

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2022.06.003

氮磷钾配施对玄参指标成分质量分数的影响^①

罗敏¹, 谭秋生¹, 罗川¹, 徐广¹, 邓才富¹, 章文伟¹, 任小强²

1. 重庆市药物种植研究所, 重庆 南川 408435; 2. 重庆金渡中药材开发有限公司, 重庆 南川 408435

摘要: 采用“3414”施肥试验方案, 在重庆产区进行了玄参氮(N), 磷(P), 钾(K)肥施用量及配比试验, 探讨不同 N, P, K 配比组合对玄参水热浸出物、哈巴苷和哈巴俄苷总量的影响, 以期筛选出最佳施用配比, 为本地区玄参高产优质的规范化栽培提供科学依据。结果表明: 水热浸出物、哈巴苷和哈巴俄苷总量在各施肥处理间差异有统计学意义, 二者质量分数均以 $N_2P_2K_1$ 最高; N,P,K 肥对玄参水热浸出物、哈巴苷和哈巴俄苷总量的影响由大到小分别表现为 $P>K>N$, $N>P>K$; 3 因素两两交互对水热浸出物为负交互作用, N 和 K 对哈巴苷和哈巴俄苷总量为负交互作用, 其余为正交互作用; 平均隶属函数值由大到小依次为 $N_2P_2K_1=N_2P_1K_1>N_2P_1K_2>N_0P_2K_2>N_2P_0K_2>N_2P_2K_3>N_0P_0K_0>N_2P_3K_2=N_2P_2K_0>N_1P_1K_2=N_1P_2K_1>N_3P_2K_2>N_2P_2K_2=N_1P_2K_2$ 。在本试验范围内, 14 种不同氮磷钾肥料配比处理对玄参指标成分质量分数的影响中, 以 $N_2P_2K_1$, $N_2P_1K_1$ 中低等配比的综合效果最佳。

关键词: 玄参; “3414”施肥方案; 浸出物; 哈巴苷; 哈巴俄苷

中图分类号: R931.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2022)06-0015-06

Effect of Combined Application of NPK Fertilizers on Index Components of *Scrophularia Ningpoensis*

LUO Min¹, TAN Qiusheng¹, LUO Chuan¹,
XU Guang¹, DENG Caifu¹, ZHANG Wenwei¹, REN Xiaoqiang²

1. Chongqing Institute of Medicinal Plant Cultivation, Nanchuan Chongqing 408435, China;

2. Chongqing Jindu Chinese Medicinal Material Development Co. Ltd., Nanchuan Chongqing 408435, China

Abstract: To screened out the best application ratio, which provides scientific basis for the standardized cultivation of *Scrophularia ningpoensis* with high yield and good quality in Chongqing area, the “3414” fertilization scheme was adopted to explore the effects of different NPK combinations on the hydrothermal extract, the total amount of harpagide and harpagoside of *Scrophularia ningpoensis*. The results show that there were significant differences in total of hydrothermal extracts, harpagide and harpagoside, among different fertilization treatments, and the highest contents were found in $N_2P_2K_1$. The effects of NPK fertilizer on the total amount of hydrothermal extract and harpagide and harpagoside were $P>K>N$, $N>P>K$, respectively. NPK pairwise interaction showed negative interaction with hydrothermal extract, N and K showed negative interaction with total amount, and the rest showed positive interaction. The order of aver-

① 收稿日期: 2021-04-12

基金项目: 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2016shmszx130102); 重庆市科技计划项目(cstc2017jxjl-jbky120018)。

作者简介: 罗敏, 硕士, 副研究员, 主要从事土壤生态环境与中药材质量控制的研究。

通信作者: 邓才富, 研究员。

age membership function value from high to low was $N_2P_2K_1=N_2P_1K_1>N_2P_1K_2>N_0P_2K_2>N_2P_0K_2>N_2P_2K_3>N_0P_0K_0>N_2P_3K_2=N_2P_2K_0>N_1P_1K_2=N_1P_2K_1>N_3P_2K_2>N_2P_2K_2=N_1P_2K_2$. In the scope of this study, the comprehensive effect of $N_2P_2K_1$, $N_2P_1K_1$, which medium and low ratio on the index components of *Scrophularia ningpoensis* was the best among the 14 different treatments.

Key words: *Scrophularia ningpoensis*; “3414” fertilization plan; extract content; harpagide; harpagoside

玄参是一味药用历史悠久的传统中药,最早记载于《神农本草经》,列为中品.中药玄参为玄参科植物玄参 *Scrophularia ningpoensis* Hemsl. 的干燥根,具有凉血解毒、滋阴的功效.现代药理研究还发现,其具有降血糖^[1-2]、抗炎^[3-4]、保肝^[5-6]等作用.玄参作为药食两用大宗中药材,是中药处方、多种中成药的重要原料,在保健品方面也极具开发价值,具有广泛的市场前景.玄参产地多、分布广,而在人工栽培过程中,各地生产技术标准参差不齐,导致其药材产量与品质差异较大.因此,如何保障和提高玄参的产量和品质,是目前玄参生产中亟待解决的问题.

栽培玄参的产量和质量不仅受气候、土壤等自然因素的影响,施肥也是其规范化生产中的关键环节.施肥是增加作物、药用植物等^[7-9]产量的有效措施,且可调控药用植物次生代谢产物积累,从而影响活性成分的质量分数.“3414”试验设计是国内外应用较为广泛的肥料效应田间试验方案,近年来已逐步应用于药用植物的生产中,在灯盏花^[10]、三七^[11]、重楼^[12]等栽培中发挥了较好作用.目前关于施肥对玄参的影响研究有采用 3 因素 2 次 D-饱和和最优设计法,以植株和块根性状为指标研究最佳配方施肥方案^[13];氮磷钾配比与有机肥的复合配方肥对玄参中 7 种有效成分质量分数的影响^[14]以及 5 个氮磷钾配比处理对玄参产量的影响^[15]等.通过以上报道虽能发现施肥对玄参的部分影响效果,但实际指导生产实践的作用有限,且缺乏对玄参氮磷钾肥交互作用及施肥对指标成分的影响研究.因此,本研究通过“3414”施肥试验方案,探究不同氮磷钾比对玄参指标成分质量分数的影响,并进一步拟合其肥料效应函数,以期获得推荐施肥配方,为本产区高产优质玄参规范化种植提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在重庆市南川区大有镇玄参种植基地进行.海拔 945 m,供试土壤为黄壤土,属田块,前茬为油菜、玉米,肥力中等.土壤基本理化性质:有机质 2.07%,pH 值 6.91,速效氮 102.54 mg/kg,有效磷 21.06 mg/kg,速效钾 101.40 mg/kg.

1.2 材料与试验方法

试验设计:基于前期的研究结果,采用“3414”施肥方案,设氮、磷、钾 3 个因素,每因素 4 个水平,共 14 个处理,每处理 3 次重复,随机区组排列.试验方案及氮磷钾施肥量见表 1.

表 1 玄参氮、磷、钾肥“3414”试验设计

编号	肥料组合	尿素/g	过磷酸钙/g	硫酸钾/g
T1	$N_0P_0K_0$	0	0	0
T2	$N_0P_2K_2$	0	200	64
T3	$N_1P_2K_2$	32	200	64
T4	$N_2P_0K_2$	64	0	64
T5	$N_2P_1K_2$	64	100	64
T6	$N_2P_2K_2$	64	200	64
T7	$N_2P_3K_2$	64	300	64
T8	$N_2P_2K_0$	64	200	0
T9	$N_2P_2K_1$	64	200	32
T10	$N_2P_2K_3$	64	200	96
T11	$N_3P_2K_2$	96	200	64
T12	$N_1P_1K_2$	32	100	64
T13	$N_1P_2K_1$	32	200	32
T14	$N_2P_1K_1$	64	100	32

注:以每小区 9 m² 施肥量计.

肥料种类及质量分数: 氮肥为尿素, 总氮质量分数 $N_{\text{总氮}} \geq 46.2\%$; 磷肥为过磷酸钙, 有效磷(P_2O_5)质量分数 $N_{P_2O_5} \geq 12.0\%$; 钾肥为硫酸钾, K_2O 质量分数 $N_{K_2O} \geq 52.0\%$. 每小区肥料按表 1 配比混合后, 为保障施肥的均匀性而采用窝施的方法分别于齐苗时期、苗高 30 cm 时做追肥施入.

供试种苗: 选用质地优良的玄参子芽作为种苗, 经重庆市药物种植研究所邓才富研究员鉴定为玄参 *Scrophularia ningpoensis* Hemsl. 每小区 9 m², 按株行距 40 cm×40 cm 挖穴栽种, 每穴放 1 个子芽. 小区间开排水沟, 试验田管理同大田.

1.3 测定指标与方法

浸出物测定参照《中国药典》2020 年 4 部通则 2201 项下的热浸法; 玄参质量测定以哈巴苷与哈巴俄苷总量计, 测定方法参照 0512 项下的高效液相色谱法.

1.4 数据处理

运用 Excel 2007 办公软件对数据进行处理分析, 应用 SPSS 26.0 统计软件进行方差分析、多重比较及隶属函数计算.

隶属函数公式

$$U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \tag{1}$$

反隶属函数公式

$$U(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \tag{2}$$

式中, $U(X_i)$ 为隶属函数值, X_i 为玄参某个测定指标, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为该指标的最大值和最小值. 若某一指标与施肥为负相关, 则采用反隶属函数, 即式(2) 计算. 各隶属函数值在[0, 1], 最后将各指标的隶属函数值进行平均, 得到平均隶属函数值.

肥效反应的数学模式采用二次多项式, 即

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_2x_3 + b_6x_1x_3 + b_7x_1^2 + b_8x_2^2 + b_9x_3^2$$

式中, x_1, x_2, x_3 分别为 N,P,K 肥施用量, $b_i(i = 1, 2, \cdots, 9)$ 为回归系数, y 为玄参水热浸出物、哈巴苷和哈巴俄苷总量.

2 结果与分析

2.1 不同氮磷钾配比处理对玄参质量的影响

本试验各处理玄参的水热浸出物高于 60.0%, 哈巴苷与哈巴俄苷的总量高于 0.45%, 均满足《中国药典》指标要求. 玄参指标成分质量分数的方差分析结果见表 2. 从表 2 中可知, 哈巴苷、哈巴俄苷质量分数在各施肥处理间的差异无统计学意义, 而二者总量与水热浸出物部分达到统计学意义.

表 2 氮磷钾配方施肥对玄参指标成分质量分数的影响

编号	水热浸出物/%	哈巴苷/%	哈巴俄苷/%	哈巴苷与哈巴俄苷总量/%
T1	74.20±4.64ab	0.87±0.09a	0.09±0.01a	0.96±0.08abc
T2	74.25±3.41ab	0.97±0.18a	0.09±0.03a	1.06±0.15ab
T3	73.96±2.18ab	0.78±0.06a	0.10±0.04a	0.88±0.03c
T4	73.76±2.00ab	0.89±0.14a	0.11±0.04a	1.00±0.21abc
T5	74.48±3.03ab	0.92±0.08a	0.13±0.06a	1.05±0.10abc
T6	72.55±2.31ab	0.84±0.10a	0.09±0.02a	0.93±0.10bc
T7	70.47±7.17b	0.87±0.17a	0.13±0.05a	1.00±0.11abc
T8	72.59±4.39ab	0.86±0.08a	0.11±0.04a	0.97±0.13abc
T9	75.09±3.50a	0.96±0.13a	0.15±0.05a	1.11±0.06a
T10	73.98±2.16ab	0.83±0.07a	0.13±0.02a	0.96±0.08abc
T11	73.52±2.82ab	0.85±0.04a	0.08±0.01a	0.93±0.09abc
T12	73.03±5.64ab	0.80±0.13a	0.12±0.03a	0.92±0.06bc
T13	72.23±1.19ab	0.83±0.13a	0.11±0.05a	0.94±0.09abc
T14	74.73±2.03a	0.94±0.12a	0.16±0.06a	1.10±0.06a

注: 小写字母不同表示处理间差异有统计学意义($p < 0.05$).

水热浸出物质量分数以 T9 最高, T7 最低, T9, T14 与 T7 之间差异有统计学意义($p < 0.05$), 其余处理间差异无统计学意义. 哈巴苷质量分数以 T2 最高, T3 最低; 哈巴俄苷质量分数以 T14 最高, T11 最低.

哈巴昔与哈巴俄昔总量则以 T9 最高, T3 最低, T9, T14 与 T3, T6, T12 之间差异有统计学意义 ($p < 0.05$), T3 与 T2, T9, T14 之间差异有统计学意义 ($p < 0.05$), 其余处理间差异无统计学意义。

2.2 玄参 N, P, K 肥肥效反应方程的建立

2.2.1 指标成分质量分数模型的建立

根据试验结果, 求得在重庆南川基地玄参的 N, P, K 肥肥效反应方程分别为

$$y_{\text{浸}} = 76.114 + 0.178 x_1 + 3.859 x_2 - 0.291 x_3 - 1.239 x_1 x_2 + 0.798 x_2 x_3 + 0.371 x_1 x_3 - 0.073 x_1^2 - 2.098 x_2^2 - 0.478 x_3^2, R^2 = 0.904 \quad (1)$$

$$y_{\text{总}} = 0.870 + 0.096 x_1 + 0.003 x_2 - 0.003 x_3 - 0.035 x_1 x_2 + 0.071 x_2 x_3 - 0.149 x_1 x_3 + 0.075 x_1^2 - 0.020 x_2^2 + 0.023 x_3^2, R^2 = 0.823 \quad (2)$$

方差分析结果显示, 式(1)中 $F = 4.193 > F_{0.05} = 0.090$; 式(2)中 $F = 2.065 > F_{0.05} = 0.253$, 说明以上肥效方程与实际情况拟合性较好, 反映了玄参水热浸出物质量分数、哈巴昔和哈巴俄昔总量与氮、磷、钾 3 因子的相关关系, 对玄参的合理施肥具有一定的指导意义。由主效应系数得出 N, P, K 肥对玄参水热浸出物、哈巴昔和哈巴俄昔总量的影响由大到小分别为 $P > K > N$, $N > P > K$ 。

2.2.2 单因素肥料对指标成分质量分数的影响

选用处理 T2, T3, T6, T11 求得在 P_2K_2 为基础的氮肥效应方程为

$$y_{\text{浸}} = 76.149 + 0.479 x_1 - 0.785 x_1^2, R^2 = 0.945 \quad (3)$$

$$y_{\text{总}} = 1.186 - 0.414 x_1 + 0.119 x_1^2, R^2 = 0.996 \quad (4)$$

选用处理 T4, T5, T6, T7 求得在 N_2K_2 为基础的磷肥效应方程为

$$y_{\text{浸}} = 75.371 + 3.956 x_2 - 2.500 x_2^2, R^2 = 0.952 \quad (5)$$

$$y_{\text{总}} = 0.935 + 0.148 x_2 - 0.048 x_2^2, R^2 = 0.775 \quad (6)$$

选用处理 T6, T8, T9, T10 求得在 N_2P_2 为基础的钾肥效应方程为

$$y_{\text{浸}} = 70.369 + 5.194 x_3 - 1.518 x_3^2, R^2 = 0.998 \quad (7)$$

$$y_{\text{总}} = 1.146 - 0.164 x_3 + 0.026 x_3^2, R^2 = 0.651 \quad (8)$$

根据式(3), (5), (7) 可以看出, N, P, K 肥对玄参水热浸出物质量分数的影响曲线是一条开口向下的抛物线, 说明在一定范围内, 随着 N, P, K 肥施用量的增加, 玄参水热浸出物质量分数增加, 但过量施用则会呈下降趋势, 因此, 可以找出促进玄参水热浸出物质量分数增加的肥料施用量。

根据式(4), (6), (8) 可以看出, N, K 肥对玄参哈巴昔与哈巴俄昔总量的影响呈负效应; 在一定范围内, 随 P 肥施用量的增加, 玄参哈巴昔与哈巴俄昔总量增加, 但过量施用 P 肥, 则会呈下降趋势。

2.2.3 两两交互效应分析

选用处理 T2—T7, T11, T12 求得在 K_2 为基础的氮、磷肥效应方程为

$$y_{\text{浸}} = 65.288 + 5.942 x_1 + 10.476 x_2 - 3.308 x_1 x_2 - 0.446 x_1^2 - 2.472 x_2^2, R^2 = 0.963 \quad (9)$$

$$y_{\text{总}} = 1.231 - 0.384 x_1 - 0.037 x_2 + 0.017 x_1 x_2 + 0.099 x_1^2 + 0.004 x_2^2, R^2 = 0.880 \quad (10)$$

选用处理 T4—T10, T14 求得在 N_2 为基础的磷、钾肥效应方程为

$$y_{\text{浸}} = 65.822 + 7.800 x_2 + 6.870 x_3 - 1.587 x_2 x_3 - 2.697 x_2^2 - 1.077 x_3^2, R^2 = 0.978 \quad (11)$$

$$y_{\text{总}} = 1.389 - 0.077 x_2 - 0.311 x_3 + 0.084 x_2 x_3 - 0.024 x_2^2 + 0.019 x_3^2, R^2 = 0.766 \quad (12)$$

选用处理 T2, T3, T6, T8—T11, T13 求得在 P_2 为基础的氮、钾肥效应方程为

$$y_{\text{浸}} = 63.151 + 5.448 x_1 + 9.052 x_3 - 2.313 x_1 x_3 - 0.886 x_1^2 - 1.291 x_3^2, R^2 = 0.958 \quad (13)$$

$$y_{\text{总}} = 0.975 - 0.089 x_1 + 0.024 x_3 - 0.112 x_1 x_3 + 0.089 x_1^2 + 0.036 x_3^2, R^2 = 0.776 \quad (14)$$

根据式(9), (11), (13) 可以看出, N, P 交互, P, K 交互, N, K 交互作用的系数均为负值, 说明在本试验条件下, N, P, K 肥两两交互对玄参水热浸出物表现为拮抗的负交互作用。根据式(10), (12), (14) 可知, N, P 交互, P, K 交互对哈巴昔与哈巴俄昔总量表现为协同的正交互作用, N, K 交互表现为拮抗的负交互作用。

2.3 隶属函数分析

对玄参各指标成分质量分数进行隶属函数分析, 可以综合评价不同施肥组合下的玄参质量。

从表 3 可知, 本试验中, 玄参的指标成分隶属函数均值由大到小依次为 $T9 = T14 > T5 > T2 > T4 >$

T10>T1>T7=T8>T12=T13>T11>T6=T3. 不施肥处理 T1 排在中间位置, 说明氮磷钾配方比例对玄参质量的影响较大, 存在较为明显的浓度效应, 适宜的氮磷钾配方施肥对玄参质量提升有促进作用. 根据隶属函数值排列靠前的施肥处理来看, 氮肥中等施肥水平配比低/中等磷肥、低钾肥对玄参指标成分积累具有积极作用, 此评价体系中以 T9(N₂P₂K₁), T14(N₂P₁K₁)效果最佳.

表 3 氮磷钾配方施肥的玄参指标成分质量分数隶属函数分析

编号	水热浸出物	哈巴苷	哈巴俄苷	哈巴苷与哈巴俄苷总量	隶属均值
T1	0.81	0.48	0.10	0.34	0.43
T2	0.82	1.00	0.16	0.80	0.69
T3	0.76	0.00	0.27	0.00	0.26
T4	0.71	0.57	0.35	0.50	0.54
T5	0.87	0.76	0.57	0.73	0.73
T6	0.45	0.31	0.09	0.20	0.26
T7	0.00	0.51	0.56	0.53	0.40
T8	0.46	0.41	0.35	0.37	0.40
T9	1.00	0.97	0.82	1.00	0.95
T10	0.76	0.26	0.61	0.33	0.49
T11	0.66	0.38	0.00	0.22	0.31
T12	0.55	0.12	0.44	0.15	0.32
T13	0.38	0.25	0.39	0.25	0.32
T14	0.92	0.88	1.00	0.99	0.95

3 讨论

肥料是保障作物产量与品质的重要因素, 合理施肥是中药材规范化栽培中的重要农艺措施^[10], 不仅能促进植物生长发育, 提高药材产量, 亦能改善药材品质, 对中药材质量保障及其土壤环境的保护均具有重要意义^[16-17]. 已有研究表明, 适量的氮磷钾配施能提高天麻、枸杞、旋覆花等药材的产量和药用成分^[18-21]. 本试验结果表明, 氮磷钾配施对药材浸出物质量分数的积累具有一定的影响, 与其他中药材品种的文献报道^[22-24]结果相似. 通过氮磷钾 3 因素的肥料配比试验发现, 氮磷钾肥对玄参指标成分质量分数表现出不同的影响作用, 对水热浸出物的影响由大到小为 P>K>N; 随 N,P,K 肥施用量的增加呈先上升后下降趋势, 并且两两交互表现为拮抗作用. 而对哈巴苷和哈巴俄苷总量的影响由大到小为 N>P>K, 适量 P 肥具有促进作用, 两两交互 N 和 P,P 和 K 表现为协同作用, N 和 K 表现为拮抗作用. 由此更凸显了施肥配比对玄参质量影响的重要性, 因而必须寻求适地、适宜的玄参氮磷钾配方施肥比例.

综合本试验研究结果发现, 不同肥料配比中, N₂P₂K₁, N₂P₁K₁ 中低等配比的玄参水热浸出物、哈巴苷与哈巴俄苷的总量最高, 表明玄参并非耐高肥力的药用植物, 这与施肥对玄参产量的影响结果类似^[13], 玄参对 N,K 肥的耐受力较差, 随二者施用量的增加, 玄参产量均降低; 以中、低等配方肥为最优配方^[14]. 而另有研究表明, 在施足氮、钾肥的基础上增施磷肥对玄参有较好的增产效果^[15]. 本研究与前人研究结果存在差异, 这可能是因为: ①玄参质量与栽培地土壤类型及当地气候条件等相关, 导致不同地区的研究结果不同; ②与施肥水平、配比、肥料种类及施肥方式有关. 本试验为保障施肥效果而采用窝施的方式, 保证重复小区每窝的肥料配比与施用量; ③N,P,K 不同肥料肥效的发挥受环境条件的影响很大, 如土壤肥力状况、气候条件等均相关. 针对不同区域土壤理化指标、气候条件以及玄参需肥规律进行长期定位试验, 找出适宜当地条件的最佳施肥配比、施肥量、施肥时期与施肥方式. 玄参的有效成分质量分数、植物营养、供试土壤养分肥力与 N,P,K 肥之间的关系极为复杂, 有待进一步深入探讨.

4 结论

通过研究, 得出以下结论:

①N,P,K 肥对玄参指标成分具有不同的影响作用, 对水热浸出物和哈巴苷、哈巴俄苷二者总量的影响由大到小分别表现为 P>K>N, N>P>K.

②在一定范围内, 随着 N,P,K 肥施用量的增加, 玄参水热浸出物质量分数增加, 但过量施用则呈下降趋势. N,K 肥对玄参哈巴苷与哈巴俄苷总量的影响呈负效应, 在一定范围内随 P 肥施用量的增加而增加,

过量施用则下降.

③N,P,K 肥两两交互对玄参水热浸出物表现为拮抗的负交互作用, N 和 P,P 和 K 对哈巴苷与哈巴俄苷总量表现为协同的正交互作用, N 和 K 为拮抗的负交互作用.

④在本试验范围内, 14 种不同 N,P,K 肥配比处理对玄参指标成分质量分数的影响中, 以 $N_2P_2K_1$, $N_2P_1K_1$ 中、低等配比的综合效果最佳.

参考文献:

[1] LU Y, LI J L, JIANG Q, et al. Effect of Scrophularia Ningpoensis Extract on Diabetes in Rats [J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2017, 16(6): 1331.

[2] 张宁, 李自辉, 于卉, 等. 玄参及其各组分的降血糖作用 [J]. 中药药理与临床, 2016, 32(5): 55-60.

[3] SHEN X, EICHHORN T, GRETEN H J, et al. Effects of Scrophularia Ningpoensis Hemsl. on Inhibition of Proliferation, Apoptosis Induction and NF- κ B Signaling of Immortalized and Cancer Cell Lines [J]. Pharmaceuticals (Basel, Switzerland), 2012, 5(2): 189-208.

[4] 霍玉峰, 詹志来, 王怀立, 等. 中药玄参中化学成分及其抗炎活性研究 [J]. 中国药学杂志, 2020, 55(14): 1207-1214.

[5] 李翎熙, 陈迪路, 周小江. 玄参化学成分、药理活性研究进展及其质量标志物分析预测 [J]. 中成药, 2020, 42(9): 2417-2426.

[6] WANG C W, FANG X H. Protective Effect of Rhamnopyranosyl Vanilloyl Isolated from Scrophularia Ningpoensis Hemsl (Scrophulariaceae) Root Against Acute Liver Injury in Mice [J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2016, 15(7): 1499.

[7] 魏双雨, 李敏, 吉文丽, 等. 适宜氮磷钾用量和配比提高油用牡丹产量和出油量 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(5): 880-888.

[8] 胡佳栋, 武子丁, 刘子哲, 等. 党参氮磷钾施肥效应与最优施肥量研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1615-1622.

[9] 张豆豆, 金燕清, 罗琳, 等. 氮磷钾配施对甘草产量的影响及其与土壤养分含量的关系 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(12): 2474-2479.

[10] 鲁泽刚, 卢迎春, 张广辉, 等. 氮磷钾配施对灯盏花产量和品质的影响及肥料效应 [J]. 核农学报, 2019, 33(3): 616-622.

[11] 宋希梅, 朱永全, 卢迎春, 等. 基于“3414”的三七氮磷钾施肥量研究 [J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(1): 16-25.

[12] 李金龙, 熊俊芬, 张海涛, 等. 氮、磷、钾对滇重楼产量及皂苷含量的影响 [J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(5): 895-901.

[13] 纪薇, 梁宗锁, 姜在民, 等. 玄参高产栽培优化配方施肥技术研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(2): 170-174.

[14] 宋旭红, 陈大霞, 谭均, 等. 不同配方肥对玄参产量及品质的影响研究 [J]. 时珍国医国药, 2017, 28(7): 1754-1756.

[15] 王兆林, 张真. 氮磷钾肥比对玄参产量的影响 [J]. 浙江农业科学, 2013, 54(10): 1280-1281.

[16] 邵镔钎, 李丹, 蒋攀, 等. 氮、磷、钾配施对川明参产量和品质的影响 [J]. 中草药, 2018, 49(16): 3926-3932.

[17] 丁丹丹, 李西文, 陈士林, 等. 优质中药材栽培合理施肥探讨 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2018, 20(7): 1114-1122.

[18] 熊万, 唐成林, 王以兴, 等. 不同氮磷钾比对天麻产量及品质的影响 [J]. 山地农业生物学报, 2020, 39(3): 61-66.

[19] 袁晓倩, 郭巧生, 王长林, 等. 氮磷钾配方施肥对旋覆花生长及化学成分含量的影响 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(15): 3246-3252.

[20] 王方方, 杨小玉, 毛怡宁, 等. 氮磷钾配施对青海地区枸杞子产量和药用成分的影响 [J]. 中国现代中药, 2019, 21(2): 199-203, 207.

[21] 崔睿, 梁艳丽, 胡倩倩, 等. 施用磷肥与复合肥对云黄连生长性状、产量和品质的影响 [J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(4): 697-702.

[22] 高普珠, 晋小军, 张喜民, 等. 施用磷酸二铵对延胡索产量品质的影响 [J]. 中草药, 2018, 49(15): 3687-3691.

[23] 刘莉, 简应权, 姚厂发, 等. 苗药血人参规范化种植肥效试验研究 [J]. 中草药, 2018, 49(5): 1169-1173.

[24] 刘哲, 钟海蓉, 威则日沙, 等. 氮、磷、钾配施对华重楼根茎的产量和有效成分含量的影响 [J]. 中草药, 2019, 50(24): 6103-6113.