

崔建波, 张 静, 胡 莉, 等. 不同氮肥及施肥量对延胡索产量和生物碱含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(7): 124–130.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.07.019

不同氮肥及施肥量对延胡索产量和生物碱含量的影响

崔建波¹, 张 静², 胡 莉¹, 杨青山¹, 张 君¹, 祁俊生¹

(1. 重庆三峡学院/三峡库区道地药材绿色种植与深加工重庆市工程实验室, 重庆 404100;

2. 重庆市万州区生态环境监测站, 重庆 404100)

摘要:为探究氮素种类及施氮量对延胡索产量及品质的影响,并为延胡索的优质高产栽培提供氮肥施用依据。采用大田试验,在不同氮素形态及施氮量处理后,比较分析其增产效果,采用高效液相色谱法建立延胡索中 6 种生物碱指纹图谱以分析其药用品质。结果表明,施用不同氮素后对提高延胡索产量均起到了显著促进作用,90 kg/hm² 尿素处理增产效果最佳,增产倍数达 2.730,同比无氮素处理(CK)增加 95.0%,CK 产量最低;药材折干率对比发现,120 kg/hm² 硫酸铵处理折干率最高,达 0.589,同比 CK 增加 54.3%,120 kg/hm² 硝酸铵处理最低,仅有 0.357,同比 CK 低 6.5%;90 kg/hm² 尿素处理显著促进了延胡索干物质的累积。延胡索乙素含量分析表明,90 kg/hm² 尿素处理组中延胡索乙素含量最高,达 0.594 mg/g,同比对照增长 23.0%,120 kg/hm² 硫酸铵处理组含量最低,仅有 0.325 mg/g。药材品质指标对比发现,90 kg/hm² 尿素处理显著提高了延胡索药用价值指标,该组的抗炎镇痛、促进癌细胞自我消亡和综合指标排第一,硫酸铵与硝酸铵处理对药材药用价值的提升效果相近。综合药材产量和生物碱促进效果对比分析表明,尿素、硝酸铵的最佳处理施量处理为 90 kg/hm²,硫酸铵最佳处理施量为 120 kg/hm²。综合得出,培育过程中施加 90 kg/hm² 尿素可有效提高延胡索产量与药材品质。

关键词:延胡索;氮源;折干率;增产倍数;生物碱;主成分分析

中图分类号:S284;S567.21+2.06

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)07-0124-07

延胡索(*Corydalis yanhusuo*)别称元胡,为罂粟科紫堇属一年生草本植物,气微,味苦^[1]。作为我国著名中草药之一,延胡索含有多种生物碱,大量应用于中药制片和临床,相关产品用于主治 78 种疾病^[2]。野生延胡索资源较为稀有,市场延胡索商品主要来源于家种^[3]。其具有种植年限短、种植难度适中、市场环境良好等优势,在浙江、陕西两地产量占比达 92%,而在重庆等地种植规模尚未成型^[4]。

氮素作为植物需求量最大的矿质营养元素,对植物生长发育、作物产量与品质有着极其重要的影响。研究表明,氮素形态与浓度对不同作物的影响效果不同,同一氮源及浓度对一种作物促进其生长发育效果明显,但应用于其他作物时会出现不同效果^[5-6]。高效的氮利用和氮转化可有效提高作物籽

粒产量^[7],较低的氮利用和氮转化效率将不利于作物的吸收转化,多余的氮素沉积在土壤中,经过分解转化后将造成土壤板结、肥力下降等问题^[8]。在农业生产中,氮素主要是铵态氮、硝态氮、酰胺态氮 3 种形态存在,不同形态的氮在吸收、储存、运输、同化过程中存在较大差异,进而影响植物生长^[9]。中药材种类繁多,其营养规律与特点同农作物相比差异较大,虽对部分中药材进行了施肥研究,但起步较晚,研究较少^[10]。延胡索种植过程中须要多次施肥(基肥、腊肥、春肥、苗肥),以保证药材产量及品质。余顺慧等研究了氮肥(尿素)对铬污染土壤延胡索幼苗生长及品质的影响,结果显示不同施量的尿素可有效缓解铬污染对延胡索幼苗的毒害作用^[11]。但是,现有文献中鲜有研究不同氮源及施氮量条件对延胡索产量及品质的作用。因此,本研究以药用植物延胡索为试验材料,通过大田试验研究不同氮源种类(尿素、硫酸铵、硝酸铵)及其施用量对延胡索产量与品质(以原阿片碱、盐酸黄连碱、盐酸巴马汀、盐酸小檗碱、脱氢紫堇碱、延胡索乙素 6 种生物碱含量,判定延胡索品质)的影响,以期对延胡索高产优质栽培中氮肥的合理施用提供科学依据。

收稿日期:2021-07-15

基金项目:重庆市技术创新与应用发展科技特派员专项(编号: cstc2018jscx-mszd0294、cstc2020jscx-tpyz0023)。

作者简介:崔建波(1997—),男,重庆人,硕士研究生,从事中草药种植与土壤环境影响相关研究。E-mail:1391230305@qq.com。

通信作者:祁俊生,博士,教授,从事环境科学、药物化学、生物化学相关研究。E-mail:1208986565@qq.com。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及供试材料

本试验在重庆三峡学院百安校区试验栽培基地(重庆市万州区五桥镇)进行。栽培基地(108°27'06"E,30°45'26"N)属亚热带湿润型季风气候,年平均降水量 1 000 ~ 1 300 mm,年均气温 13.8 ~ 18.8 ℃。供试土壤理化性质如下:有机质含量 18.35 g/kg、全氮含量 1.23 g/kg、碱解氮含量 12.58 mg/kg、速效钾含量 50.34 mg/kg、速效磷含量 11.34 mg/kg、铅含量 13.4 mg/kg、镉含量 0.48 mg/kg、pH 值为 6.30。

于 2019 年 10 月于浙江省东阳市农业局购买大叶延胡索块茎;选择块茎直径 1 ~ 2 cm,无虫口、土黄色扁圆型的当年新生种源作为延胡索种源。

本试验所用肥料均由实验室配制,尿素、硫酸铵、硝酸铵均购自科隆化学有限公司,过磷酸钾、氯化钾购自西陇化工股份有限公司,纯度≥99.0%。色谱级甲醇、乙腈购自德国默克公司。

1.2 试验设计

采用大田试验随机区组设计,施用氮源为尿素、硫酸铵、硝酸铵,每种肥料施用量均为 0、30、60、90、120 kg/hm²。共设置 13 个处理,每个处理 5 个重复,每 4 m² 种植 8 窝(每窝行距 50 cm,合计占地 280 m²),每窝延胡索块茎播种量控制在 5 g 左右(表 1),于 2019 年 11 月 2 日种植,生育期 210 d。中间经历 4 次施肥(基肥 2019 年 11 月 2 日、腊肥 2019 年 12 月 25 日、春肥 2020 年 2 月 30 日、苗肥 2020 年 3 月 15 日,4 次施肥量种类及施肥量一致),分别称取过磷酸钙和氯化钾 5 kg,混合均匀制成不含氮素复合肥,按照 80 kg/hm² 的量均匀施加于各处理。

1.3 样品采集

样品采收于 2020 年 5 月 25 日,收获时将每窝延胡索块茎分别收装在不同采样袋中,每组处理随机取样 5 窝;洗净自然风干后称量,其质量记为单窝产量(鲜质量,FW)。将风干药材块茎置于烘箱(温度 45 ℃)烘至恒质量后称量,记为单窝干质量。用粉碎机粉碎烘干延胡索块茎,过 0.177 mm 筛后备用。

1.4 测定方法

1.4.1 产量 将延胡索块茎洗净后风干至药材表面无水分,用电子天平称质量,记为鲜质量;称质量后的药材置于 45 ℃烘箱烘干至恒质量后电子天平称质量,记为干质量。

表 1 延胡索播种量及氮肥施用量

氮源	处理	施肥量 (kg/hm ²)	氮含量 (kg/hm ²)	单窝播种块茎 质量(g)
无	CK	0	0	5.78 ± 0.13
尿素	A1	30	6.99	4.82 ± 0.24
	A2	60	13.98	5.84 ± 0.37
	A3	90	20.97	5.28 ± 0.32
	A4	120	27.97	5.38 ± 0.13
硫酸铵	B1	30	6.35	5.53 ± 0.30
	B2	60	12.71	5.12 ± 0.35
	B3	90	19.07	5.29 ± 0.43
	B4	120	25.42	5.50 ± 0.37
硝酸铵	C1	30	10.49	4.85 ± 0.21
	C2	60	20.98	4.78 ± 0.14
	C3	90	31.48	5.06 ± 0.23
	C4	120	41.97	5.43 ± 0.35

单窝增产倍数 = 单窝产量/单窝播种量;

折干率 = 单窝鲜质量/单窝干质量。

1.4.2 生物碱含量测定 生物碱含量测定参考张静等的高效液相色谱法(HPLC)^[12],同时测定延胡索中原阿片碱、盐酸黄连碱、盐酸巴马汀、盐酸小檗碱、脱氢紫堇碱、延胡索乙素 6 种生物碱含量。

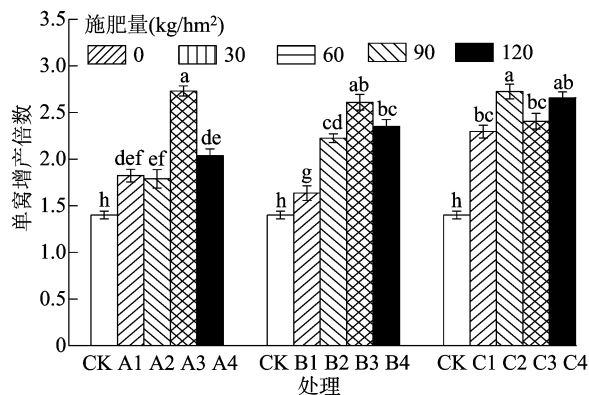
1.5 数据处理

利用 SPSS Statistic 26.0 对所测定结果取平均值和标准差分析,检验各处理组的显著性差异(LSD、邓肯分析和系统聚类分析);用 Excel 2007 及 Origin 2018 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同氮源对延胡索增产效果影响

同种氮源不同施肥量对延胡索产量有显著影响(图 1)。尿素氮源处理组中,A3(90 kg/hm²)单窝增产倍数最高,为 2.730,无氮肥的对照处理(CK)单窝增产倍数最低,为 1.400,约为尿素处理最高组的 51.282%;A2(60 kg/hm²)增产倍数最低,为 1.789,约为 A3 的 65.531%。硫酸铵氮源处理组中,B3(90 kg/hm²)单窝增产倍数最高,为 2.609,CK 增产倍数为硫酸铵处理最高组的 53.660%;B1(30 kg/hm²)在含硫酸铵处理组中增产倍数最低,为 1.636,约为 B3 的 62.706%。硝酸铵氮源处理组中,C2(60 kg/hm²)单窝增产倍数最高,为 2.725,CK 增产倍数约为 C2 的 51.376%,C1(30 kg/hm²)处理在含硝酸铵处理组中增产倍数最低,为 2.296,约为 C2 的 84.257%。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下图同
图1 相同氮肥处理下不同施量其单窝增产倍数

相同施肥量不同氮源种类处理间增产倍数也呈现出较大差异,30 kg/hm² 氮肥处理单窝增产倍数由高到低依次为硫酸铵 > 尿素 > 硝酸铵;60 kg/hm² 氮肥处理单窝增产倍数由高到低依次为硫酸铵 > 硝酸铵 > 尿素;90 kg/hm² 氮肥处理单窝增产倍数由高到低依次为硝酸铵 > 硫酸铵 > 尿素;120 kg/hm² 氮肥处理单窝增产倍数由高到低依次为尿素 > 硫酸铵 > 硝酸铵。比较各氮源种类中增产倍数最高的处理,由大到小依次是 A3 (尿素 90 kg/hm²) > C2 (硝酸铵 60 kg/hm²) > B3 (硫酸铵 90 kg/hm²),而硝酸铵氮源处理组单窝增产倍数普遍高于其他处理。

2.2 不同氮肥对延胡索折干率的影响

折干率是衡量药材产量与质量的重要指标,受其生长环境及自身遗传特性影响^[13]。不同氮源对延胡索折干率也有着显著影响(表 2)。尿素作为氮源时,30 kg/hm² 处理折干率最低,为 0.380,90 kg/hm² 处理折干率最高,为 0.446;硫酸铵作为氮源时,60 kg/hm² 处理组最低,为 0.376,120 kg/hm² 处理组最高,达 0.589;硝酸铵作为氮源时,明显呈现随施量增加折干率先增后减趋势,其中 90 kg/hm² 处理最高,达 0.547。比较不同种类氮源处理中折干率最高的处理,由大到小依次为硫酸铵 120 kg/hm² > 硝酸铵 90 kg/hm² > 尿素 90 kg/hm²。尿素氮源处理单窝折干率在各个施氮量下都普遍偏低,硫酸铵处理随施量增加呈现出增 - 减 - 增趋势,最高组氮源施用量 120 kg/hm² 偏高,硝酸铵处理随施用量增加呈现先增后减趋势,在 90 kg/hm² 施用量下达到峰值。

2.3 不同氮源处理对延胡索生物碱含量影响

2.3.1 原阿片碱 试验对照药品中原阿片碱含量为 0.303 mg/g。由图 2 - A 可知,CK、A1、A3、A4、

表 2 不同氮素种类下不同浓度施用量水平对药材折干率影响

氮源	施肥量 (kg/hm ²)	折干率
尿素	0	0.382cd
	30	0.380cd
	60	0.386cd
	90	0.446b
	120	0.428bc
硫酸铵	30	0.418bc
	60	0.376cd
	90	0.395bc
	120	0.589a
硝酸铵	30	0.388c
	60	0.429bc
	90	0.547a
	120	0.357d

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

B2、C3 处理的原阿片碱含量均高于对照药品;其中 A4 原阿片碱含量最高,高施肥量的尿素促进原阿片碱累积效果较佳。

2.3.2 盐酸黄连碱 由图 2 - B 可知,不同氮源处理中,除 B4 外,其他处理盐酸黄连碱含量均高于对照药品。所有处理组中,盐酸黄连碱含量前 3 组依次为 A3 > A4 > C4;尿素氮源处理中,除 A2 外,其他施用量处理盐酸黄连碱含量均处于较高水平,且 A3 为所有处理组中含量最高。

2.3.3 盐酸巴马汀 由图 2 - C 可知,尿素氮源处理中,盐酸巴马汀含量随氮源施用量的升高而升高,120 kg/hm² 施用量处理含量最高,为 0.472 mg/g,但在所有处理组中处于中间水平。硫酸铵处理中,药材盐酸巴马汀含量随施肥量的升高而下降,其中 30 kg/hm² 施用量处理盐酸巴马汀含量最高,为 0.561 mg/g;硝酸铵处理中,低施用量(C1)盐酸巴马汀含量最高,达 0.737 mg/g,其他施用量处理均低于对照药品,对药材盐酸巴马汀含量影响较大。所有处理组中,仅 C1 生物碱含量高于对照药品,而尿素氮源处理组中盐酸巴马汀含量均较低。

2.3.4 盐酸小檗碱 由图 2 - D 可知,CK、尿素氮源处理的盐酸小檗碱含量均高于对照药品,硫酸铵处理在低施肥量时其盐酸小檗碱含量较高,提高施用量后盐酸小檗碱含量明显下降;硝酸铵处理组盐酸小檗碱含量随处理施用量增加而缓慢增加,仅施用量达 120 kg/hm² 时其小檗碱含量高于对照药品。

不同氮源处理中盐酸小檗碱含量前 3 组(不包括 CK) A2 > A3 > A1, 可知尿素处理在中低施用量时盐酸小檗碱含量均处于较高水平。

2.3.5 脱氢紫堇碱 由图 2-E 可知, 尿素处理组中 A1、A3 脱氢紫堇碱含量高于对照药品; 硫酸铵处理组脱氢紫堇碱含量均低于对照药品; 硝酸处理组中, C1、C3 处理脱氢紫堇碱含量高于对照药品, C2、C4 处理低于对照药品。A3 为所有组中含量最高处理。

2.3.6 延胡索乙素 《中国药典》中明确指出, 延胡索药品中理论板数按延胡索乙素峰计算应不低于 3 000^[1]。对照药品中延胡索乙素含量为

0.483 mg/g, 由图 2-F 可知, A3 处理中延胡索乙素含量为所有处理组最高, 为 0.594 mg/g, 为对照药品的 122.93%; B4 处理中延胡索乙素含量最低, 为 0.325 mg/g, 仅为对照药品的 67.29%。硫酸铵氮源处理随施用量的增加, 药材中延胡索乙素呈明显的下降趋势, 施用量在 30 kg/hm² 时, 延胡索乙素最高, 为 0.591 mg/g, 与最高值(A3)基本持平。

2.3.7 6 种生物碱总含量 不同氮源下延胡索中 6 种生物碱含量差异显著(图 3), 药材中 6 种生物碱总量大小依次为 A3 > A4 > A1 > C1 > B1 > C3 > C4 > 对照药品 > B2 > A2 > C2 > CK > B3 > B4。对照样品生物碱含量为 3.816 mg/g, A3 处理组 6 种生物碱总

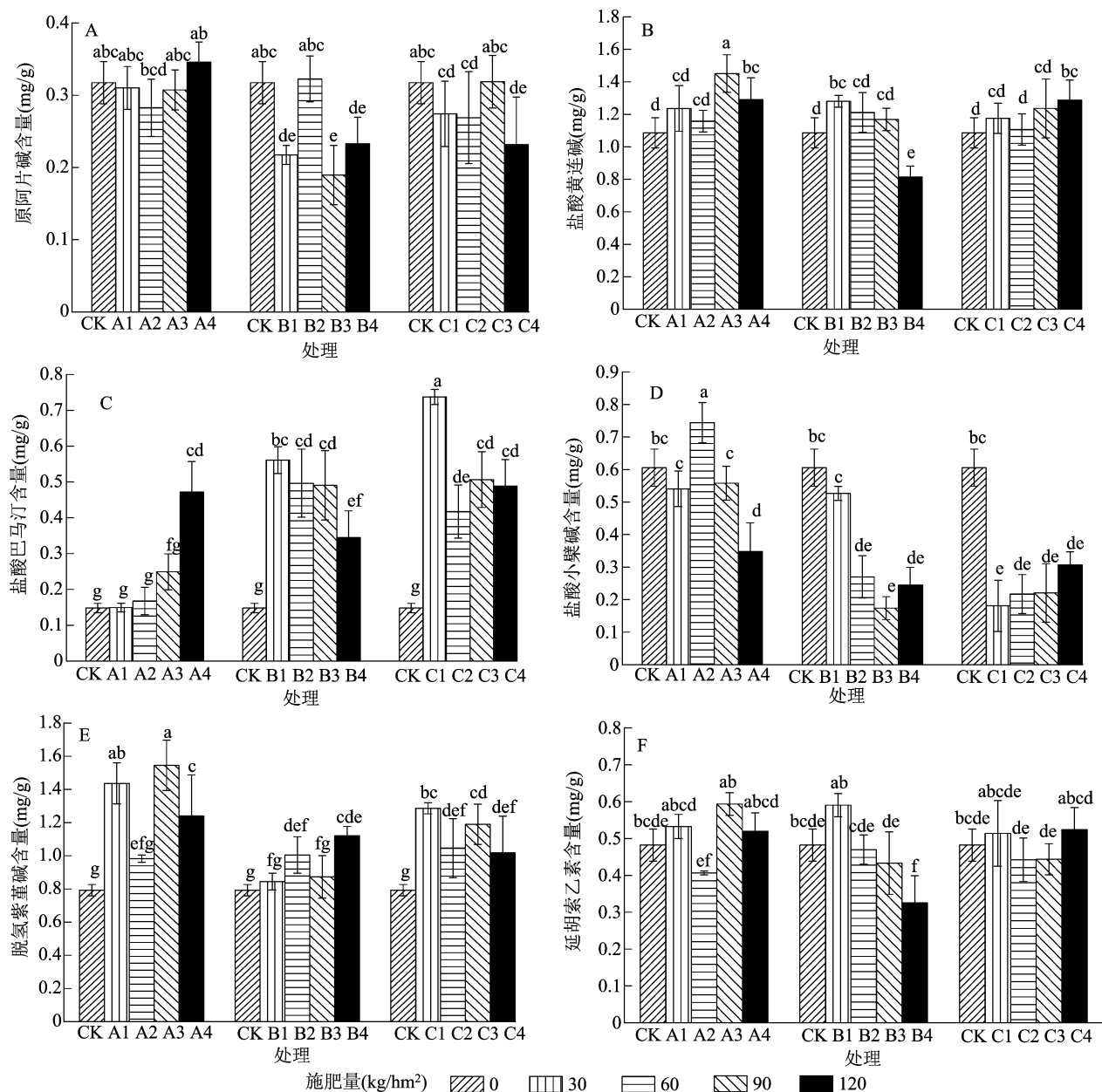


图2 不同氮源处理对 6 种延胡索生物碱含量的影响

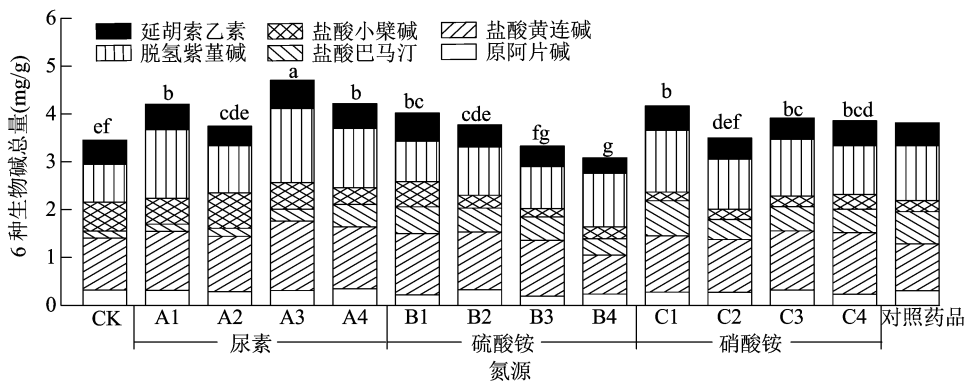


图3 不同氮源处理对 6 种延胡索生物碱总量的影响

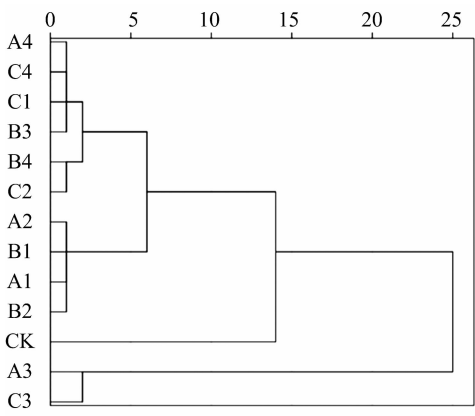
含量最高,为 4.704 mg/g,为对照药品生物碱含量的 123.27%;B4 处理含量最低,为 3.083 mg/g,为对照药品生物碱含量的 80.79%。尿素氮源处理对促进生物碱累积效果最佳,A1、A3、A4 中生物碱含量处于所有处理组前 3 位,A2 相对处于较低水平。硫酸铵氮源处理组中药材生物碱含量随施肥量增加而减少,且 B4 生物碱含量最低。硝酸铵氮源处理中,低施用量时药材生物碱含量比高施用量处理高,低施用量硝酸铵氮源较高施用量在促进生物碱累积效果更佳。

2.4 综合不同氮源增产倍数与生物碱含量分析

最终产量品质表征值 (mg/g) = 增产倍数 × 折干率 × 6 种生物碱总量。采用组间连接聚类方法,可将 13 组最终产量品质表征值分为三大组(图 4),产值最高组为 A3 和 C3。其他施肥处理组虽然促进了延胡索的产量增加或生物碱累积,但均处于中间或较低水平,部分高施肥量处理表征值甚至低于低施肥量处理,这加大了肥料施用量,造成浪费和污染。13 组处理大小依次为 A3 > C3 > B4 > C2 > C1 > A4 > C4 > B3 > B2 > A1 > B1 > A2 > CK。综上分析,90 kg/hm² 尿素氮源处理为设置的 3 种氮源、4 个施用量梯度中的最佳处理,该处理在提高延胡索产量和延胡索乙素含量方面最佳,结合产量与品质分析,其对延胡索促进作用最佳。

2.5 不同氮源条件下延胡索生物碱主成分分析

2.5.1 主成分分析 对施用不同氮源后延胡索块茎中生物碱主成分分析后发现(表 3),前 3 个主成分累积贡献率达 85.101%,可用于反映原始数据的绝大部分数据,表 3 为旋转后的成分载荷矩阵。对主成分 1 产生正向影响的主要指标为盐酸黄连碱和延胡索乙素含量;延胡索乙素具有很好的抗炎、镇定作用^[14],而盐酸黄连碱可改善细胞因子诱导的炎



横坐标为采用组间平均距离法计算的类间距离
图4 13 组处理延胡索产值聚类分析树状图

症反应^[15];主成分 1 可视为抗炎、麻醉指标。盐酸巴马汀含量对主成分 2 有较高的负向影响,而盐酸小檗碱含量为主成分 2 正向影响主要指标,主成分 2 可视为抑制非正常增值细胞指标^[16]。原阿片碱和脱氢紫堇碱含量为成分 3 的主要正向影响因子,原阿片碱可刺激癌细胞凋亡与自噬^[17],脱氢紫堇碱可有效抑制细胞侵袭与迁移^[18],主成分 3 可视为促进癌细胞自我消亡指标。

表 3 生物碱成分载荷矩阵

生物碱	载荷值		
	主成分 1	主成分 2	主成分 3
原阿片碱含量	0.059	0.222	0.831
盐酸黄连碱含量	0.908	0.106	0.174
盐酸巴马汀含量	0.119	-0.935	-0.132
盐酸小檗碱含量	0.294	0.914	-0.008
脱氢紫堇碱含量	0.222	-0.095	0.842
延胡索乙素含量	0.942	0.025	0.122
特征值	2.402	1.577	1.127
方差贡献率 (%)	31.093	29.655	24.353
累计贡献率 (%)	31.093	60.748	85.101

2.5.2 不同氮源下药材品质指标综合分析 根据主成分得分和对应的权重线性加权求和,得到主成分的综合评价得分(F)函数,公式如下:

$$F=0.311F_1+0.296F_2+0.244F_3。$$

根据各个主成分的函数表达式计算出 14 个不同氮源处理块茎生物碱含量的综合得分和排名(表 4)。A3 中的抗炎、麻醉性能最高,其次分别为 B1、C4;其中,A2、B4、C2 的 F_1 值低于 CK 和对照药材。在抑制非正常增值细胞指标中,尿素氮源组中的 F_2 值均排名靠前,硫酸铵氮源组 F_2 值处于中后排名,B3 处理 F_2 值为该组最低;硝酸铵氮源组中的 F_2 值均低于平均水平,其抑制非正常增值细胞的能力较

弱。尿素氮源对药材癌细胞自我消亡指标有着明显的促进作用,尿素氮源 A1、A3 的 F_3 值位列前 3 位;硫酸铵与硝酸铵氮源的 F_3 排名普遍靠后,仅有 C3 的 F_3 值排名靠前。从综合评价得分上看,尿素氮源处理均极大地提高了药材药用价值综合指标,尤其是 A3、A1 处理,其综合指标远远高于其余各组处理;随着硫酸铵氮源施用量的增加,其药材药用综合指标逐步降低,总体综合指标较低;硝酸铵氮源的药材综合指标排名处于中下位置,其对药材品质的提升起到了负向影响。综合各项指标分析,尿素氮源对于延胡索药用价值的提升效果最佳,其他氮源对其促进作用较弱。

表 4 延胡索块茎生物碱主成分因子得分与综合得分

处理	主成分 1		主成分 2		主成分 3		综合评价	
	F_1	排名	F_2	排名	F_3	排名	F	排名
CK	-0.339 13	10	1.677 56	2	-0.470 70	11	0.276 24	4
A1	0.315 77	6	1.058 89	3	1.177 86	2	0.699 03	2
A2	-0.611 69	13	1.905 41	1	-0.405 91	10	0.274 72	5
A3	1.567 83	1	0.687 97	4	1.261 14	1	0.998 95	1
A4	0.459 79	4	-0.227 95	7	1.138 36	3	0.353 28	3
B1	1.557 35	2	0.016 73	5	-1.861 19	14	0.035 16	6
B2	-0.108 46	7	-0.358 07	9	0.317 85	7	-0.062 16	8
B3	-0.185 07	8	-0.675 72	12	-1.653 43	13	-0.661 01	13
B4	-2.380 10	14	-0.047 81	6	-0.164 66	9	-0.794 54	14
C1	0.358 97	5	-1.566 91	14	0.419 99	6	-0.249 69	10
C2	-0.604 82	12	-0.345 30	8	-0.140 04	8	-0.324 48	11
C3	-0.252 88	9	-0.622 53	11	0.835 89	4	-0.058 96	7
C4	0.826 06	3	-0.411 34	10	-0.940 22	12	-0.094 27	9
对照药品	-0.603 64	11	-1.090 92	13	0.485 05	5	-0.392 29	12

3 讨论

氮元素为作物生长过程中必不可少的元素之一,它是植物体内氨基酸的组成部分、是构成蛋白质的成分。合理施用氮肥不仅能提高农产品的产量,还能帮助作物分裂增殖^[19]。有研究表明,适当增加总氮肥中铵态氮占比可有效增加丹参苗期总生物量、根冠比^[20]。施加尿素后,植物高度较未施加尿素处理有明显提高,周围植物种类增加,植被覆盖效果增至 90% 以上^[21]。不同氮肥的运筹方式对玉米干物质与氮素累积量有着显著影响,合适的氮肥及运筹方式对作物的干物质累积有着很好的促进作用;不同种类及施用量的氮源对于不同的作物起到的影响各异^[22-23]。例如小麦是喜硝态氮作物,铵态氮对其生长有着较强的毒害作用,施用不同种类氮素后,小麦植株中其他元素含量差异显

著^[24]。本研究结果表明,同种氮源不同处理施用量下延胡索产量与质量之间也有显著差异。综合分析可知,不同氮源总体增产效率(增产倍数×折干率)从大到小依次是 B4 > C3 > A3 > C2 > B3 > C4 > C1 > A4 > B2 > A1 > A2 > B1 > CK,13 个处理组中,单窝增产倍数最高 3 组大小依次为 A3 > C2 > C4;单窝折干率最高 3 组大小依次为 B4 > C3 > A3。尿素氮源处理时,A3 施用量综合增产效率最佳;硫酸铵氮源处理时,B4 施用量综合增产效率最佳;硝酸铵氮源处理时,C2 施用量增产效果最佳;单从增产效率分析,B4 硫酸铵效果最佳。单产量而言,硝态氮对延胡索的相适性较高;硫酸铵与尿素对延胡索产量的影响存在一个随着肥料施用量增加,产量先增后减的趋势,均在施用量达 90 kg/hm² 时其促进作用最高。

延胡索生物碱总含量大小依次为 A3 > A4 > A1 > C1 > B1 > C3 > C4 > B2 > A2 > C2 > CK > B3 >

B4;延胡索乙素含量最高 3 组大小依次为 A3 > B1 > A1;6 种生物碱含量最高的 3 组均为尿素处理,尿素在促进延胡索药用成分累积效果最佳,硝酸铵处理效果次之。药用植物其所需生长环境各不相同,前人研究表明,合适种类氮配比能有效促进药用成分累积,促进植物生长发育、增强光合作用和代谢吸收等,最终改善药材品质^[25]。裴文梅等对甘草药研究表明,硝态氮、铵态氮及尿素 3 种氮源处理中,硝态氮与尿素对甘草生长促进作用无明显差异,但尿素在提高甘草药用成分积累方面作用显著,硝态氮次之,铵态氮最差^[9],本研究结果与之相同。

4 结论

延胡索块茎中生物碱含量的高低直接决定了其药用价值的高低;由试验结果可知,不同的氮肥及施肥量对药材产量和品质影响差异显著。在不同氮源种类和施肥量处理中,施用 90 kg/hm² 尿素可明显提升药材产量,增加药材干物质累积量。

尿素氮源处理下延胡索的多个品质指标含量排名靠前,对延胡索中生物碱合成起到了很好的促进作用,90 kg/hm² 尿素处理在抗炎麻醉性能、促进癌细胞自我消亡和综合指标均为最高组。硫酸铵氮源在抗炎麻醉和综合指标上随该氮肥施用量增加呈降低的趋势。硝态铵的药用价值指标促进作用同硫酸铵相近,120 kg/hm² 硝态铵处理的延胡索的抗炎麻醉作用较强。综上所述,90 kg/hm² 尿素氮源可有效提高延胡索生物量、生物碱,可作为延胡索生产栽培料氮肥优化配方推广应用。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 2015 版. 北京:中国医药科技出版社,2015:130-131,139-140.
- [2] 马 艳,申 丹,雷 云,等.《中药成方制剂》中含延胡索方剂组方规律研究[J]. 中国中医基础医学杂志,2014,20(12):1693-1696.
- [3] 任风鸣,刘 艳,朱晓富,等. 延胡索类药材资源研究进展[J]. 世界中医药,2020,15(5):717-725.
- [4] 周晓龙. 延胡索产销分析[J]. 中国现代中药,2013,15(4):340-341.
- [5] Petropoulos S A, Fernandes Â, Polyzos N, et al. The impact of fertilization regime on the crop performance and chemical composition of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivated in central Greece[J]. Agronomy, 2020, 10(4):474.
- [6] 尹 旺,邓仁菊,曾宪浩,等. 不同肥料对晚熟马铃薯光合特性及产量形成的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(2):58-62.
- [7] Wang H, McCaig T N, de Pauw R M, et al. Physiological characteristics of recent Canada Western Red Spring wheat cultivars: components of grain nitrogen yield[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2003, 83(4):699-707.
- [8] 张北赢,陈天林,王 兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(11):182-187.
- [9] 裴文梅,张参俊,王景安. 不同氮形态及配比对甘草生长及品质的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(28):184-187.
- [10] 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.
- [11] 余顺慧,蒙明珠,潘 杰. 氮肥和钾肥对铬污染土壤延胡索幼苗生长及品质的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2017,42(10):61-68.
- [12] 张 静,周 浓,祁俊生,等. HPLC 同时测定不同产地延胡索中的 6 种生物碱[J]. 华西药学杂志,2016,31(4):415-419.
- [13] 闫 嵩,徐 姣,刘振鹏,等. 外源影响因素对黄芪植株折干率的影响[J]. 中医药信息,2016,33(5):20-23.
- [14] Zhang Y L, Sha R, Wang K G, et al. Protective effects of tetrahydropalmatine against ketamine-induced learning and memory injury via antioxidative, anti-inflammatory and anti-apoptotic mechanisms in mice[J]. Molecular Medicine Reports, 2018, 17(5):6873-6880.
- [15] Fu S L, Ni S H, Wang D N, et al. Coptisine suppresses mast cell degranulation and ovalbumin-induced allergic rhinitis[J]. Molecules, 2018, 23(11):3039.
- [16] Khaksari M, Esmaili S, Abedloo R, et al. Palmatine ameliorates nephrotoxicity and hepatotoxicity induced by gentamicin in rats[J]. Archives of Physiology and Biochemistry, 2021, 127(3):273-278.
- [17] Son Y, An Y, Jung J, et al. Protopine isolated from *Nandina domestica* induces apoptosis and autophagy in colon cancer cells by stabilizing p53[J]. Phytotherapy Research, 2019, 33(6):1689-1696.
- [18] Hu H R, Dong Z, Wang X X, et al. Dehydrocorydaline inhibits cell proliferation, migration and invasion via suppressing MEK1/2-ERK1/2 cascade in melanoma[J]. Onco Targets and Therapy, 2019, 12:5163-5175.
- [19] 杜 萌,李丹丹,杨 军,等. 不同氮肥类型及配施壳聚糖对八宝景天修复镉污染土壤的强化效果[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(9):1714-1723.
- [20] 周文利. 不同形态氮素对丹参苗期生长及养分吸收的影响[J]. 中药材,2019,42(2):260-263.
- [21] 李春林,许剑平,范小妮,等. 施加尿素对团粒喷播土壤碱解氮含量和植物生长发育的影响[J]. 低碳世界,2017(11):12-13.
- [22] 唐伟杰,官春云. 追施不同形态氮肥对油菜生长、生理与产量影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2020,35(5):878-884.
- [23] 刘雨杭,刘 蓉,赵长坤,等. 油菜秸秆还田与氮肥调控对腐解率及养分释放的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(21):288-291.
- [24] Imran M. 不同氮源下钼对冬小麦根系形态、光合作用及氮代谢的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2019.
- [25] 张迪迪,张亚玉. 氮形态对药用植物生长及品质影响的研究进展[J]. 中药材,2016,39(3):696-698.