

[14] 安莹, 孙桃. 基于电子鼻不同识别模式对不同品牌酱油的区分与识别[J]. 中国调味品, 2016, 41(2): 60-64; 68.

[15] 陈雨秋, 张涛, 陈长宝, 等. 防风的化学成分、提取工艺及药理作用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 43-48.

[16] 黎建斌, 刘丽萍, 丘振文. 生防风挥发油抗炎止血作用的药理研究[J]. 新中医, 2007, 39(8): 105-106.

[17] 刘丽娜, 张南平, 金红宇, 等. 野生抽薹与未抽薹防风中色原酮类成分比较研究[J]. 中国药理学杂志, 2020, 55(8): 637-642.

[18] 黄艳茹, 任晓蕾, 霍金海, 等. 影响防风质量因素的研究概况[J]. 中医药信息, 2017, 34(6): 134-138.

[19] 徐佳. 野生和栽培防风颜色气味与质量的相关性研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2014.

氮、磷、钾肥施用量对白花前胡产量和品质的影响

郭 瑀, 徐 广, 罗 敏, 谭秋生, 罗 舜, 邓才富*
(重庆市药物种植研究所, 重庆市道地药材规范化生产工程技术研究中心, 重庆 400485)

摘要: **目的** 提高栽培白花前胡产量和品质, 解决市场上前胡供不应求且指标成分不达标的问题。**方法** 采用大田实验, 分别研究施氮 (N1 36.8、N2 73.6、N3 110.4 kg/hm²)、施磷 (P1 24、P2 48、P3 72 kg/hm²)、施钾 (K1 41.6、K2 83.2、K3 124.8 kg/hm²) 对产量及前胡甲素、前胡乙素、浸出物、植株养分、土壤有效养分含量的影响。**结果** 与不施肥相比, 合理施肥可提高根际土壤有效养分含量, 促进根部生物量增加, 防止地上部徒长, 增加根部氮、磷、钾含量, 提高前胡甲素和前胡乙素含量, 稳定浸出物含量。其中, P1、K2 处理分别提高前胡乙素含量至 0.32%、0.26%, 达到了 2020 年版《中国药典》相关要求。**结论** 合理施用磷、钾肥可提高前胡产量及品质, 两者适宜施用量分别为 24、83.2 kg/hm²。**关键词:** 白花前胡; 施肥; 产量; 指标成分; 品质
中图分类号: R282.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2024)01-0329-05
doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2024.01.057

前胡是我国传统中药材, 具有宣散风热、降气祛痰的功效^[1], 也是多种中成药的重要原料, 在中药材市场中占据重要地位, 年需求巨大, 而年供给量不足^[2-3]。目前, 前胡主要由人工栽培提供, 但质量跟踪发现, 多地栽培前胡质量几乎都不能达到 2020 年版《中国药典》“同时满足白花前胡甲素不得少于 0.90%, 白花前胡乙素不得少于 0.24%”的要求^[4-5], 且栽培前胡与野生前胡品质差距较大, 质量提升工作迫在眉睫^[6-7]。栽培前胡质量不达标, 将直接影响中医临床用药安全, 也造成了很多中医医生“症对方准药不灵”的困惑, 必将严重制约我国中医药产业的健康发展^[8]。

相关研究表明, 大量营养元素氮、磷、钾参与了根茎类中药材甘草的根系发育^[9]; 黄芪的有效成分黄芪甲苷含量与根部氮、钾的积累量呈正相关关系^[10]。植物体内的氮、磷、钾主要由土壤提供, 然而, 随着规模化种植的发展, 土壤养分含量往往不能满足中药材生长需求^[11]。因此, 可采用合理施肥的方式提高根茎类中药材产量和品

质^[12]。合理施肥既能促进朝鲜白头翁、印度人参、黄芪等根茎类中药材生长发育、提高产量, 又能提高药材品质^[13-15]。目前, 仍缺少氮、磷、钾对白花前胡品质的影响及其影响效应大小的相关研究。因此, 本实验以白花前胡 *Peucedanum praeruptorum* Dunn 为材料, 采用大田实验的方式, 研究氮、磷、钾肥分别施用后对前胡生物量、前胡甲素、前胡乙素、浸出物、植株养分含量及土壤养分含量的影响, 分析施肥处理后前胡的品质特征, 总结氮、磷、钾影响前胡品质形成的因素, 为前胡的高效生产和中药材生产质量管理规范的完善提供的参考依据。

1 材料与方法

1.1 药材 白花前胡购自药材市场, 经重庆市药物种植研究所邓才富研究员鉴定为伞形科植物白花前胡 *Peucedanum praeruptorum* Dunn。白花前胡甲素、白花前胡乙素对照品 (批号 1117111-201904、111904-201804, 中国食品药品检定研究院)。AL104 电子天平 (瑞士 Mettler-Toledo 公司); DHG 电热恒温鼓风干燥箱 (上海龙跃仪器设备有限公司);

收稿日期: 2023-01-10

基金项目: 重庆市自然科学基金项目 (cstc2020jcyj-msxmX0815, cstc2021jcyj-msxmX0664); 重庆市激励绩效项目 (cstc2021jljx-cstc2021-jxjl014)

作者简介: 郭 瑀 (1994—), 助理研究员, 从事植物营养、中药质量研究。E-mail: 575574538@qq.com

* 通信作者: 邓才富 (1971—), 研究员, 从事中药材规范化生产与产地加工技术研究推广工作。E-mail: dcf0509@126.com

Acquity UPLC H-Class 超高效液相色谱仪（美国 Waters 公司）；UV-2450 紫外分光光度计（日本岛津公司）；FP6410 火焰光度计（上海精密科学仪器有限公司）。甲醇为色谱纯（重庆川东化工有限公司）；其他试剂均为分析纯；水为自制超纯水。

1.2 试区 研究区位于重庆市南川区石墙镇（107°12′ E，29°7′ N），海拔 937.8 m。属亚热带湿润气候区，年平均气温 16.24 ℃，降雨量 1 233 mm。供试土壤为紫色土，土壤基本情况为 pH 5.15，有机质含量 19.08 g/kg，全氮含量

表 1 氮、磷、钾肥施用量 (kg/hm²)

肥料	N			P			K		
	N1	N2	N3	P1	P2	P3	K1	K2	K3
施肥量	36.8	73.6	110.4	24	48	72	41.6	83.2	124.8

1.4 样品采集与测定 于 12 月底每个小区随机抽取 10 株整株，带回实验室快速清洗干净，分为地上部和根部。地上部于 105 ℃杀青 1 h 后 75 ℃烘干至恒重，根部 45 ℃烘干至恒重，分别粉碎、过筛后备用；土样分根际土和非根际土采集，粘附于根系的土壤为根际土，根 2 cm 外土壤为非根际土，经自然风干、粉碎、过筛后备用。

根据 2020 年版《中国药典》“前胡”项下要求，对前胡白花前胡甲素、白花前胡乙素、浸出物进行含量测定^[16]。采用 H₂SO₄-H₂O₂ 方法消煮植物样品，植株氮含量采用靛酚蓝比色法测定，植株磷含量采用钒钼黄比色法测定，植株钾含量采用火焰光度法测定，土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定，土壤有效磷含量采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定，土壤速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定^[17]。

1.5 数据分析 通过 SPSS 26.0 软件进行处理，LSD 法进行多重比较，采用 Excel 2016、Origin 9.1 软件制图表。

2 结果

2.1 氮、磷、钾肥施用量对前胡生物量的影响 由表 2 可知，氮、磷、钾肥对前胡生物量的影响存在差异，根部生物量在各施肥处理下表现为磷>钾>氮，地上部为磷、钾>氮。随着施肥量的增加，前胡根部和地上部生物量在施氮处理下均有所下降，施磷处理下于 P2 达到最大后降低，施钾处理下为根部先增加后趋于平稳，而地上部先增加后降低。与对照组相比，根部在 N2、P1、P2、P3、K3 处理下生物量分别增加了 11.19%、34.62%、56.10%、27.35%、12.41%，以施磷的促进效果最佳；除 P2、K2 处理外，地上部在其余施肥处理下均显著低于对照组。前胡根部生物量均明显高于地上部，各处理根冠比均大于 1。施肥显著提高了根冠比，在 N2、P1、P2、P3、K3 处理下，根冠比高达 2 以上。

2.2 氮、磷、钾肥施用量对前胡指标成分的影响 由图 1 可知，氮、磷、钾肥对 3 种指标成分的影响存在差异，前胡甲素为氮>磷>钾，前胡乙素为磷>钾>氮，施肥种类对浸出物的影响差异不大。随着施氮量的增加，前胡甲素含量下降，前胡乙素含量增加，浸出物含量在 N2 处理后达到峰

1.00 g/kg，碱解氮含量 75.79 mg/kg，有效磷含量 28.37 mg/kg，速效钾含量 114.50 mg/kg。

1.3 设计 采用大田实验，随机区组设计，分别设置不施肥对照组、3 种施氮、3 种施磷、3 种施钾处理组，具体见表 1，各重复 3 次，共 30 个小区，小区面积为 2.5 m×4 m。3 月播种，株行距 0.5 m×0.5 m。氮肥为尿素（含 46% N），磷肥为过磷酸钙（含 12% P₂O₅），钾肥为硫酸钾（含 52% K₂O）。肥料于 8 月初、9 月初分 2 次施入，穴施，施用比例 1：1。其余管理和病虫害防治同常规。

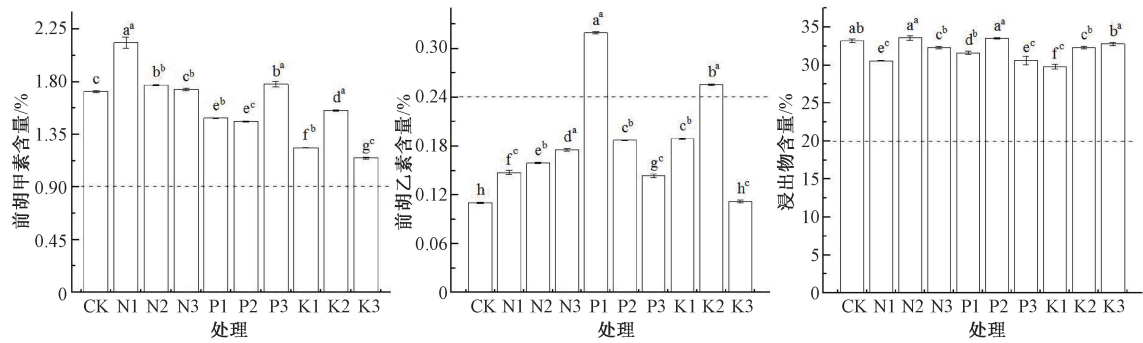
表 2 不同施肥处理下前胡生物量比较 (x̄±s)

处理	根部/(g·株 ⁻¹)	地上部/(g·株 ⁻¹)	根冠比
CK	27.79±1.33d	22.25±0.68a	1.25±0.02e
N1	28.49±1.68cd ^{ab}	15.56±0.73b ^a	1.83±0.03d ^b
N2	30.90±1.81c ^a	13.98±0.05b ^b	2.21±0.12b ^a
N3	26.99±1.71d ^b	13.88±0.12b ^b	1.94±0.11cd ^b
P1	37.41±1.24b ^b	15.46±1.92b ^b	2.44±0.21a ^a
P2	43.38±2.80a ^a	21.45±2.06a ^a	2.03±0.07c ^b
P3	35.39±2.15b ^b	15.05±0.87b ^b	2.35±0.01ab ^a
K1	26.73±2.44d ^b	13.59±0.41b ^b	1.97±0.14cd ^a
K2	30.29±1.34cd ^a	21.48±1.96a ^a	1.41±0.07e ^b
K3	31.24±0.62c ^a	14.63±0.96b ^b	2.14±0.11bc ^a

注：不同字母表示各施肥处理之间差异显著，不同上标字母表示同一施肥种类不同梯度之间差异显著。

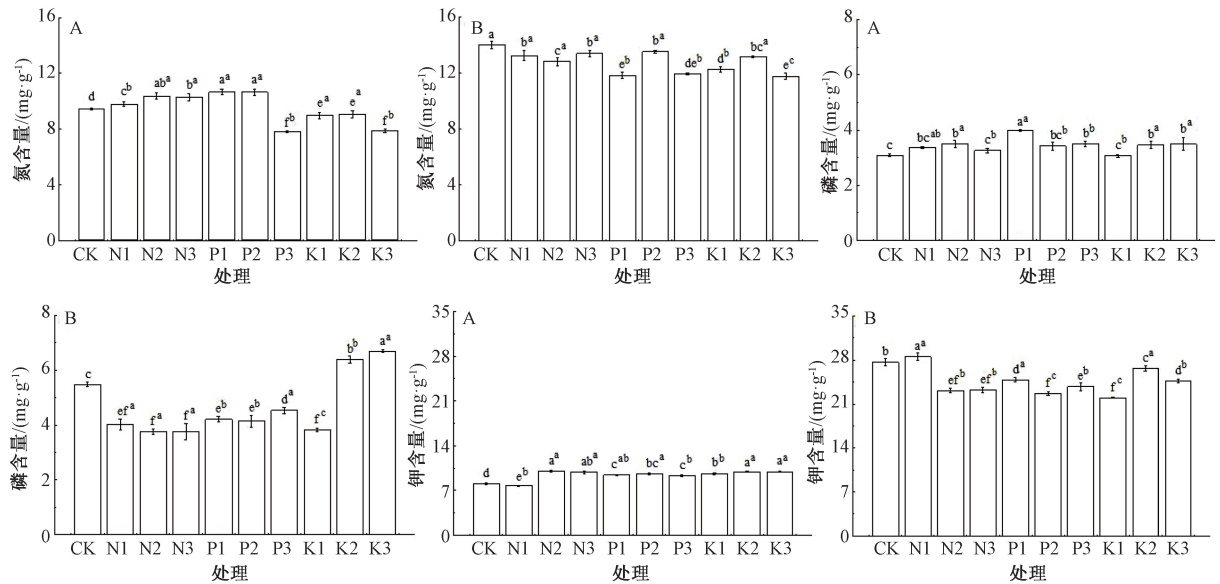
值；随着施磷量的增加，前胡甲素、浸出物含量增加，前胡乙素含量下降；随着施钾量的增加，前胡甲素、乙素含量均在 K2 处理后达到峰值，浸出物含量逐渐增加。与对照组相比，前胡甲素含量在 N1、N2、P3 处理后分别增加了 24.40%、3.22%、3.75%；前胡乙素含量在施氮、施磷、施钾处理下分别提高了 33.86% ~ 59.03%、30.34% ~ 189.39%、71.52% ~ 131.58%，以磷、钾的提升效果更优。浸出物仅在 N2、P2、K3 处理后未发生显著变化，其余施肥处理含量均显著降低。各处理前胡甲素、浸出物含量分别符合 2020 年版《中国药典》“不低于 0.9%”和“不低于 20%”的规定。前胡乙素含量在 P1、K2 处理后达标，分别为 2020 年版《中国药典》“不低于 0.24%”规定的 1.33 和 1.06 倍。

2.3 氮、磷、钾肥施用量对前胡氮、磷、钾含量的影响 由图 2 可知，氮、磷、钾肥处理后，前胡根部氮含量表现为磷、氮>钾，地上部磷含量表现为钾>磷、氮，其余部位养分含量差异不明显。随着施氮量增加，根部氮、钾含量增加，地上部钾含量降低；随着施磷量增加，地上部磷含量增加，根部氮、磷含量及地上部钾含量降低，地上部氮含量在 P2 处理后达到峰值；随着施钾量增加，根部磷、钾含量及地上部磷含量增加，根部氮含量降低，地上部氮、钾含量在 K2 处理后达到峰值。施肥主要表现为提高根部养分含量，降低地上部养分含量。与对照组相比，根部氮含量在 N1、N2、N3、P1、P2 处理下增加了 3.85% ~ 13.04%；



注：不同字母表示各施肥处理之间差异显著，不同上标字母表示同一施肥种类不同梯度之间差异显著。

图 1 各施肥处理后前胡指标成分含量



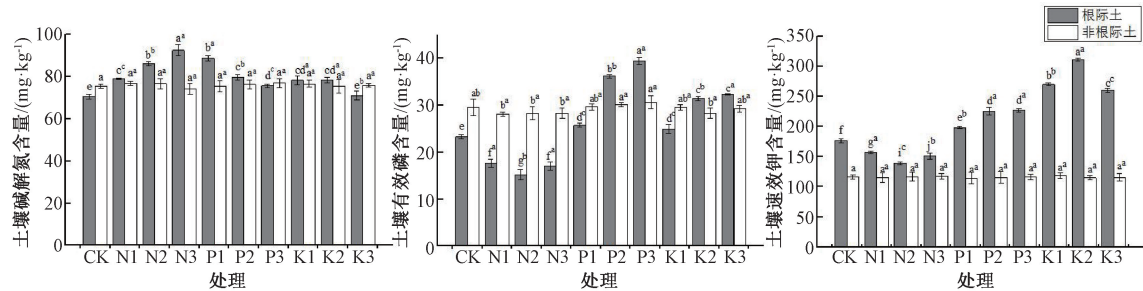
注：不同字母表示各施肥处理之间差异显著，不同上标字母表示同一施肥种类不同梯度之间差异显著。

图 2 各施肥处理后前胡根部（A）、地上部（B）养分含量

根部磷含量除 N3、K1 处理外，均显著高于对照组；根部钾含量除 N1 处理外，均显著增加，增幅为 15.38%~24.60%。地上部除 N3、K1 处理的磷含量和 N1 处理的钾含量外，均较对照组显著降低，其中磷含量和钾含量仅分别为对照组的 68.35~82.63% 和 3.69~20.49%。各施肥处理下，根部养分含量均明显低于地上部。

2.4 氮、磷、钾肥施用量对前胡土壤养分含量的影响 由图 3 可知，根际碱解氮含量依次为氮>磷>钾，有效磷含量

依次为磷>钾>氮，速效钾含量依次为钾>磷>氮。随着施氮量增加，各处理后根际碱解氮含量逐渐增加，根际有效磷、速效钾含量均先降低后增加；随着施磷、施钾量增加，各处理后根际碱解氮含量逐渐降低，根际有效磷含量逐渐增加，而根际速效钾含量在施磷处理下逐渐增加，在施钾处理下先增加后降低。与不施肥相比，施肥显著提高了除 K3 处理外的根际碱解氮含量，并提高了施磷、施钾处理的根际有效磷和速效钾含量，但显著降低了施氮处理的根际有



注：不同字母表示各施肥处理之间差异显著，不同上标字母表示同一施肥种类不同梯度之间差异显著。

图 3 各施肥处理后前胡土壤养分含量

效磷和速效钾含量。另外，根际碱解氮含量除 CK、P3、K3 处理外，均明显高于非根际，速效磷含量仅在 P2、P3、K2、K3 处理后明显高于非根际，而速效钾含量在各处理下均明显高于非根际。

2.5 施肥量、前胡养分含量、土壤养分含量与生物量、前胡甲素和前胡乙素含量的相关性分析 由表 3 可知，氮、磷、钾肥施用量与根部生物量正相关，与地上部生物量负相关。氮、钾肥施用量与前胡甲素含量负相关，与前胡乙素、浸出物含量正相关，其中氮肥施用量与前胡乙素含量达到显著正相关，磷肥施用量与指标成分含量的相关性 与氮、磷相反。根部养分含量与根部生物量、前胡乙素、浸出物含量均为正相关，其中根部磷含量与前胡乙素含量达到显著正相关。根部氮含量与地上部生物量、前胡甲素含量正相关，而根部磷、钾含量与之负相关。地上部养分含量与根部生物量、前胡乙素含量均负相关。除地上部磷含量与前胡甲素含量及地上部钾含量与浸出物含量呈负相关外，地上部养分含量与地上部生物量、前胡甲素、浸出物含量呈正相关，其中地上部氮含量与地上部生物量显著正相关。根际养分含量与根部生物量和前胡乙素含量呈正相关，其中根际有效磷含量与根部生物量为显著正相关。根际碱解氮含量与地上部生物量为负相关，而根际有效磷、速效钾含量与之正相关；根际碱解氮含量与前胡甲素、浸出物含量为正相关，而根际有效磷、速效钾含量与之负相关，且根际速效钾含量与前胡甲素含量呈显著负相关。

表 3 施肥量、养分含量与生物量、前胡甲素和前胡乙素含量之间的相关性

指标	根部生物量	地上部生物量	前胡甲素	前胡乙素	浸出物
施氮量	0.001	-0.869	-0.197	0.965 *	0.047
施磷量	0.577	-0.527	0.133	-0.044	-0.550
施钾量	0.853	-0.429	-0.668	0.133	0.109
根部氮含量	0.255	0.131	0.277	0.451	0.360
根部磷含量	0.592	-0.157	-0.057	0.629 *	0.099
根部钾含量	0.190	-0.265	-0.607	0.308	0.252
地上部氮含量	-0.175	0.639 *	0.462	-0.228	0.444
地上部磷含量	-0.085	0.436	-0.391	-0.14	0.274
地上部钾含量	-0.296	0.425	0.507	-0.100	-0.014
根际碱解氮含量	0.062	-0.409	0.224	0.557	0.035
根际有效磷含量	0.621 *	0.348	-0.438	0.052	-0.059
根际速效钾含量	0.125	0.269	-0.668 *	0.253	-0.222

注：* 表示显著相关。

3 讨论

氮、磷、钾肥是中药材高产量的必需条件。施肥能提高根系活力，促使根系吸收更多养分^[18]，进而增强光合作用，促进光合产物向下运输^[19]，增加桔梗、党参等根类中药材根干重^[20-21]。本研究中，适宜施肥（N2、P、K2、K3）让更多养分积累在根部，可防止地上部徒长，促进根部生长，且施磷的促进作用更优。磷可通过影响植物激素合成和代谢相关的关键酶基因表达，调控激素水平，促进根系生长发育，增加根干重^[22-24]。

氮、磷、钾肥对中药材品质的影响存在差异。施氮可增加膜荚黄芪多糖、黄芪甲苷含量，但会降低丹参的丹参酮 IIA^[9,12]。增加磷、钾供应可增加甘草和重楼的指标成分含量^[25-26]。本实验发现，施氮对前胡指标成分提升作用较低，但适宜施钾（K2）增加了前胡甲素和前胡乙素。结合相关性分析可知，指标成分含量增加与根部养分积累相关，这与穿心莲的研究结果一致^[27]。然而，根部养分相对地上部过高不利于根类中药材指标成分合成^[11]，并可导致前胡早衰，影响药材品质^[28-29]。K2 处理在保证根部养分的同时，缓解了地上部养分下降，有利于前胡品质形成。目前，前胡乙素过低是前胡品质较低的主要原因。栽培前胡的前胡乙素含量仅为野生型的 66.67%^[7]。本实验发现，前胡乙素在对照组中为 0.11%，P1 处理后增加至 0.32%，且前胡甲素、浸出物含量均符合相关标准要求。因此，适宜施用磷、钾肥可提高前胡乙素含量，保障前胡甲素、浸出物含量，有利于提升前胡品质。

同时，施用适宜的磷、钾肥提高了前胡根际土壤有效养分含量，有利于土壤养分的利用。这与李文倩^[30]等发现施肥可改善黄芪土壤营养条件、提升中药材产量和品质的结果一致。另外，药农往往采用苗期施氮提苗、中期追施复合肥的方式种植前胡，氮肥用量极大。施氮过多不仅不利于前胡品质的形成，还会恶化土壤理化性质、破坏生态环境^[31]。合理施用磷、钾肥可降低氮肥投入，达到减施增效的生态效益，实现中药材无公害种植。下一步可结合本研究结果，开展氮、磷、钾配合施肥提升前胡品质的相关实验，开发最优配比，实现前胡高效栽培。

4 结论

当施磷、施钾量分别为 24、83.2 kg/hm² 时，前胡能有效地利用土壤养分和分配植株体内的大量营养元素，促进药用部位的生长，并能在保障前胡甲素、浸出物含量的同时，促进前胡乙素的积累，有利于前胡产量和品质的提升。这一结果可为栽培前胡田间施肥管理的改进提供基础理论依据和技术指导，并为其他中药材生产质量管理规范的完善提供参考。

参考文献：

[1] 宋丽敏, 韩邦兴, 梁文星, 等. 白花前胡营养器官结构及其分泌道分布规律的研究[J]. 西北植物学报, 2016, 36(4): 696-699.

[2] 吴沿胜, 吴沿友, 刘宇婧, 等. 前胡及其混伪品的中药鉴定学研究进展[J]. 中草药, 2017, 48(11): 2335-2339.

[3] 黄 娅. 2008-2017 年白花前胡科技文献计量分析[J]. 科技风, 2019, 369(1): 230-231.

[4] 木书林, 黄云先. 丽江家种和野生前胡的质量分析[J]. 中国药师, 2012, 15(12): 1805-1806.

[5] 姚 蓉, 罗疆南. 湖南市场前胡药材的含量分析[J]. 中兽医医药杂志, 2019, 38(6): 64-66.

[6] 陈存武, 韩邦兴. LC-MS 分析早衰对白花前胡根化学成分的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(8): 887-890.

[7] 梁卫青, 浦锦宝, 程 林, 等. 野生与人工栽培前胡药材中 3 种香豆素含量比较研究 [J]. 中药材, 2014, 37 (11): 1966-1968.

[8] 郭兰萍, 张 燕, 朱寿东, 等. 中药材规范化生产 (GAP) 10 年: 成果, 问题与建议 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39 (7): 1143-1151.

[9] Xie W, Hao Z P, Yu M, *et al.* Improved phosphorus nutrition by arbuscular mycorrhizal symbiosis as a key factor facilitating glycyrrhizin and liquiritin accumulation in *Glycyrrhiza uralensis* [J]. *Plant Soil*, 2019, 439(1-2): 243-257.

[10] Wang L L, Xiong F, Yang L C, *et al.* A seasonal change of active ingredients and mineral elements in root of *Astragalus membranaceus* in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Biol Trace Elem Res*, 2021, 199(10): 3950-3959.

[11] 李 乐, 孙 海, 刘政波, 等. 一株人参根区解磷细菌的筛选、鉴定及对人参生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017 (6): 163-170.

[12] Sun J B, Gao Y G, Pu Z, *et al.* Mineral elements in root of wild *Saposhnikovia divaricata* and its rhizosphere soil [J]. *Biol Trace Elem Res*, 2013, 153(1-3): 363-370.

[13] 万闰兰, 李海燕, 张午曲, 等. 氮、磷、钾配施对朝鲜白头翁产量、品质及养分吸收分配的影响 [J]. 中药材, 2013, 36(11): 1721-1726.

[14] Nasir S, Khan M M A. Critical dose of nitrogen and phosphorus enhanced growth, yield and alkaloid content in *Withania somnifera* L[J]. *J Plant Nutr*, 2012, 35(11): 1705-1724.

[15] 张延红, 晋 玲, 高素芳, 等. 氮、磷、钾缺素培养对党参幼苗形态特征和生理特性的影响 [J]. 中药材, 2013, 36 (5): 699-701.

[16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020 年一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.

[17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[18] 薛 启, 王康才, 隋 利, 等. 氮磷钾配施对藿香生长和产量的影响[J]. 中药材, 2018, 41(4): 784-789.

[19] Fhaizal M, Bukhori M, Jaafar H Z E, *et al.* Preliminary study on the effect of nitrogen fertilization on growth quality of *Gynura procumbens* [J]. *Malays J Fundam Appl*, 2021, 17 (4): 365-389.

[20] Zhu L X, Liu D. Effects of different phosphorus applications on growth and platycodin content of balloon flower (*Platycodon grandiflorum*) [J]. *Sci Hortic (Amsterdam)*, 2014, 178(1): 8-13.

[21] 胡佳栋, 毛 歌, 张志伟, 等. 不同施肥处理对党参产量和次生代谢物含量的影响研究 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42 (15): 2946-2953.

[22] Giri J, Bhosale R, Huang G Q, *et al.* Rice auxin influx carrier OsAUX1 facilitates root hair elongation in response to low external phosphate [J]. *Nat Commun*, 2018, 9 (1): 1408-1414.

[23] Xu Y, Burgess P, Zhang X Z, *et al.* Enhancing cytokinin synthesis by overexpressing IPT alleviated drought inhibition of root growth through activating ROS-scavenging systems in *Agrostis stolonifera* [J]. *J Exp Bot*, 2016, 67(6): 1979-1992.

[24] Mayzlish-Gati E, De-Cuyper C, Goormachtig S, *et al.* Strigolactones are involved in root response to low phosphate conditions in *Arabidopsis* [J]. *Plant Physiol*, 2012, 160(3): 1329-1341.

[25] Yin S S, Zhang Y, Gao W Y, *et al.* Effects of nitrogen source and phosphate concentration on biomass and metabolites accumulation in adventitious root culture of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch[J]. *Acta Physiol Plant*, 2014, 36(4): 915-921.

[26] 杨永红, 戴丽君, 何昆鸿, 等. 土壤营养与人工栽培滇重楼品质相关性评价 [J]. 中药材, 2012, 35(10): 1557-1561.

[27] Zhong C, Jian S F, Chen D L, *et al.* Organic nitrogen sources promote andrographolide biosynthesis by reducing nitrogen metabolism and increasing carbon accumulation in *Andrographis paniculata* [J]. *Plant Physiol Bioch*, 2021, 164: 82-91.

[28] 赵东岳, 郝庆秀, 康利平, 等. 伞形科药用植物早期抽薹研究进展[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(1): 20-23.

[29] 谢 景, 镇兰萍, 任广喜, 等. 早薹对白花前胡根部解剖结构和香豆素类成分的影响 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45 (20): 4861-4866.

[30] 李文倩, 张 莹, 王梦茹, 等. 不同施肥配比对蒙古黄芪产量及品质的影响 [J]. 草地学报, 2020, 28(1): 221-229.

[31] 董林林, 苏丽丽, 尉广飞, 等. 无公害中药材生产技术规程研究 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(15): 3070-3079.