, 等. 川明参镇咳祛痰药理作用研究 [J]. 时珍国医国药, 2006, 17(7): 1121-1122.
- [18] 张 梅, 苏筱琳, 雨 田, 等. 川明参药理作用初步研究 [J]. 中药药理与临床, 2007, 23(2): 49-50.
- [19] 刘 涛, 唐开城, 谢 敏, 等. 川明参产地加工方法初步 [J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2016, 3(4): 331-334.
- [20] 黄 彭, 张长贵, 张 超, 等. 川明参含片加工工艺的优化 [J]. 贵州农业科学, 2017, 45(5): 113-118.
- [21] 邱英雄, 傅承新, 吴斐捷. 明党参与川明参群体遗传结构及分子鉴定的 ISSR 分析 [J]. 中国中药杂志, 2003, 28(7): 598-603.
- [22] 陶晓瑜, 桂先群, 傅承新, 等. 明党参与川明参种间遗传分化和系统关系的分子标记和 ITS 序列分析 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2008, 34(5): 473-481.
- [23] 宋春风, 吴宝成, 周 伟, 等. 基于 *psbA-trnH* 序列变异分析川明参属亲缘关系及分类地位 [J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(2): 19-26.
- [24] 杨玉霞, 胡 平, 夏燕莉, 等. 川明参种质资源遗传多样性的 SRAP 分析 [J]. 中草药, 2016, 47(11): 1943-1949.
- [25] 雷晓莉, 宋芳芳, 彭 成, 等. 不同产地川明参药材中多糖含量测定 [J]. 中药与临床, 2011, 2(1): 49-50.
- [26] 曹 柳, 王晓宇, 周先建, 等. 四川省不同产地川明参中多糖和酚前胡素含量的测定 [J]. 中成药, 2016, 38(2): 373-377.
- [27] 方开泰, 马长兴. 正交与均匀试验设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [28] 王万中, 茆诗松. 试验的设计与分析 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1997.
- [29] 陈 魁. 试验设计与分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [30] 孙 羲. 植物营养与肥料 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.