



不同氮磷钾配比对乌头生长及黑顺片品质的影响

李旦旦¹, 邱浩¹, 崔浪军¹, 张国彦², 王国栋¹, 强毅^{1*}

(1. 西北濒危药材资源开发国家工程实验室, 药用资源与天然药物化学教育部重点实验室, 陕西师范大学生命科学学院, 陕西 西安 710119; 2. 城固县群利中药材合作社, 陕西 汉中 723200)

摘要: 附子是我国传统大宗药材之一。近年来, 施用氮磷钾复合肥已成为提高种植附子产量的常规手段。但不同施肥模式下产出的附子及加工产品黑顺片的质量是否符合新版《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)的规定尚不清楚, 因此筛选科学的氮磷钾配施方案对附子产业的质量提升具有重要意义。笔者在陕西省城固县开展大田试验, 通过对 13 种不同施肥处理下附子产量、加工产品黑顺片的主要有效成分的含量以及经济效益等进行综合分析, 筛选科学的氮磷钾配施方案。结果表明, 不同比例氮磷钾复合肥可以对附子产量及质量、黑顺片质量等影响不同, 处理 13 (施用量 N 450 kg/hm²、P₂O₅ 84.375 kg/hm²、K₂O 56.25 kg/hm²) 的附子双酯型生物碱和总生物碱含量较高, 但是加工产品黑顺片的灰分、酸不溶性灰分及浸出物的含量均不符合新《中国药典》要求, 处理 5 (施用量 N 450 kg/hm²、P₂O₅ 168.750 kg/hm²、K₂O 112.50 kg/hm²) 的附子产量和生物碱含量有所增加, 但是经济效益一般, 相比之下, 处理 6 (施用量为 N 450 kg/hm²、P₂O₅ 253.130 kg/hm²、K₂O 112.50 kg/hm²) 的经济效益高, 加工的黑顺片符合新《中国药典》要求, 同时不危害当地生态环境, 最值得推广, 且根据主成分分析得出附子的产量、附子的生物碱和黑顺片灰分是决定附子综合品质的关键因素。

关键词: 附子; 品质; 氮磷钾配比; 经济效益; 黑顺片

氮磷钾元素对植物养分的转化、利用及物质分配具有促进和调节作用。科学的氮磷钾配施不仅能协调药用植物对养分的需要与土壤供养的矛盾, 达到高产、优质的目的, 而且能够以较少的肥料投资获取最大的经济效益, 是提高中药材产量和改善药材品质的重要农艺措施^[1]。筛选科学、合理的氮磷钾配施方案是实现高品质中药材高产、经济效益与生态效益兼顾的重要手段之一。

2020 版《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)^[2] 中收录的乌头属植物乌头 (*Aconitum carmichaelii* Debx.) 的干燥母根为“川乌”, 子根的加工品为“附子”。附子具有回阳救逆、补火助阳、散寒止痛等功效^[3], 需加工为黑顺片等饮片以入药。乌头目前广泛种植于陕西汉中、四川绵阳等地, 已成为当地农户收入的主要来源之一^[4]。

施肥作为促进农作物生长、提高农作物产量并

改善农产品质量的重要措施, 在农业生产中已得到广泛使用^[5]。研究表明, 每公顷施尿素 195.6 kg、过磷酸钙 580.5 kg、硫酸钾 337.5 kg 能提升江油河西的附子产量及单个附子大小^[6]。当氮磷钾施肥比例为 N:P:K=3.18:1:1.14 时, 能提高半夏块茎生物碱的积累^[7]。合理氮磷钾配比施肥可以增加当归灰分含量^[8], 但在此施肥模式下生产出的乌头经济效益如何, 以及加工为饮片的质量是否符合新版《中国药典》规定尚不清楚。2020 版《中国药典》全面实施后, 以加工后的饮片符合新版《中国药典》相关要求的附子种植施肥方案的研发迫在眉睫。基于此, 本研究比较分析不同氮磷钾配施下附子和黑顺片产量、主要有效成分的含量以及经济效益等, 以期优选出科学的氮磷钾配施方案, 为附子规范化生产提供科学的施肥选择。

1 材料与方法

1.1 试验材料与方案

2019 年 10 月在陕西省城固县龙王庙镇开展大田试验。试验采用随机区组设计, 分别设置不同的氮磷钾施肥配比 (表 1)。供试肥料为碳酸氢铵 (N 17%)、过磷酸钙 (P₂O₅ 12%)、硫酸钾 (K₂O 50%), 均购自西安风腾化工有限公司。共 13 个处

收稿日期: 2022-09-14; 录用日期: 2022-12-24

基金项目: 中央高校创新团队项目 (GK202001006, GK202006003); 陕西省重点研发项目 (2019ZDLSF04-01-01, S2020-YF-YBSF-1029); 科技部科技惠民计划 (2012GS610102)。

作者简介: 李旦旦 (1997-), 在读硕士研究生, 研究方向为植物种质资源保护与开发利用。E-mail: 1244484882@qq.com。

通讯作者: 强毅, E-mail: yqiang@snnu.edu.cn。



理, 每个处理重复 3 次。小区面积为 1.2 m × 11 m, 每小区种植 100 株。以处理 5 (汉中传统施肥方式) 为对照。2020 年 3 月, 进行第 1 次追肥, 追肥量为表 1 肥料用量的 60%, 2020 年 5 月, 进行第 2 次追肥, 追肥量为表 1 肥料用量的 40%; 其余正常田间管理 (不进行人工灌溉及喷洒农药)。2020 年 8 月采挖乌头及其根际土壤样品, 并测定相关指标。

表 1 不同处理的氮磷钾施肥量 (kg/hm²)

处理	氮磷钾水平	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	N0P2K2	0	168.750	112.50
2	N1P2K2	225	168.750	112.50
3	N2P0K2	450	0.000	112.50
4	N2P1K2	450	84.375	112.50
5	N2P2K2	450	168.750	112.50
6	N2P3K2	450	253.130	112.50
7	N2P2K0	450	168.750	0.00
8	N2P2K1	450	168.750	56.25
9	N2P2K3	450	168.750	168.75
10	N3P2K2	675	168.750	112.50
11	N1P1K2	225	84.375	112.50
12	N1P2K1	225	168.750	56.25
13	N2P1K1	450	84.375	56.25

1.2 农艺性状测定

每个小区随机选取 30 株乌头 (分为 3 组, 每组 10 株), 收集乌头及根际土壤。采用常规方法测量乌头株高、茎粗、地下生物量和地上生物量。土壤用冰盒带回实验室后自然风干至恒重, 测定 pH 值和有机质含量。

1.3 黑顺片的加工

将采收的部分附子洗净, 浸入胆巴溶液中 24 h, 连同浸液煮至透心, 捞出, 水漂, 纵切成厚约 0.5 cm 的片, 再用水浸漂, 取出, 蒸至出现油面、光泽后烘干, 制成黑顺片^[9]。

1.4 附子及黑顺片主要品质指标测定

干燥后的附子和黑顺片粉碎后, 采用高效液相色谱法测定生物碱含量^[10]; 参照 2020 版《中国药典》第四部 2302 灰分测定法测定黑顺片中的灰分和酸不溶灰分的含量、2201 浸出物测定法测定黑顺片中浸出物的含量^[2]。

1.5 土壤 pH 值和有机质含量的测定

采用 pH 计测量根际土壤 pH 值^[11], 重铬酸钾

滴定法测量有机质含量^[12]。

1.6 乌头经济效益的计算

基于单株附子与川乌产量, 换算成公顷产量 (kg/hm²)。生产成本以种子、肥料和人工费之和计算 (元 /hm²)。附子产值等于公顷产量乘以每千克附子售卖价格 (元 /hm²), 川乌产值等于公顷产量乘以每千克川乌售卖价格 (元 /hm²), 总产值为附子产值与川乌产值之和 (元 /hm²)。净利润等于总产值减去生产成本 (元 /hm²)。

1.7 数据分析

使用 R 4.1.1 (<http://www.r-project.org/>) 分析数据。在 $P<0.05$ 水平上采用单因素方差分析检验氮磷钾施肥配比对乌头及饮片产量与质量影响的显著性, 绘制生物碱含量热图。对产量、生物碱含量、灰分、浸出物等数据进行标准化处理以确保分析准确性。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对乌头农艺性状与品质的影响

2.1.1 不同施肥处理对乌头农艺性状的影响

生长指标可直观反映施肥对植物生长的促进效果^[5]。由表 2 可知, 不同氮磷钾施肥处理对乌头的农艺性状和产量影响差异较大。与汉中传统施肥方式 (处理 5) 相比, 处理 1、9 和 13 的株高、地上生物量有所增加, 处理 3 和 4 的株高变高, 处理 6 的株高、地上生物量、地下生物量和附子产量均增加, 处理 3、4、9 的川乌产量无明显变化。

2.1.2 不同氮磷钾肥料配比对附子生物碱含量的影响

生物碱为附子的主要药性成分^[13]。由图 1 可知, 随着氮肥施用水平的增加, 附子的总生物碱含量呈现先减少后增加的趋势; 随着磷肥施用水平的增加, 附子的总生物碱含量随之增加; 而随着钾肥施用水平的增加, 附子的总生物碱含量变化不明显。其中处理 1 中宋果灵、盐酸多巴胺和去甲猪毛菜碱这 3 种生物碱含量之和达到最高水平, 处理 2 的单酯型生物碱含量最高, 处理 5 的双酯型生物碱和总生物碱含量最低。处理 6 新乌头碱含量最高, 其余生物碱含量均处于较高水平, 且总生物碱含量位于第三。此外, 与其他处理相比, 处理 13 的总生物碱含量最高, 高于对照 89.9%, 双酯型生物碱含量也为最高, 但单酯型生物碱含量在所有处理中较低。

表 2 不同施肥处理下的乌头农艺性状

处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	地上生物量 (g/株)	地下生物量 (g/株)	附子产量 (g/株)	川乌产量 (g/株)
1	77.15 ± 7.36a	10.85 ± 2.33cde	116.46 ± 2.90ab	108.04 ± 9.18c	78.80 ± 5.70bc	29.27 ± 7.56bcd
2	73.23 ± 6.37ab	10.77 ± 2.33cde	103.16 ± 3.00bc	118.57 ± 18.31bc	77.48 ± 11.69bcd	42.44 ± 6.93ab
3	74.10 ± 6.21ab	10.26 ± 2.20de	105.77 ± 3.40bc	127.38 ± 5.24ab	80.90 ± 7.66abc	46.48 ± 9.25a
4	70.64 ± 8.55bcd	10.28 ± 2.00de	102.21 ± 3.70bc	121.79 ± 7.06abc	79.67 ± 9.39bc	42.13 ± 2.49ab
5	67.70 ± 10.41d	14.06 ± 3.86a	109.81 ± 4.00b	135.46 ± 7.71a	88.93 ± 3.32ab	46.35 ± 6.58a
6	72.31 ± 11.38bc	12.53 ± 2.67abc	129.01 ± 5.00a	136.83 ± 8.65a	96.69 ± 5.91a	39.96 ± 3.36ab
7	63.68 ± 10.75e	13.22 ± 3.43ab	90.42 ± 2.32cd	117.41 ± 0.87bc	84.79 ± 3.28abc	38.95 ± 4.15ab
8	68.51 ± 6.62cd	12.47 ± 15.24abc	89.80 ± 3.11cd	112.86 ± 14.1bc	80.05 ± 8.95bc	32.81 ± 6.95bc
9	70.34 ± 8.11bcd	11.14 ± 9.49cde	118.48 ± 7.12ab	125.80 ± 27.1ab	82.81 ± 16.91abc	42.64 ± 10.35ab
10	62.63 ± 9.19e	9.37 ± 2.34e	91.03 ± 4.10cd	112.84 ± 13.65bc	83.93 ± 4.16abc	20.73 ± 9.49cd
11	61.00 ± 6.08e	10.45 ± 2.37cde	81.15 ± 3.67d	80.34 ± 3.96e	62.93 ± 4.03d	17.41 ± 5.89d
12	68.92 ± 8.71cd	11.37 ± 3.42abcd	90.98 ± 2.85c	107.48 ± 4.11b	71.60 ± 1.36cd	35.93 ± 2.79ab
13	73.17 ± 6.15ab	12.63 ± 4.08bc	112.27 ± 3.13ab	117.00 ± 8.32bc	85.33 ± 3.22abc	31.67 ± 5.60bc

注：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

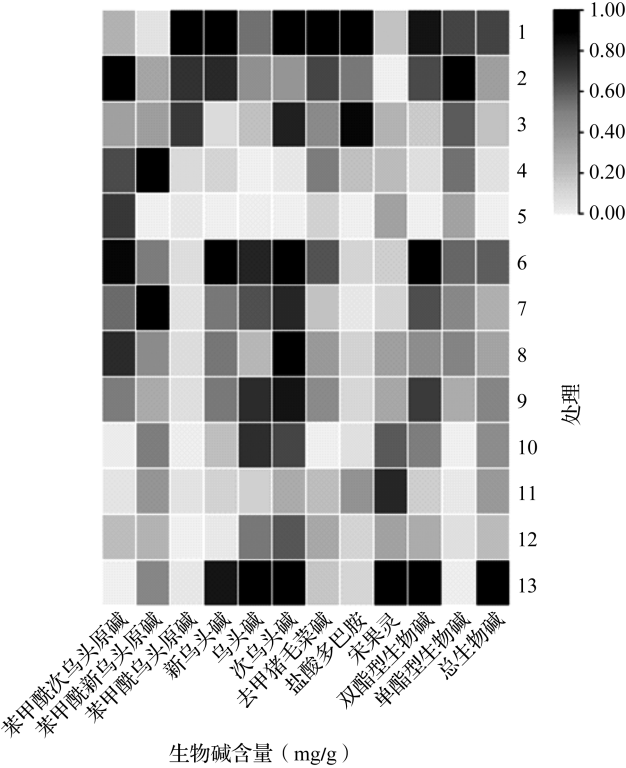


图 1 不同氮磷钾施肥配比处理下附子生物碱含量

2.2 不同施肥处理对黑顺片质量的影响

附子在临床使用前必须经过特定工艺炮制成饮片，且在炮制过程中不能一味的考虑去毒，也要重视其疗效。目前临床使用的附子饮片以黑顺片为主^[14]。由如图 2 可知，所有施肥处理下黑顺片的双酯型生物碱含量已经低于最低检测限，单酯型生物碱含量均不低于 0.01%，均符合 2020 版《中国药典》^[2] 的要求。其中处理 1 的单酯型生物碱和总生物碱含量均处于较

低水平。处理 6 盐酸多巴胺含量最高，其余生物碱含量也均处于较高水平。处理 10 的总生物碱含量最高，单酯型生物碱含量高于对照 3.8%。

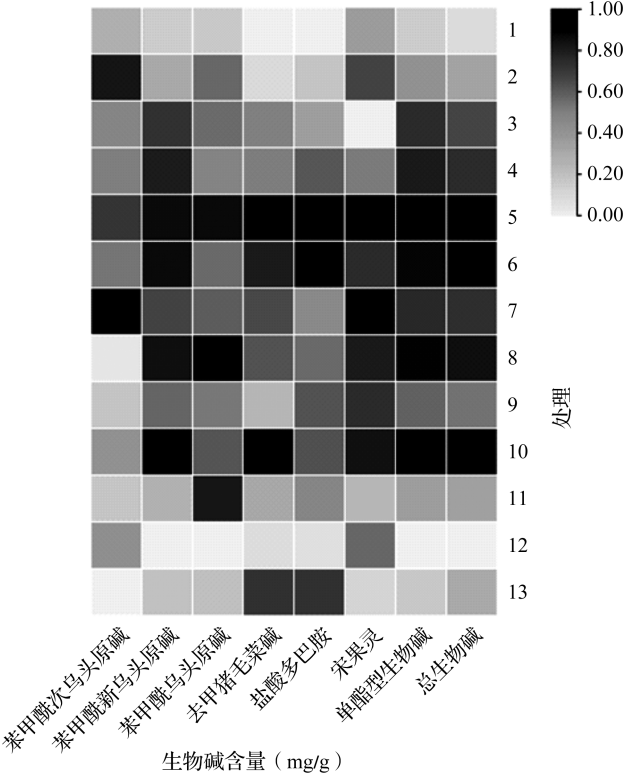


图 2 不同施肥处理下黑顺片生物碱含量

研究表明，药材中的灰分含量可以反映药材的纯度，浸出物能反映出药材的内在品质^[8]。2020 版《中国药典》^[2] 第一部“附子”项下规定黑顺片灰分含量不得大于 6%、酸不溶性灰分不得超过 1%。除此之外，本研究增加了水溶性浸出物作为黑顺片的附加质量指标。由表 3 可知，



表 3 不同施肥处理下黑顺片灰分及浸出物含量 (%)			
处理	灰分	酸不溶性灰分	水溶性浸出物
1	9.32 ± 0.54a	1.33 ± 0.42ab	12.85 ± 1.87fg
2	9.12 ± 0.03a	1.17 ± 0.41a	32.16 ± 1.82a
3	6.57 ± 0.49cd	1.38 ± 0.07ab	17.28 ± 0.64cd
4	5.25 ± 0.65e	0.63 ± 0.16d	13.76 ± 1.42fg
5	5.33 ± 0.45e	0.83 ± 0.11cd	17.97 ± 1.03c
6	2.60 ± 0.54g	0.70 ± 0.02d	15.68 ± 1.13cde
7	5.58 ± 0.66de	0.76 ± 0.11cd	14.83 ± 0.81def
8	7.57 ± 0.15bc	1.48 ± 0.38a	21.76 ± 2.51b
9	3.98 ± 0.58f	0.75 ± 0.05cd	22.29 ± 1.07b
10	5.51 ± 0.37de	0.92 ± 0.10bcd	12.53 ± 1.62fg
11	5.42 ± 1.07e	0.90 ± 0.09bcd	11.20 ± 0.45g
12	8.77 ± 0.23a	1.21 ± 0.10abc	7.09 ± 0.82h
13	8.43 ± 0.00ab	1.35 ± 0.31ab	8.48 ± 0.23h

处理 4、5、6、7、9、10、11 的灰分和酸不溶性灰分含量均符合《中国药典》^[2] 要求。其余处理的灰分和酸不溶性灰分含量不符合《中国药典》^[2] 要求。处理 6 的灰分和酸不溶性灰分含量最低。处理 2 的水溶性浸出物含量最高，处理 9 次之，处理 12 的水溶性浸出物含量最低。

2.3 不同施肥处理对乌头药材经济效益和土壤 pH 值、有机质的影响

在中药材生态种植的大趋势下，附子种植要在不能危害生态环境前提下，提高经济效益。由表 4 可知，处理 1、2、3、4、5、6、7、8、9、13 的每公顷净利润无显著差别。其中，处理 6 的每公顷净利润最高，显著高于处理 10、11 和 12，处理 11 的每公顷净利润最低。此外，所有处理的土壤 pH 值波动不大，但土壤有机质含量在部分处理组之间差异明显。

表 4 不同施肥处理对乌头经济效益和土壤化学性质的影响							
处 理	附子产量 (kg/hm ²)	川乌产量 (kg/hm ²)	总产值 (元 /hm ²)	生产成本 (元 /hm ²)	净利润 (元 /hm ²)	土壤 pH 值	土壤有机质 含量 (%)
1	3546.18 ± 256.66bc	1317.28 ± 340.10bcd	84096.37 ± 5978.57bc	47250.00	36846.37 ± 5978.57abc	5.40 ± 0.02ab	16.38 ± 0.79bc
2	3486.43 ± 526.21bcd	1909.99 ± 311.92ab	88828.41 ± 13466.85abc	49050.00	39778.41 ± 13466.85abc	5.21 ± 0.05cd	24.77 ± 0.42a
3	3640.68 ± 344.85abc	2091.57 ± 416.41a	93729.27 ± 4189.21abc	49500.00	44229.27 ± 4189.21abc	5.47 ± 0.01a	8.09 ± 1.01e
4	3584.97 ± 422.61bc	1895.67 ± 112.12ab	90656.10 ± 7392.94abc	50175.04	40481.06 ± 7392.94abc	5.18 ± 0.08cd	15.32 ± 0.78bc
5	4002.02 ± 149.24ab	2085.78 ± 296.26a	100898.14 ± 4445.13ab	50850.00	50048.14 ± 4445.13ab	5.11 ± 0.09de	10.46 ± 4.48de
6	4350.87 ± 265.88a	1798.13 ± 151.27ab	104998.67 ± 6491.14a	51525.04	53473.63 ± 6491.14a	4.97 ± 0.02f	14.04 ± 0.14bcd
7	3815.43 ± 147.52abc	1752.89 ± 186.57ab	93837.45 ± 1084.63abc	49950.00	43887.45 ± 1084.63abc	5.02 ± 0.05ef	9.09 ± 0.14e
8	3602.13 ± 402.90bc	1476.54 ± 312.76bc	86808.00 ± 10159.54bc	50400.00	36408.00 ± 10159.54abc	5.24 ± 0.15c	14.29 ± 2.71bcd
9	3726.47 ± 760.82abc	1918.74 ± 465.86ab	93716.87 ± 19788.61abc	51300.00	42416.87 ± 19788.61abc	5.31 ± 0.01bc	13.92 ± 1.48bcd
10	3776.73 ± 187.06abc	932.99 ± 427.21cd	84864.45 ± 8013.29bc	52650.00	32214.45 ± 8013.29cd	5.26 ± 0.04c	12.11 ± 1.03cde
11	2831.79 ± 181.32d	783.67 ± 265.02d	64472.38 ± 2427.95d	48375.00	16097.38 ± 2427.95d	5.03 ± 0.07ef	17.13 ± 0.5b
12	3222.01 ± 61.10cd	1616.89 ± 125.35ab	80609.17 ± 2456.06c	48600.00	32009.17 ± 2456.06bcd	5.10 ± 0.07de	16.10 ± 2.87bc
13	3839.75 ± 144.83abc	1425.12 ± 251.85bc	91046.17 ± 5090.63abc	49725.00	41321.17 ± 5090.63abc	5.30 ± 0.01bc	22.12 ± 1.64a

注：种子价格 7500 元/hm²，人工费 37500 元/hm²，肥料费 8 元/kg，附子收购价格 20 元/kg，川乌收购价格 10 元/kg。

2.4 基于主成分分析的乌头品质综合评价

对所有处理下的附子、川乌及加工后黑顺片生物碱含量、黑顺片灰分等数据采用标准化处理进行主成分分析^[15]，得到 3 个特征值大于 1 的主成分元素，且累计方差贡献率为 86.937%，可以代表原始数据的主要贡献者。3 个主成分的特征值及其贡献率见表 5。

由表 5 可知，在主成分 1 中，附子产量的特征向量较高；在主成分 2 中，黑顺片的总灰分和黑顺片酸不溶性灰分的特征向量较高；在主成分 3 中，川乌产量的特征向量较高。

表 5 主成分值、特征值及方差贡献率			
指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
乌头地上生物量	0.735	0.512	-0.322
附子产量	0.914	0.215	-0.250
川乌产量	0.802	0.014	0.480
附子总生物碱	-0.113	0.539	-0.713
黑顺片总生物碱	0.614	-0.597	0.079
黑顺片总灰分	-0.534	0.659	0.322
黑顺片酸不溶性灰分	-0.364	0.651	0.415
特征值	3.069	1.780	1.236
贡献率 (%)	43.849	25.425	17.663
累积贡献率 (%)	43.849	69.274	86.937



以各主成分对应的方差贡献率为权重,对得分和主成分对应的权重进行线性加权求和,得到综合评价模型 F,表达式为:

$$F=0.50F_1+0.29F_2+0.20F_3$$

通过综合评价模型,计算出 13 个不同处理下样品的综合评价得分,综合得分可以作为评价标准,得分越高,该处理下乌头的品质越好。由表 6 可知,处理 6 的综合排名最高。

表 6 综合排名及得分

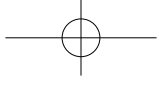
处理	F1	F2	F3	F	排名
1	-1.82	2.05	-0.05	-0.33	10
2	-0.96	0.34	1.01	-0.18	7
3	0.36	-0.11	1.65	0.48	4
4	0.61	-0.92	1.05	0.25	5
5	2.36	-0.79	0.82	1.12	2
6	3.35	1.35	-1.25	1.83	1
7	0.51	-1.36	-0.44	-0.23	8
8	-0.87	-0.47	0.81	-0.41	11
9	1.65	0.50	-0.79	0.82	3
10	0.41	-1.02	-0.77	-0.25	9
11	-2.30	-1.78	-2.29	-2.14	13
12	-2.18	-0.43	0.68	-1.09	12
13	-1.13	2.65	-0.44	0.12	6

3 结论与讨论

药用植物的生长发育和次生代谢产物的积累既受植物本身遗传背景和生长发育进程的调控,也受氮磷钾等营养诱发因子刺激的作用^[16]。不同的氮磷钾施肥模式对不同作物的影响不同。已有研究表明,氮磷钾肥料合理施加有利于贝母总生物碱^[17]和银杏外种皮总黄酮^[18]的积累。施用氮磷钾复合肥能通过提高银杏挂果量^[18]、芸豆单株荚数^[19]、膜荚黄芩根长茎粗^[20]等进而增加产量。合理的氮磷钾肥也可改变红芸豆根际土壤理化性质^[21]。本研究结果表明,虽然不同施肥处理对乌头株高和茎粗的影响不明显,但可明显改变乌头的地上生物量、地下生物量、川乌产量和附子产量。其中处理 6 的株高、地下生物量和附子产量均高于汉中传统施肥方式。

黑顺片是附子加工的饮片临床应用量最大的饮片^[22]。附子及黑顺片的主要次生代谢物是生物碱类物质。前人研究表明,合理的施肥不仅能促进半夏块茎生物碱的积累^[7],而且有利于华重楼根茎灰分的降低和浸出物含量的提高,进而影响饮片质量^[23]。历版《中国药典》对生附子的生物碱含量没有界定,但对附子的加工品黑顺片、白附片等的生物碱含量做出了明确要求。生附子经高温加工后有毒的双酯型生物碱可转化为起主要药理学功能的单酯型生物碱。因此,生附子中高含量的生物碱,特别是双酯型生物碱意味着可为后续高温炮制提供足够的原料。与 2015 版《中国药典》^[24]相比,2020 版中保留了黑顺片“单酯型生物碱(苯甲酰次乌头原碱、苯甲酰新乌头原碱、苯甲酰乌头原碱)含量不得低于 0.01%,双酯型生物碱(新乌头碱、乌头碱与次乌头碱)含量不得高于 0.02%”的要求,同时还增加了黑顺片“灰分含量不得大于 6%、酸不溶性灰分不得超过 1%”的规定。本研究结果表明,不同水平的氮磷钾施用对附子生物碱的积累影响程度不同,其中氮肥和磷肥的影响较钾肥更大。与汉中地区传统的施肥方法相比,不同氮磷钾配施可明显提高生附子双酯型生物碱和总生物碱的积累,且不同处理的附子加工为黑顺片后单酯型和双酯型生物碱含量均符合 2020 版《中国药典》的要求。但只有处理组 4、5、6、7、9、10、11 的灰分和酸不溶性灰分含量符合 2020 版《中国药典》的要求。其余处理的灰分和(或)酸不溶性灰分含量不符合《中国药典》的要求。且处理 6 的盐酸多巴胺含量最高,其余生物碱含量均处于较高水平,灰分和酸不溶性灰分含量最低。前人关于附子施肥方案的研究,更多地是在考察不同施肥模式下附子的产量^[25]。本研究的结果表明,在新版《中国药典》实施的背景下,附子氮磷钾或其他方式的施肥方案选择应综合考虑产量、加工为饮片相关质量要求。

合理施肥是提高中药材产量和改善药材品质的重要农艺措施,可以在提升作物产量和品质的基础上提升药农的经济收益、保护生态环境^[18]。与其他药材作物一样,能明显提高附子种植的经济效益是附子生产中选择具体施肥方案的首要考量因素。在中药材生态种植的大趋势下,附子种植中考虑经济效益的同时,生态效益的考量亦同等重要。本研究发现,处理 1、2、3、4、5、6、7、8、9、13 之



间的差异不大。但相比之下,处理6的乌头净利润显著高于其他处理,达到最高水平,同时在本处理下,土壤pH值和有机质含量较其他处理均无明显变化。

主成分分析是把原来多个变量划为少数几个综合指标的一种统计分析方法,这种分析方法可以更加客观地反映样本间的真实关系^[26]。本研究通过主成分分析,建立了综合评价模型。试验模型结果表明,附子的产量、附子的生物碱和黑顺片灰分是决定附子综合品质的关键因素,且处理6的综合排名最高。

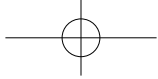
综上所述,综合考虑附子的产量及品质、黑顺片的品质 and 经济效益,处理6(N2P3K2)的施肥模式最值得推广,即肥料的施用量为N 450 kg/hm²、P₂O₅ 253.130 kg/hm²、K₂O 112.50 kg/hm²时,对附子的产量和品质、黑顺片的品质 and 经济效益均有最大促进作用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [3] Kuo Z, Yeshu L, Xin L, et al. Assessment of reproductive toxicity and genotoxicity of Aconiti Lateralis Radix Praeparata and its processed products in male mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 275: 114102.
- [4] 岳聪慧. 附子不同栽培产区质量的比较研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2015.
- [5] 贺维,胡庭兴,王锐,等. 施肥对桢楠幼苗光合生理及生长特性的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(6): 1187-1197.
- [6] 唐莉,梁丽娟,刘天成,等. 附子施肥技术研究[J]. 中药材, 2005, 28(6): 447-450.
- [7] 魏波,张丹,张兴翠. 氮磷钾对半夏块茎生物碱含量的影响研究[J]. 中药材, 2011, 34(12): 1824-1826.
- [8] 彭桐,王引权,李钦,等. 不同施肥处理对当归药材质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(10): 126-131.
- [9] 张明璐. 附子黑顺片的加工工艺研究进展[J]. 广东化工, 2018, 45(22): 58, 66.
- [10] 罗春梅,易凡力,黄志芳,等. HPLC-ELSD法测定附子水

溶性生物碱提取物和蒸附片中5种生物碱的含量[J]. 药分析杂志, 2018, 38(6): 935-941.

- [11] Čapka D, Kisić I, Zgorelec Ž, et al. Determination of soil pH in dominant soil types in the republic of Croatia[J]. Agriculturae Conspectus Scientificus, 2009, 74(1): 13-19.
- [12] 李淑红,赵仕沛. 改进的重铬酸盐法测定土壤有机质含量[J]. 河南农业, 2020(15): 57-58.
- [13] 闫晋晋,慕小倩,崔宏安,等. 乌头营养器官中生物碱组织化学与积累动态研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 85-89.
- [14] 王涵,高盼盼,李天,等. 隶属度法优化黑顺片炮制工艺研究[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版), 2021, 37(3): 26-33.
- [15] Hossein S M. Fully component selection: an efficient combination of feature selection and principal component analysis to increase model performance[J]. Expert Systems with Applications, 2021, 186: 115678.
- [16] 王莉,史玲玲,张艳霞,等. 植物次生代谢物途径及其研究进展[J]. 武汉植物学研究, 2007, 25(5): 500-508.
- [17] 邓秋林,杨正明,陈雨,等. 氮磷钾配施对瓦布贝母产量及总生物碱质量分数的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7): 1138-1146.
- [18] 冯嘉仪,谢珊宴,吴道铭,等. 氮磷钾配施对银杏果实和外种皮产量及品质的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(6): 1650-1659.
- [19] 郝曦煜,肖焕玉,王英杰,等. 优化芸豆产量及产量形成的氮磷钾肥料模型研究[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2): 185-192.
- [20] 王晓飞,姚琴,魏国江,等. 氮磷钾养分对寒地膜荚黄芪生长及药用成分影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2): 149-155.
- [21] 张杰,陈鑫,高芳芳,等. 增施生物有机肥对红芸豆产量和品质的影响[J]. 作物杂志, 2021(3): 161-166.
- [22] 蒋玲霞,袁玉鲜,张晓军. 影响中药饮片质量的原因与对策分析[J]. 职业, 2020(28): 32-33.
- [23] 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.
- [24] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [25] 戴维,黄晶,王涛,等. 江油道地产区附子施肥配比研究[J]. 中药材, 2019, 42(2): 256-259.
- [26] 刘丹. 基于主成分分析的空域使用效能评价[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2015.



Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium ratio on the *Aconitum carmichaelii* Debx. growth characteristics and the processed Heishunpian quality

LI Dan-dan¹, QIU Hao¹, CUI Lang-jun¹, ZHANG Guo-yan², WANG Guo-dong¹, QIANG Yi^{1*} (1. National Engineering Laboratory for Resource Developing of Endangered Chinese Crude Drugs in Northwest China, Key Laboratory of Medicinal Plant Resources and Natural Pharmaceutical Chemistry, Ministry of Education, College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi 710119; 2. Chenggu County Qunli Traditional Chinese Medicine Cooperative, Hanzhong Shaanxi 723200)

Abstract: *Aconitum carmichaelii* Debx. (*A. carmichaelii*) is one of the traditional bulk medicinal materials in China. In recent years, applying nitrogen, phosphorus and potassium compound fertilizer is a common cultivation method to increase the *A. carmichaelii* yield. However, it is not clear whether the quality of the *A. carmichaelii* and processed Heishunpian under these fertilization modes meets the requirements of the new *Pharmacopoeia of the people's republic of China*. Therefore, it is important to screen the scientific nitrogen, phosphorus and potassium application plan for the *A. carmichaelii* cultivation. In this study, the *A. carmichaelii* was cultivated and applied different nitrogen, phosphorus and potassium compound fertilizer at Chenggu county, Shaanxi province, then the effects of these fertilizers on the herb growth, the Heishunpian quality and economic benefits were analyzed. The results indicated that these different compound fertilizer treatments showed different effects. Among the 13 treatments, the treatment 13 (the amount of application is N 450 kg/hm², P₂O₅ 84.357 kg/hm², K₂O 56.25 kg/hm²) indicated higher diester alkaloids and total alkaloids contents, but the contents of ash, acid-insoluble ash and water extract of its processed Heishunpian could not meet the requirements of the new *Pharmacopoeia of the people's republic of China*. However, the treatment 5 (the amount of application is N 450 kg/hm², P₂O₅ 168.750 kg/hm², K₂O 112.50 kg/hm²) showed higher yield and alkaloids contents, and its net profit were lower. The treatment 6 (the amount of application is N 450 kg/hm², P₂O₅ 253.130 kg/hm², K₂O 112.50 kg/hm²) showed the excellent net profit, and the processed Heishunpian quality could meet the requirements of the new *Pharmacopoeia of the people's republic of China*. According to the principal component analysis, the herb yield, the alkaloids and the ash contents of Heishunpian are the key factors that determine the comprehensive quality of herb.

Key words: *Aconitum carmichaelii* Debx.; quality; nitrogen, phosphorus, potassium compound fertilizer; economic benefits; Heishunpian