

不同磷肥施用量对辣木叶挥发性成分的影响

李国明¹, 刘晓滢², 匡钰¹, 李守岭¹, 刘小琼^{1*}

(1. 云南省德宏热带农业科学研究所, 云南瑞丽 678600;

2. 云南师范大学附属瑞丽国门高级中学, 云南瑞丽 678600)

[摘要]为探究磷肥施用量对辣木叶挥发性成分含量及组成的影响,以施等量氮、钾肥而不施磷肥为对照(P0),设置4个不同磷肥用量梯度(P1, 0.10 g/kg; P2, 0.20 g/kg; P3, 0.30 g/kg; P4, 0.40 g/kg)以评估磷肥效应。经超声提取法获取其叶挥发性成分,用气相色谱-质谱联用仪分析成分组成与含量,结果显示:对照组鉴定出32种化合物,总相对含量97.88%;磷肥处理组P1、P2、P3、P4分别鉴定出30、28、28、31种化合物,相对含量依次为96.09%、94.72%、94.61%、96.24%。主成分分析显示,调节磷肥施用量可影响辣木叶挥发性成分组成与含量。该研究结果可为优化辣木挥发性成分品质的肥料配比提供参考。

[关键词]辣木;挥发性成分;磷肥;主成分分析;聚类分析

中图分类号:S792.99 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)04-0088-07

Study on the Effects of Different Phosphorus Fertilizer Application Rates on Volatile Components in *Moringa oleifera* Leaves

LI Guoming¹, LIU Xiaoying², KUANG Yu¹, LI Shouling¹, LIU Xiaoqiong^{1*}

1. Institute for Tropical Agriculture Scientific Research of De Hong, Ruili 678600, China;

2. Ruili National Gate Senior High School Affiliated to Yunnan Normal University, Ruili 678600, China

Abstract: To investigate the effect of phosphorus fertilizer application rate on the content and composition of volatile compounds in *Moringa oleifera* leaves, this study used a control group with equal amounts of nitrogen and potassium fertilizer but without phosphorus fertilizer, and set up four different phosphorus fertilizer application gradients (P1, 0.10 g/kg; P2, 0.20 g/kg; P3, 0.30 g/kg; P4, 0.40 g/kg), totaling five experimental groups to evaluate the phosphorus fertilizer effect. In this study, *M. oleifera* seedlings with similar growth conditions were fertilized, and their leaf volatile components were extracted using the ultrasonic extraction method, the composition and content of the components were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Research shows: in the control group P0, 32 compounds were identified with a total relative content of 97.88%; in the phosphate fertilizer treatment groups P1, P2, P3, and P4, 30, 28, 28, and 31 compounds were identified, with relative contents of 96.09%, 94.72%, 94.61%, and 96.24%, respectively. Principal component analysis showed that adjusting the application rate of phosphate fertilizer can affect the composition and content of volatile components in *M. oleifera* leaves, and the study can provide a reference for optimizing the fertilizer ratio for the quality of volatile components in *M. oleifera*.

Key words: *Moringa oleifera*; volatile components; phosphorus fertilizer; principal component analysis; cluster analysis

收稿日期: 2026-03-13

基金项目: 云南省技术创新人才培养对象项目(202405AD350051)

作者简介: 李国明(1986—), 男, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向为热带作物功能性成分分析及品质评价。

E-mail: liguoming654200@163.com

*通信作者: 刘小琼(1983—), 女, 副研究员, 硕士, 主要研究方向为热带作物功能性成分分析及加工技术。

E-mail: fluidliu99@163.com

辣木 (*Moringa oleifera* Lam.) 为辣木科 (Moringaceae) 辣木属 (*Moringa* Adans.) 多年生热带落叶乔木^[1], 其营养与功能成分极为丰富。辣木叶富含蛋白质、多种维生素、多糖类化合物、膳食纤维等, 这些成分对维持人体正常生理功能意义重大^[2], 此外, 辣木叶还含黄酮类、酚类及生物碱等多种功能性化学物质, 赋予其独特生物活性^[2-3]。研究表明, 辣木具有广泛药用价值, 如显著抗氧化、调节血糖平衡、促进胃肠消化吸收、保护肝脏、抗炎抗菌及增强免疫功能等^[2]。

挥发性成分是农产品风味与香气构成的物质基础, 施用磷肥可显著改变其总含量及各化合物相对比例, 进而影响农产品品质^[4]。磷肥施用量可多维度、多途径调控植物挥发性成分, 是影响其合成与积累的重要因素^[5], 适量施用磷肥可提高总挥发油或关键香气物质含量, 但对不同挥发性成分有双向调节作用^[6], 磷肥最优施用量因作物品种、生长阶段及目标品质指标 (如总挥发油等) 而异, 需通过本地化试验确定。辣木种植管理中, 不同施肥方案对辣木生长发育、营养品质提升及化学成分影响差异较大^[7]。前期对辣木叶研究结果显示, 不同肥料对挥发性成分调控作用有差异, 施钙镁磷肥能提高醇类和烷烃类, 降低羧酸类、酮类和烯烃类挥发性化合物含量^[8], 表明磷元素或通过影响酶促反应引导代谢流向某些挥发性物质合成路径^[9]。

目前对辣木不同部位挥发性成分提取分析的研究较多^[10-16], 但有关施肥处理对其挥发性成分影响的研究鲜有报道。本课题组前期研究发现, 4种肥料处理下辣木叶中烷烃等6类化合物相对含量与数量较高, 主要挥发性化合物含量均不同程度增加^[8]。为进一步探究磷肥施用量对辣木叶挥发性成分含量及组成的影响, 本研究对4组生长状态相近的辣木幼苗分别施等量氮、钾肥及不同量磷肥, 以仅施等量氮、钾肥组为对照, 分析不同磷肥处理组辣木叶挥发性成分含量变化, 为合理优化种植过程中的肥料配比, 改善辣木挥发性成分品质提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂

辣木苗由采自云南省德宏热带农业科学研究所辣木示范园的同一批次辣木种子繁育, 育苗流程规范。

试剂: 钙镁磷肥 (P_2O_5 含量 $\geq 12\%$, 江西江磷肥业有限公司); 尿素 (总氮量 $\geq 46\%$, 云南祥丰石化有限公司); 氯化钾 (含 K_2O 量 $\geq 62.0\%$, 中化化肥有限公司); 正己烷 (色谱纯, 上海泰坦科技股份有限公司)。

1.1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪 (Trace ISQ, 美国赛默飞世尔公司); 毛细管色谱柱 (TR-1MS, $30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$); 电子天平 (ML304T, 梅特勒-托利多仪器上海有限公司); 旋转蒸发仪 (TR-3L, 上海泰坦科技股份有限公司); 加热型超声波清洗仪 (UC-30H, 上海泰坦科技股份有限公司); 粉碎机 (RT-N04, 荣聪精密科技有限公司); 电热鼓风干燥箱 (GZX-9023MBE, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂)。

1.2 方法

1.2.1 辣木叶施肥处理

试验于2025年3月24日在云南省德宏热带农业科学研究所育苗棚内开展。每个育苗盆装入5.0 kg未添加栽培基质的土壤, 每盆定植1株无病害且长势均匀的辣木苗。试验设置4个不同磷肥施用量处理组, 编号依次为P1、P2、P3、P4, 每1 kg土壤分别施入0.10、0.20、0.30、0.40 g磷肥。各处理均按每1 kg土壤施用0.30 g氮肥和0.30 g钾肥, 其中, 磷肥和钾肥作为底肥一次性施入, 氮肥一半为底肥, 另一半为追肥。以施等量氮、钾肥而不施磷肥为对照 (P0)。每个处理组设置3次重复, 每个重复10株, 按常规方式管理。生长一段时间后, 于10月25日 (植株尚未开花), 对各处理组辣木叶全部进行采收。采收完成后分类编号, 随后放置于4℃冷藏柜中保存。

1.2.2 辣木叶样品制备

将采收的辣木叶样品于70℃恒温烘干, 粉碎后过0.25 mm筛, 将制好的样品收集备用。

1.2.3 辣木叶挥发性成分提取

准确称取 1.00 g 辣木叶粉末,转移至 100 mL 具塞比色管中,加入提取溶剂正己烷 20 mL,置于超声波清洗仪中,设定提取温度为 35 °C,功率比为 95%,频率为 40 kHz,在此条件下持续超声提取 2 h。过滤处理后,将所得滤液通过旋蒸浓缩,得到的浓缩液即为辣木叶挥发性成分。将浓缩液加入 2.0 mL 正己烷溶解,转移至 5.0 mL 容量瓶中,以正己烷定容,旋涡混匀并静置一段时间后,转移至棕色样品瓶中密封保存,以待后续检测分析。

1.2.4 测试溶液配制

准确移取 0.5 mL 辣木叶挥发性成分至 5.0 mL 容量瓶中,以正己烷定容后,将容量瓶置于旋涡混匀器上进行充分混匀,静置一段时间使溶液稳定。吸取 1.0 mL 挥发性成分待测液至进样瓶中,密封待进样测试。

1.2.5 仪器分析条件

气相色谱条件:TR-1MS 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),流量模式为恒流,柱流量为 1.0 mL/min,载气为高纯氮气,平均线速度为 37 cm/s,进样量 1.0 μL,进样口温度 250 °C,分流比 100:1。程序升温条件:初始温度 80 °C 保持 2.0 min,以 15.0 °C/min 的速率升温至 250 °C 保持 30.0 min。

质谱条件:电子能量为 70.0 eV,电离模式为 EI,电子倍增管电压为 1 947.0 V,离子传输管温度 250 °C,离子源温度 250 °C,质量数扫描范围 m/z 为 30~550 amu。

1.2.6 成分分析

依据预设的仪器条件,通过自动进样器,将辣木叶挥发性成分待测液注入气相色谱仪进行测试分析,获得挥发性成分的总离子流图。随后,借助质谱工作站 Xcalibur 3.0,通过 NIST08 标准质谱图数据库的搜索功能,对总离子流图中的各个色谱峰展开对比与综合分析。

1.3 数据处理

采用质谱工作站软件 Xcalibur 3.0 进行定性与定量分析,结合 NIST08 标准质谱图数据库搜索比

对功能,对总离子流图中各色谱峰进行全面且系统的综合分析鉴定,明确化合物的具体种类,运用峰面积归一法定量计算各化合物的相对含量。在数据处理与可视化方面,利用 Simca 14.1 软件开展主成分分析,并绘制相应的分析图表,以直观呈现数据的主要特征与内在结构。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理组的辣木叶挥发性化学成分与含量

不同磷肥施用量处理的辣木叶挥发性成分的化合物组成及相对含量结果见表 1。从对照组辣木叶中共鉴定出 32 种挥发性化合物,总含量为 97.88%,含量超过 1.00% 的化合物有 19 种(总含量 89.57%),含量较高的 5 种化合物分别为邻苯二甲酸二丁酯(21.11%)、(Z)-9-十四碳烯-1-醇(15.83%)、顺-9-十八烯醇(12.50%)、环十五烷基醇(5.37%)和正二十八烷(5.13%)。磷肥处理组 P1 中鉴定出 30 种挥发性化合物,总含量为 96.09%,含量超过 1.00% 的化合物有 15 种(总含量 88.64%),含量较高的 5 种化合物分别为顺-9-十八烯醇(23.25%)、邻苯二甲酸二丁酯(16.09%)、1-十九碳烯(10.49%)、正二十四烷(8.78%)和(Z)-9-十六碳烯-1-醇(7.59%)。磷肥处理组 P2 中鉴定出 28 种化合物,总含量为 94.72%,含量超过 1.00% 的化合物有 14 种(总相对含量 85.85%),含量较高的 4 种化合物分别为顺-9-十八烯醇(26.00%)、邻苯二甲酸二丁酯(19.36%)、1-十九碳烯(11.13%)和正二十四烷(6.35%)。磷肥处理组 P3 中鉴定出 28 种化合物,总含量为 94.61%,含量超过 1.00% 的化合物有 15 种(总含量 88.00%),含量较高的 5 种化合物包括顺-9-十八烯醇(21.11%)、邻苯二甲酸二丁酯(15.61%)、正二十四烷(13.39%)、1-十九碳烯(9.32%)和环十五烷基醇(5.09%)。磷肥处理组 P4 中鉴定出 31 种化合物,总含量为 96.24%,含量大于 1.00% 化合物有 17 种(总含量 88.20%),含量较高的 5 种化合物为顺-9-十八烯醇(24.30%)、邻苯二甲酸二丁酯(16.79%)、1-十九碳烯(11.35%)、(Z)-9-十六碳烯-1-醇(7.98%)和正二十四烷(5.59%)。

表 1 不同磷肥施用量处理组辣木叶挥发性成分组成及含量

化合物 类型	化合物 编号	保留时间/min	化合物名称	CAS 号	分子式	相对含量/%				
						P0	P1	P2	P3	P4
烯烃类	1	4.47	2-甲基戊烯	763-29-1	C ₆ H ₁₂	1.10	0.10	0.10	0.07	0.31
	2	4.57	1-己烯	592-41-6	C ₆ H ₁₂	1.03	0.06	—	—	0.55
	3	7.76	1-十四烯	1120-36-1	C ₁₄ H ₂₈	0.61	0.77	0.96	0.77	0.84
	4	33.03	1-十九碳烯	18435-45-5	C ₁₉ H ₃₈	2.76	10.49	11.13	9.32	11.35
芳烃类	5	4.73	4-异丙基甲苯	99-87-6	C ₁₀ H ₁₄	2.14	0.11	0.79	0.35	0.83
	6	6.67	1-甲基萘	90-12-0	C ₁₁ H ₁₀	3.17	2.72	3.37	2.72	2.90
	7	8.27	1-异丙基萘	6158-45-8	C ₁₃ H ₁₄	1.15	1.16	1.49	1.14	1.25
酯类	8	5.28	乙酸己酯	142-92-7	C ₈ H ₁₆ O ₂	1.26	1.84	1.48	1.74	1.87
	9	12.96	十三酸甲酯	1731-88-0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.65	0.44	0.64	0.49	0.56
	10	13.83	棕榈酸甲酯	112-39-0	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	2.10	1.82	2.14	1.81	1.93
	11	14.22	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	21.11	16.09	19.36	15.61	16.79
	12	15.72	花生酸甲酯	1120-28-1	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	0.34	0.42	0.49	0.40	0.46
	13	17.19	油酸甲酯	112-62-9	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	1.12	1.18	1.35	1.19	1.29
	14	17.75	十七酸甲酯	1731-92-6	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1.01	—	—	—	—
	15	18.80	十八碳酸甲酯	112-61-8	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	0.75	0.11	0.14	0.15	0.17
酮类	16	6.88	香草乙酮	498-02-2	C ₉ H ₁₀ O ₃	0.56	0.67	0.80	0.67	0.71
醛类	17	7.32	月桂醛	112-54-9	C ₁₂ H ₂₄ O	0.88	1.00	1.17	0.97	1.02
醇类	18	7.94	肉豆蔻醇	112-72-1	C ₁₄ H ₃₀ O	0.38	0.53	0.76	0.57	0.59
	19	21.54	环十五烷基醇	4727-17-7	C ₁₅ H ₃₀ O	5.37	4.63	3.45	5.09	3.31
	20	22.17	(Z)-11-十六碳烯-1-醇	56683-54-6	C ₁₆ H ₃₂ O	0.55	1.03	0.85	1.19	1.35
	21	25.51	(Z)-9-十六碳烯-1-醇	10378-01-5	C ₁₆ H ₃₂ O	3.32	7.59	4.61	4.18	7.98
	22	27.06	(Z)-9-十四碳烯-1-醇	35153-15-2	C ₁₄ H ₂₈ O	15.83	0.71	—	—	1.04
	23	27.65	1-十七醇	1454-85-9	C ₁₇ H ₃₆ O	0.30	1.81	1.00	1.54	2.21
	24	27.82	十五醇	629-76-5	C ₁₅ H ₃₂ O	—	0.80	0.53	0.61	0.91
	25	29.39	十八醇	112-92-5	C ₁₈ H ₃₈ O	3.87	—	—	—	—
	26	30.80	顺-9-十八烯醇	143-28-2	C ₁₈ H ₃₆ O	12.50	23.25	26.00	21.11	24.30
	27	8.07	十四烷	629-59-4	C ₁₄ H ₃₀	0.47	0.49	0.57	0.46	0.53
	28	11.32	正二十一烷	629-94-7	C ₂₁ H ₄₄	0.95	—	—	—	—
	29	18.92	正二十八烷	630-02-4	C ₂₈ H ₅₈	5.13	1.38	1.31	2.55	1.07
烷烃类	30	20.55	正二十烷	112-95-8	C ₂₀ H ₄₂	1.87	4.87	2.64	5.42	2.95
	31	23.02	正二十四烷	646-31-1	C ₂₄ H ₅₀	3.73	8.78	6.35	13.39	5.59
	32	9.61	肉豆蔻酸	544-63-8	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.88	0.74	0.90	0.75	0.85
	33	23.64	蓖麻油酸	141-22-0	C ₁₈ H ₃₄ O ₃	0.99	—	—	—	0.11
	34	32.70	十八碳烷酸	57-11-4	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	—	0.50	0.34	0.35	0.62

注：表中“—”表示未检出。

含量较高的挥发性化合物中,有6种在对照组及4个磷肥处理组中均存在,分别为:1-十九碳烯、邻苯二甲酸二丁酯、环十五烷基醇、(Z)-9-十六碳烯-1-醇、正二十四烷和顺-9-十八烯醇。其中对照组的1-十九碳烯含量2.76%、(Z)-9-十六碳烯-1-醇含量3.32%,明显低于其它4个磷肥处理组;邻苯二甲酸二丁酯含量(21.11%)、环十五烷基醇含量(5.37%)最高,相比其它4个磷肥处理组均有所增加。P3磷肥组正二十四烷含量最高,相对含量为13.39%,明显高于其他组别。4个磷

肥处理组的顺-9-十八烯醇含量均大于20.00%,远高于对照组。与对照组相比,4个磷肥处理组均未检出十七酸甲酯、十八醇、正二十一烷3种化合物,磷肥处理组P2和P3均未检出1-己烯、(Z)-9-十四碳烯-1-醇2种化合物,磷肥处理组P1、P2和P3均未检出蓖麻油酸,对照组未检出十五醇和十八碳烷酸2种化合物。

2.2 不同磷肥施用量处理的辣木叶挥发性成分分类

深入分析辣木叶挥发性化学成分类别,不同

处理下挥发性成分类别及相对含量如图1所示。所测样品挥发性成分主要分属于烯烴类、芳烴类、酯类、酮类、醛类、醇类、烷烴类、羧酸类等8类化合物。其中,醇类、酯类、烷烴类和烯烴类化合物的含量处于较高水平。烯烴类化合物含量为5.50%~13.05%,除对照组烯烴类化合物含量低于10.00%外,其它4个磷肥处理组的含量均高于10.00%,且以P4处理组含量最高;芳烴类化合物含量为3.99%~6.46%,对照组芳烴类化合物含量高于其它4个磷肥处理组,P1、P3与P0差异明显,P2、P4与P0差异较小;酯类化合物含量为21.39%~28.34%,对照组酯类化合物含量高于其它4个磷肥处理组,P1、P3与P0差异明显,P2、P4与P0差异较小;酮类、醛类和羧酸类3类化合物的含量较低,且对照组与其它4个磷肥处理组的差异较小;醇类化合物含量为34.29%~42.12%,对照组醇类化合物含量高于其它4个磷肥处理组,其中磷肥处理组P4与P0差异较小,P2、P3与P0差异明显;烷烴类化合物含量为10.14%~21.82%,磷肥处理组P1和P3均比P0高,P2和P4均比P0低,但差异不明显。

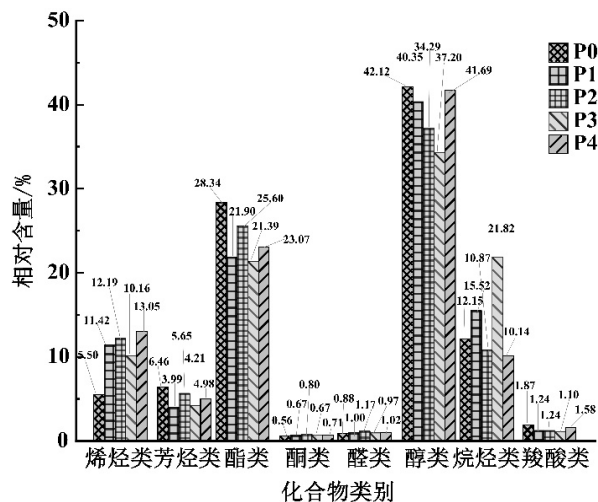


图1 不同磷肥施用量处理对辣木叶挥发性成分的种类和相对含量的影响

由图2可知,烯烴类、芳烴类、酯类、酮类、醛类、醇类、烷烴类和羧酸类化合物总数量分别有18、15、36、5、5、38、25、11种,数量较多的为醇类、酯类、烷烴类、烯烴类和芳烴类。其中在芳烴

类、酮类和醛类化合物数量方面,对照组与其它4个磷肥处理组没有差别;在酯类和烷烴类化合物数量方面,对照组均高于4个磷肥处理组,不过二者之间的数量差距较小;除磷肥处理组P2和P3的烯烴类和醇类化合物数量相较于对照组有所减少外,其余两组磷肥处理组与对照组的数量差异并不明显;磷肥处理组P4的羧酸类化合物数量多于对照组和其它磷肥处理组,但差距较小。

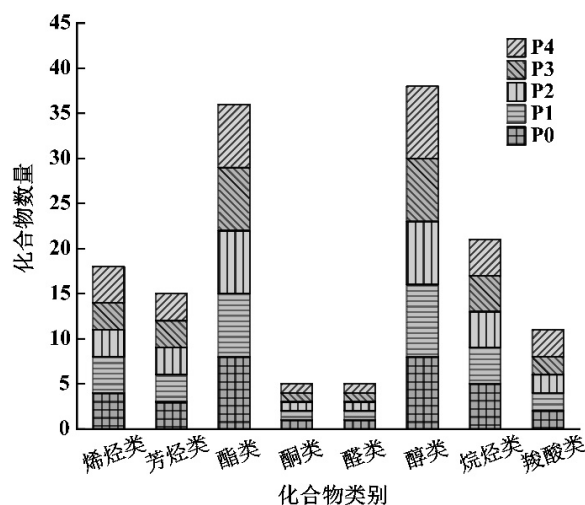


图2 不同施用量磷肥处理对辣木叶挥发性成分的种类和数量的影响

2.3 不同磷肥施用量处理下辣木叶挥发性成分的差异分析

PCA双标图(图3)显示,5个处理组的辣木叶样品中挥发性成分具有明显差异。PC1、PC2分别解释59.70%、30.50%的总变异,二者累计解释90.20%的原始数据变异,可充分反映样本间差异特征。全部样本均落在置信区间内,无离群异常样本。样本分布上,P0与P1、P2、P3、P4显著分离,P1与P3相似度高;P2与P1、P3、P4等处理的分离度较高。二维载荷平面可充分表征各指标的变异特征,PC1正半轴右侧化合物为P0对照组特征标志物;7、27、13等化合物是P2的标志性成分;30、31、8等化合物在P1、P3样本中含量更高。全部化合物载荷点均远离坐标原点,表明所检测化合物均对样本分组具备较强贡献。

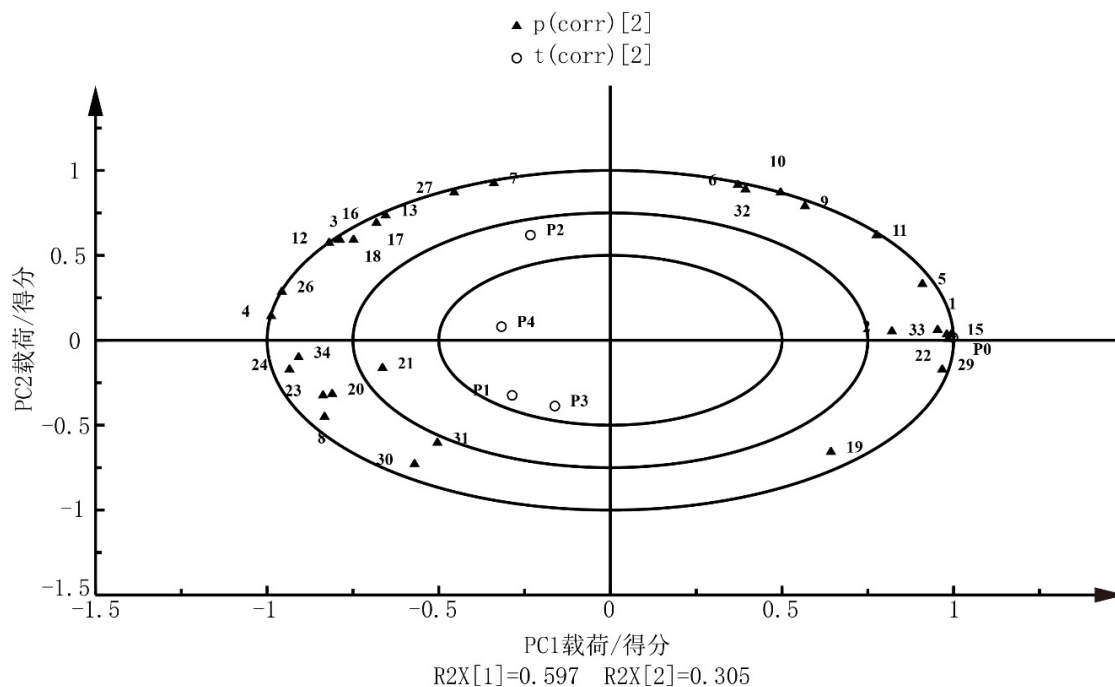


图3 不同磷肥施用量处理组辣木叶挥发性成分 PCA 分析结果

注: 图中数字与表1中挥发性化合物编号相对应。

3 讨论与结论

施肥会改变辣木叶的化学成分组成,影响其产量与品质。磷是辣木生长的重要营养元素,其施用量的变化会直接影响植株的生物量积累,而生物量的变化是次生代谢产物(包括挥发性成分)产生和积累的物质基础^[17]。磷肥处理对辣木叶挥发性化学成分的组成和含量具有显著影响,但具体效果因磷肥的种类和配比方式而异。前期对辣木幼苗的施肥处理研究^[8]表明,磷肥处理(钙镁磷肥)能改变辣木叶挥发性成分的组成谱系,提高醇类、烷烃类含量,降低羧酸类、酮类和烯烃类等含量。当使用复合肥(其中通常包含磷元素与其他营养元素)时,其对辣木叶挥发性成分的影响模式与单一钙镁磷肥处理相似但存在差异,同样提高了醇类和烷烃类的含量,但降低了羧酸类、醛类和烯烃类的含量。

本次研究侧重于研究磷肥(钙镁磷肥)施用量对辣木叶挥发性成分组成及含量的影响,结果表明,在挥发性成分含量方面,磷肥处理组使烯烃类化合物含量增加,芳烃类、酯类、醇类化合物含

量降低,酮类、醛类、羧酸类、烷烃类化合物含量变化不明显。在挥发性成分种类数量方面,磷肥处理组中芳烃类、酮类、醛类、羧酸类、烯烃类与醇类等6类化合物与对照组差别不明显,酯类与烷烃类化合物有所降低,但差别较小。在4个磷肥处理组中,P4处理组的烯烃类、醇类和羧酸类化合物含量最高,P2处理组以芳烃类和酯类化合物含量最高,P3处理组烷烃类化合物含量最高,而磷肥施用量对酮类和醛类化合物的含量影响较小。不同施肥处理造成挥发性成分变化显著,其根本原因在于:肥料通过调控植物的养分状态,直接或间接地干预了其次生代谢网络,特别是挥发性香气物质的生物合成途径。这一结论与关于养分管理影响植物次生代谢的核心理论高度一致^[18]。

从PCA双标图可知,P2处理组和其他磷肥处理组差异较大,结合表1来看,P2处理组挥发性化合物含量普遍为最高或最低,能够在一定程度上使烷烃类、酯类、醇类和羧酸类等化合物的含量减少,烯烃类化合物含量有所增加。根据不同磷肥施用量的处理结果可以看出,科学合理的配

方施肥能够在一定程度上影响辣木叶中挥发性成分的组成及含量,进而改善其品质。

参考文献:

- [1] 许敏,赵三军,宋晖,等. 辣木的研究进展[J]. 食品科学,2016,37(23):291-301.
- [2] 巩思佳,康澳,陈可菁,等. 辣木叶的营养、功能及应用研究进展[J]. 食品工业科技,2021,42(21):435-444.
- [3] 罗凤仙,解静,钱颖艳,等. 辣木生物碱抑制宫颈癌Hela细胞增殖和诱导其凋亡的作用[J]. 现代食品科技,2020,36(2):18-24,62.
- [4] 陈昌婕,马琳,苗玉焕,等. 磷肥施用量对蕲艾生长和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(8):1420-1431.
- [5] 李祖军,姜雪,杨通莲,等. 不同肥料配比对贵州禾苟当1号产量及食味品质的影响[J]. 作物杂志,2022(4):160-166.
- [6] 唐海龙,龚伟,王景燕,等. 氮磷钾不同配比对藤椒产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(10):18-26.
- [7] 程世敏,黄丽娜,赵增贤,等. 氮磷钾施用量对辣木生长及养分累积的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2021,36(1):147-154.
- [8] 李国明,李守岭,张丽萍,等. 不同施肥处理对辣木叶挥发性化学成分的影响[J]. 热带作物学报,2020,41(1):157-166.
- [9] 张敏,杨浩瑜,包立,等. 氮、磷、钾配比施肥对辣木生长及叶片养分吸收的影响[J]. 林业科学研究,2019,32(5):114-120.
- [10] 雷卓明,孙亚范,王凤玲,等. 顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用测定辣木籽中挥发性成分[J]. 食品研究与开发,2024,45(15):172-180,224.
- [11] 杨宝钦,刘祥义. 辣木根茎挥发性成分提取及GC-MS分析[J]. 云南化工,2017,44(6):66-68.
- [12] 蔡彩虹,梅文莉,董文化,等. 辣木叶挥发性成分GC-MS的分析及生物活性[J]. 热带生物学报,2016,7(3):381-386.
- [13] 袁明焱,刘守金,杨柳,等. 辣木叶挥发性成分的GC-MS研究[J]. 安徽农业科学,2018,46(8):174-176,187.
- [14] 陈荣荣,张献忠,王根女,等. HD/GC-MS法测定辣木树不同部位挥发性香气成分的研究[J]. 粮食与食品工业,2014,21(4):58-61.
- [15] 梁文娟,王狮,夏越欣,等. 云南产辣木叶挥发油化学成分的GC-MS分析[J]. 安徽农业科学,2018,46(4):174-178.
- [16] 段琼芬,刘飞,罗金岳,等. 辣木籽油的超临界CO₂萃取及其化学成分分析[J]. 中国油脂,2010,35(2):76-79.
- [17] 任开磊,郑益兴,吴疆翀,等. 配方施肥对辣木生长效应及其初果期产量构成的影响[J]. 林业科学研究,2016,29(6):820-825.
- [18] 鲍肃都,安勤,陈宏宇,等. 不同施肥处理对黄金茶鲜叶挥发性成分及其制成绿茶品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2025,51(2):24-35.