

张 涵,徐迪雅,唐东芹,等. 调环酸钙对小苍兰代谢物的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(20):195-200.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.029

# 调环酸钙对小苍兰代谢物的影响

张 涵<sup>1</sup>,徐迪雅<sup>2</sup>,唐东芹<sup>2</sup>,李宝昌<sup>1</sup>

(1. 上海农林职业技术学院,上海 201699; 2. 上海交通大学设计学院,上海 200240)

**摘要:**为了探讨调环酸钙应用于小苍兰生长调控的可能性,了解调环酸钙调控小苍兰生长发育的具体效果,为其推广应用提供必要的生理生化基础,以小苍兰品种上农红台阁为试验材料,使用调环酸钙对其种球进行浸泡处理,通过气相色谱-质谱(GC-MS)分析,对其主要代谢物种类和含量变化进行比较,综合评价调环酸钙对盆栽小苍兰代谢物的影响。结果表明,样品中共鉴定出 166 种代谢物,分布在有机酸、糖类、糖醇、醇、氨基酸、多胺和无机酸等七大类中,其中有机酸数量最多,高达 78 种,而无机酸数量最少,仅 2 种;但相对含量最高的却是氨基酸。比较发现,调环酸钙处理后,大多数代谢产物含量下降。通过偏最小二乘判别分析结合变异权重参数筛选出 27 种标志性代谢物,变异权重参数最高的 5 个化合物分别是天冬酰胺、D-葡萄糖、D-松二糖、瓜氨酸和谷氨酰胺。表明经调环酸钙处理后的所有代谢物中,与脂肪酸代谢、糖酵解、氨基酸代谢相关的多种代谢物含量下降明显,可能造成植株内相关信号传导发生变化,影响了光合作用进程,营养物质的合成和贮存减少,说明调环酸钙在抑制小苍兰营养生长、矮化抗倒伏拔散等方面具有一定功能。

**关键词:**小苍兰;调环酸钙;代谢产物;生长调节;GC-MS 分析

**中图分类号:**S682.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)20-0195-06

小苍兰(*Freesia hybrida*)株态秀丽、花色繁多、花香浓郁,是世界著名的球根花卉,在生产中因小苍兰普遍株高叶细,直立性差,容易出现倒伏和披散现象,一定程度上限制了小苍兰的市场开拓<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2022-07-28

基金项目:上海市农委科技兴农项目[编号:沪农科推字(2020)第 1-1 号];上海市“科技创新行动计划”农业领域项目(编号:20392001300);上海市自然科学基金(编号:20ZR1439600)。

作者简介:张 涵(1973—),女,河北大名人,硕士,讲师、工程师,主要从事园林植物栽培、生理与育种研究,E-mail:249848244@qq.com;共同第一作者:徐迪雅(1998—),女,山东淄博人,硕士研究生,主要从事园林植物栽培与生理研究,E-mail:dqtang@sjtu.edu.cn。

通信作者:李宝昌,硕士,副教授、高级工程师,主要从事园林植物栽培、生理与育种研究。E-mail:13321960916@qq.com。

为了改善小苍兰的生长状态,增加其观赏价值,在盆栽生产时应应对小苍兰进行适当的矮化处理,在达到花卉矮化要求的同时也能最大限度地提高花卉的观赏价值<sup>[2-3]</sup>。近年来已有部分学者开展过盆栽小苍兰的矮化研究,研究较深入的植物生长调节剂有多效唑(PP<sub>333</sub>)<sup>[4-5]</sup>、比久(B<sub>9</sub>)<sup>[6]</sup>、水杨酸(SA)<sup>[7-8]</sup>、Topflor<sup>[9]</sup>等,但部分植物生长调节剂在施用浓度、方式与处理时间的把握方面并没有达到理想的效果,部分调节剂还会导致药害和环境污染。

调环酸钙作为一种新型植物生长调节剂,能够有效调节植株的新陈代谢,与目前市场常用的三唑类延缓剂相比,残效期短,残留量低,对环境污染更小,农作物更易吸收,更加安全、高效、环保<sup>[10]</sup>。同时调环酸钙能维持和延长体内其他赤霉素的活性

[26] 黄大勇. 撑篙竹秆形结构研究[J]. 世界竹藤通讯,2019,17(4):11-15.

[27] 解蕊,李俊清,赵雪,等. 林冠环境对亚高山针叶林下缺苞箭竹生物量分配和克隆形态的影响[J]. 植物生态学报,2010,34(6):753-760.

[28] 赵建诚,刘广路,范少辉,等. 鞭生竹克隆生长及其对相邻系统的影响[J]. 世界林业研究,2016,29(1):24-28.

[29] 刘美,张涛,马李红,等. 3 种海拔对团竹生物量分配和克隆形态特征的影响[J]. 西部林业科学,2014,43(6):19-

23.

[30] 鹿士杨,潘雨萍,彭晚霞,等. 不同竹类人工林生态系统生物量空间分配格局[J]. 生态科学,2018,37(4):123-129.

[31] 姚文静,王茹,王星,等. 毛竹实生苗生长发育规律及其模型拟合研究[J]. 西部林业科学,2020,49(3):14-20,28.

[32] 潘雁红,温星,吴志庄,等. 不同混生地被竹生物量分配与积累特征研究[J]. 世界竹藤通讯,2019,17(3):9-15.

[33] 徐超,王海湘,温国胜,等. 毛竹笋的快速生长对母竹的影响[J]. 东北林业大学学报,2017,45(5):11-15,19.

水平,有效防治作物早衰,具有一定的应用前景<sup>[11-12]</sup>。

目前,国内对调环酸钙的应用技术研究主要针对控制水稻、花生、小麦等作物生长和产量<sup>[13-15]</sup>,部分学者开展过调环酸钙对果树增产的影响研究<sup>[16-17]</sup>,对于调环酸钙在观赏植物上的应用研究资料<sup>[18-19]</sup>较少,更多的施用方法和效果还需要进一步的探索。与国外相比,国内对于调环酸钙的应用研究还比较单一,调环酸钙的某些功效还存在很多疑虑,比如调环酸钙对植物叶色、花期、坐果、果形、着色等方面的影响,存在不同甚至截然相反的结论,严重制约了调环酸钙的推广应用。

综上所述,目前国内外在采用多种生长调节剂调控小苍兰生长发育上取得了一定的成果,但多数调节剂依然没有很好地解决生产实践问题。为了探讨调环酸钙应用于小苍兰生长调控的可能性,了解调环酸钙调控小苍兰生长发育的具体效果,本研究首次以小苍兰品种上农红台阁为材料,用调环酸钙水溶液浸泡种球的处理方式,研究调环酸钙对小苍兰(茎基部组织)中主要代谢物的影响,以期为其推广应用提供必要的生理生化基础。

## 1 材料与方法

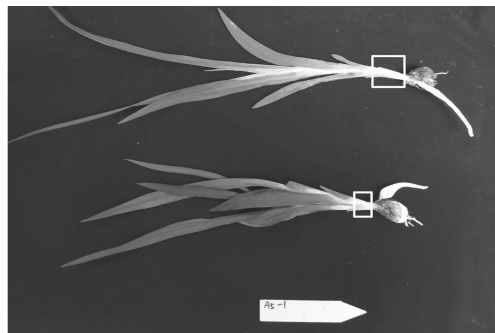
### 1.1 试验材料

试验植物材料为小苍兰园艺品种上农红台阁(*Freesia hybrida* SN Hongtaigei),花为深红色,花蕊金黄色,半重瓣。选择大小一致(周径约 7.5 cm)、无病虫害、无损伤的种球作为材料并称重,2019 年 10 月栽培于上海交通大学农业工程训练中心的玻璃温室。试验所用的调环酸钙为安阳全丰生物科技有限公司生产的有效成分含量为 15% 的可湿性粉剂。

### 1.2 气相色谱-质谱(GC-MS)分析

浸泡小苍兰种球的调环酸钙水溶液浓度根据预试验结果,从 6 种浓度处理中选择了跟对照组相比,对小苍兰形态有明显影响的一个浓度进行试验,即 1 600 mg/L。小苍兰种球使用调环酸钙浸球处理 8 周后,采集经 1 600 mg/L 调环酸钙水溶液浸泡种球处理和清水浸泡种球处理的小苍兰植株的茎基部组织约 100 mg(图 1),样品在使用 80% 甲醇提取,经过甲氧基化和硅烷化后,用 7890-5975 型气相色谱-质谱联用仪进行分析,使用 LECO Chroma TOF® Database Connection® optimized for Pegasus

和 MSD Chemstation Data Analysis Application 软件检测,采用 NIST 2011 谱库进行检索,使用核糖醇作为内标,以各化合物峰面积和内标核糖醇峰面积的比值代表各代谢产物的相对含量。



框内为取样部位  
图1 小苍兰组织取样

### 1.3 数据的处理与分析

采用 SIMCA 14.1 软件对代谢产物的含量变化进行偏最小二乘判别分析(PLS-DA)。对分析得到的标志性代谢物,利用 KEGG 数据库进行代谢通路分析。

## 2 结果与分析

从 GC-MS 总离子流色谱图(图 2)中可以看出,在使用调环酸钙进行浸泡种球处理后,部分化合物的峰面积有所不同,在小苍兰中检测到的化合物含量发生变化,说明调环酸钙浸泡种球处理影响了小苍兰的新陈代谢,对小苍兰的生长发育产生了一定影响。

根据化合物结构,通过比对分析,共筛选得到了 166 种化合物。其中有机酸 78 种、糖 31 种、糖醇 8 种、醇 10 种、氨基酸 31 种、多胺 6 种、无机酸 2 种(图 3),各类化合物的相对含量分布见图 4。

未处理的小苍兰中,氨基酸相对含量所占比例最大(图 5),在使用调环酸钙浸泡种球后,氨基酸相对含量占比仍最大(图 6)。比较发现,使用调环酸钙浸泡种球后,化合物相对含量总体呈下降趋势,除多胺和无机酸相对含量有所增加外,有机酸、糖、糖醇、醇和氨基酸相对含量减少,其中有机酸和糖的相对含量变化最大,与对照相比分别下降了 25.03% 和 24.62%(表 1)。

### 2.1 有机酸类

在小苍兰中共检测到 78 种有机酸,其中棕榈酸的相对含量最高,调环酸钙浸泡种球处理后,发现有 58 种有机酸的相对含量下降,其中下降超过

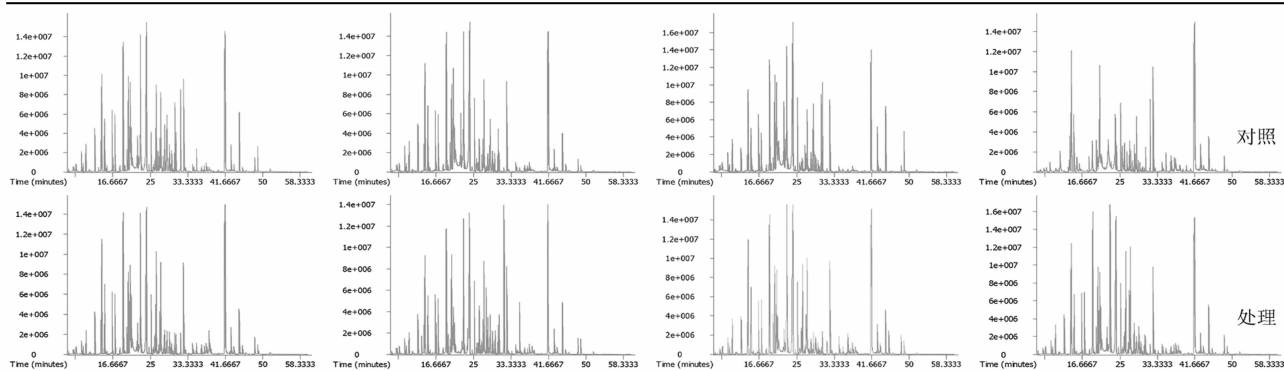


图2 调环酸钙处理下小苍兰根茎结合部 GC-MS 总离子流色谱

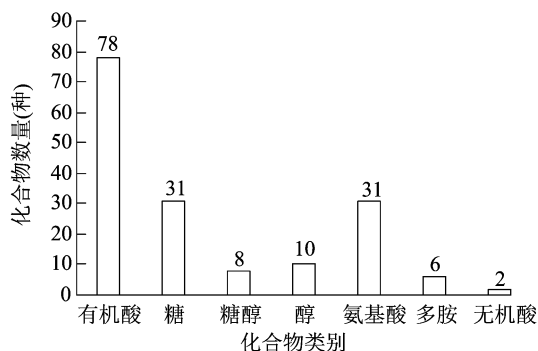


图3 小苍兰中化合物数量分布

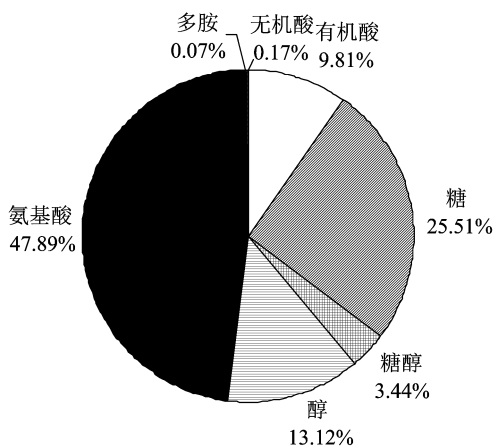


图4 小苍兰中各类化合物的相对含量(综合值)占比

20%的有机酸有 38 种,下降超过 50%的有 15 种,有 6 种有机酸的相对含量下降超过 70%。其余 20 种有机酸的相对含量则相对对照表现为上升,其中上升幅度超过 20%的有机酸有 6 种,上升幅度超过 50%的有机酸有 2 种。

## 2.2 糖类

共检测到 31 种糖,调环酸钙浸泡种球后,小苍兰中相对含量减少的有 21 种糖,其中下降幅度超过 20%的有 15 种糖,下降幅度超过 50%的有 7 种糖,有 4 种糖的相对含量下降幅度超过 70%。有 10 种

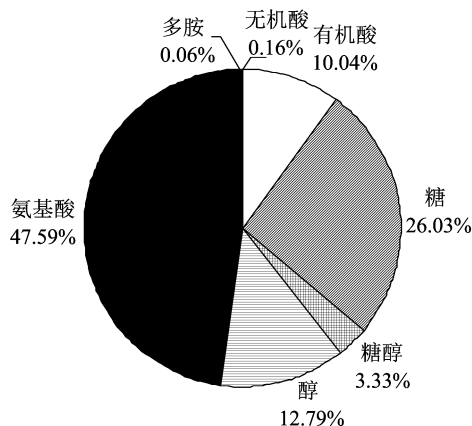


图5 对照组小苍兰中各类化合物相对含量占比

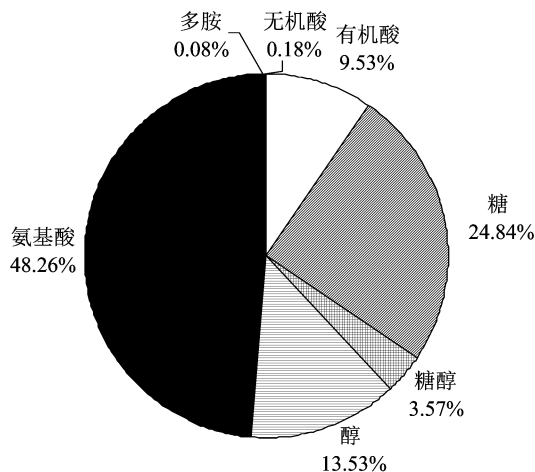


图6 调环酸钙浸泡种球处理的小苍兰中各类化合物相对含量占比

糖的相对含量增加,4 种糖的相对含量增加超过 60%。

## 2.3 糖醇、醇类

共检测到 8 种糖醇类化合物和 10 种醇类化合物,这 18 种化合物在调环酸钙处理后,共有 4 种糖醇和 7 种醇的相对含量减少,其余 4 种糖醇和 3 种醇的含量增加。

表 1 调环酸钙对小苍兰各类化合物相对含量的影响

化合物	相对含量(%)	
	对照	处理
有机酸	7.087 3 ± 2.068 6	5.313 5 ± 1.147 7
糖	18.375 8 ± 3.954 1	13.851 8 ± 1.232 6
糖醇	2.348 5 ± 0.530 9	1.993 2 ± 0.149 2
醇	9.032 7 ± 2.266 3	7.544 3 ± 0.986 0
氨基酸	33.598 5 ± 6.721 7	26.911 4 ± 1.955 5
多胺	0.040 8 ± 0.015 0	0.042 5 ± 0.003 1
无机酸	0.404 2 ± 0.113 1	0.472 5 ± 0.076 0

2.4 氨基酸类

共检测到 31 种氨基酸,与对照相比,调环酸钙处理后 22 种氨基酸的相对含量下降,其中 14 种氨基酸的下降幅度超过 20%。其余 9 种氨基酸在处理组相对含量增加。

2.5 多胺、无机酸类

检测并鉴定确定的多胺类化合物有 6 种,无机酸有 2 种,它们的相对含量均不高,与对照相比,经过调环酸钙浸球处理后,共有 4 种多胺和 1 种无机酸的相对含量下降,剩余 2 种多胺和 1 种无机酸在处理组含量上升。

2.6 代谢产物的 PLS - DA

图 7 是代谢物总量变化的偏最小二乘判别分析得分图,它显示对照组和处理组都可以各自聚成一组,2 组之间能够较好地分开,PLS - DA 得分图可以表示小苍兰在经过调环酸钙处理后,其代谢物在空间分布上的不同,说明调环酸钙处理会造成小苍兰代谢产物相对含量发生变化。将模型建立定义的 Y 矩阵的变量随机排列 20 次,得到相应  $Q^2$  作为衡量模型是否过拟合的标准。经过置换检验发现  $R^2 = 0.546$ ,  $Q^2 = -0.086$ ,  $Q^2$  是负值,表明模型可靠,不存在过拟合现象(图 8)。

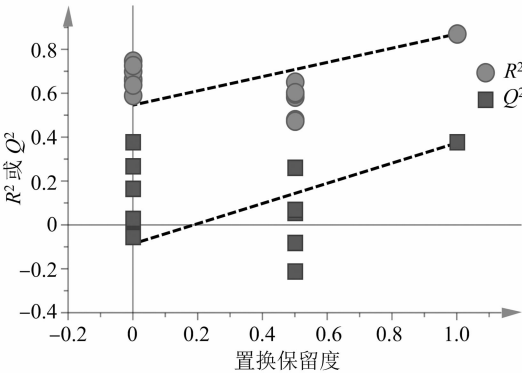


图 8 小苍兰代谢物相对含量的 PLS-DA 置换检验结果

图 9 是 PLS - DA 得到的小苍兰代谢产物相对含量的变异比率。在模型中,提取出 2 个主成分,模型参数为  $R^2(Y_1) = 0.438 6$ ,  $R^2(Y_2) = 0.870 2$ 。

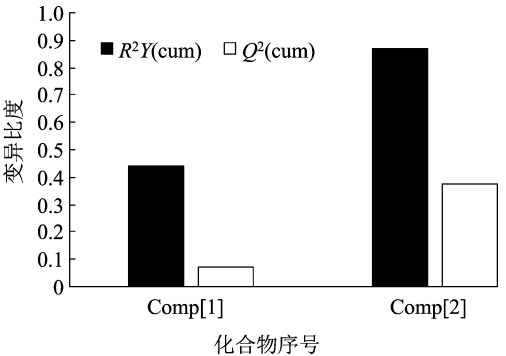


图 9 小苍兰代谢物相对含量的变异比率

采用 PLS - DA 对代谢产物的变异权重进行分析,得出不同代谢物的变异权重参数值(variable importance in projection, VIP),在代谢组学中,一般认为  $VIP > 1$  的变量可能为 2 组的差异代谢物。在小苍兰样品中,共有 27 种化合物的  $VIP$  大于 1,其中包括 4 种有机酸, $VIP$  最高的乙酰氧肟酸与脲酶的合成有关,棕榈酸与脂肪酸的代谢过程相关;在糖类中, $VIP$  大于 1 的糖有 7 种,其中 D - 葡萄糖参与多种糖代谢和糖酵解的代谢活动,在调环酸钙处理后,相对含量只有对照的 1/4;在糖醇类和醇类化合物中,共发现 1 种糖醇和 1 种醇  $VIP$  大于 1,其中肌醇参与半乳糖代谢、抗坏血酸和藻酸盐代谢和磷酸肌醇代谢等多种代谢途径; $VIP$  大于 1 的氨基酸数超过了总数的 1/3,其中天冬酰胺的  $VIP$  是所有化合物中最大的,天冬酰胺、瓜氨酸、L - 鸟氨酸、L - 组氨酸、L - 天门冬氨酸、L - 脯氨酸和 L - 苏氨酸等 7 种氨基酸参与相关的氨基酸代谢途径;磷酸的  $VIP$  也大于 1,它参与光合作用、氧化磷酸化等过程(表 2)。

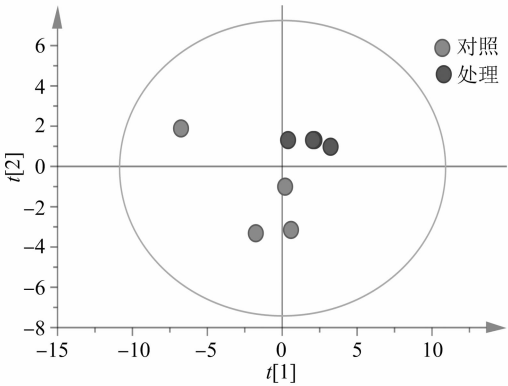


图 7 小苍兰代谢物总量变化的偏最小二乘判别分析

表 2 PLS-DA 模型分析得出的调环酸钙处理小苍兰的标志性代谢物

序号 <sup>a</sup>	化合物	变异权重 参数值	对照	处理		参与的主要代谢途径
			相对含量(%)	相对含量(%)	变化倍数 <sup>b</sup>	
9	乙酰氧膦酸	2.15	0.471 3	0.130 9	0.28	脲酶竞争性抑制剂
23	棕榈酸	1.22	1.040 3	1.222 3	1.17	脂肪酸代谢
25	嘧啶羧酸	1.05	0.115 1	0.037 1	0.32	未知
26	阿拉伯-己酸	1.03	0.325 0	0.114 5	0.35	未知
2	<i>D</i> -葡萄糖	4.59	4.193 3	1.041 2	0.25	糖代谢和糖酵解
3	<i>D</i> -松二糖	3.27	9.065 8	6.794 4	0.75	糖代谢
8	<i>D</i> -塔罗糖	2.15	0.838 2	0.292 1	0.35	蔗糖和甘露糖代谢
12	<i>D</i> -果糖	1.96	0.603 9	0.276 5	0.46	氨基糖和核苷酸糖代谢
13	3-甘露二糖	1.93	1.716 8	1.321 3	0.77	糖代谢
6	<i>D</i> -果呋喃糖	1.76	0.599 3	0.168 5	0.28	氨基糖和核苷酸糖代谢
7	蜜二糖	1.52	0.530 8	0.616 2	1.16	半乳糖代谢
18	肌醇	1.39	1.842 0	1.473 8	0.80	参与多种代谢途径
11	硅烷醇	2.14	7.559 3	7.375 8	0.98	未知
1	天冬酰胺	5.29	12.291 9	9.813 3	0.80	氨基酸代谢
4	瓜氨酸	3.17	2.626 9	2.966 2	1.13	氨基酸代谢
5	谷氨酰胺	2.90	6.359 3	3.330 7	0.62	氨基酸和嘌呤嘧啶代谢
6	<i>L</i> -鸟氨酸	2.61	3.537 4	3.012 7	0.85	氨基酸和谷胱甘肽代谢
7	<i>L</i> -组氨酸	2.61	0.332 0	0.723 1	2.18	氨基酸代谢
10	丝氨酸	2.14	2.108 9	1.636 4	0.78	参与多种代谢途径
14	<i>L</i> -丙氨酸	1.84	1.270 8	0.709 2	0.56	参与多种代谢途径
15	<i>L</i> -5-氧脯氨酸	1.80	1.236 0	0.729 7	0.59	谷胱甘肽代谢
19	甘氨酸	1.38	0.507 6	0.231 7	0.46	参与多种代谢途径
20	<i>L</i> -天门冬氨酸	1.36	0.114 0	0.251 3	2.20	氨基酸代谢
21	<i>L</i> -脯氨酸	1.27	0.542 7	0.542 6	1.00	氨基酸代谢
22	<i>L</i> -苏氨酸	1.24	0.898 5	0.833 2	0.93	氨基酸代谢
24	<i>L</i> -谷氨酸	1.19	0.775 2	0.526 8	0.68	参与多种代谢途径
27	磷酸	1.02	0.289 9	0.370 0	1.28	参与多种代谢途径

注: a. 根据 VIP 大小排的顺序。 b. 变化倍数是调环酸钙处理过的小苍兰化合物相对含量的平均值与对照的比值。

### 3 讨论与结论

在小苍兰样品中共检测出了 166 种化合物, 分布于 7 大类, 其中有机酸最多, 经调环酸钙处理后含量差异较大的有机酸中, 十二酸、9-十六烯酸、硬脂酸、肉豆蔻酸、油酸和含量最高的棕榈酸均与脂肪酸的代谢过程有关, 脂肪酸作为生物体的基本组成成分之一, 具有重要的生理功能, 它们是重要的能源物质, 同时也是一些信号分子的前体, 与植物的细胞识别、组织免疫、抗逆性等有密切的关系<sup>[20]</sup>, 这些相关代谢物的含量总体趋势为减少, 这可能与调环酸钙处理后的生长过程中营养物质的积累变化有关, 这也可能是调环酸钙能够抑制营养生长的一

个重要原因。

糖类是光合作用的初级产物, 给植物的生长发育提供碳源和能量。在经过调环酸钙的处理后, 绝大多数糖含量下降, 说明调环酸钙处理对糖类的合成和贮存有一定的负效应。在含量下降幅度较大的糖中, *D*-半乳糖、*D*-葡萄糖和蜜二糖都与半乳糖的代谢有关, *D*-半乳糖和 *D*-果糖均与氨基糖和核苷酸糖的代谢过程相关, 而 *D*-葡萄糖和 *D*-果糖等与糖酵解过程有关, 它们的含量下降意味着植物体糖代谢能力的下降, 这也可能是调环酸钙抑制植物营养生长的原因之一。

氨基酸与植物体内碳、氮、硫等元素的循环密不可分<sup>[21]</sup>。在调环酸钙处理后, 共鉴定出 31 种氨

基酸,且含量占比最高,意味着可能发挥着重要作用。比较发现,大部分氨基酸经调环酸钙处理后含量下降。在变化较大的氨基酸中,VIP 最大的天冬酰胺参与丙氨酸、天冬氨酸和谷氨酸等多种氨基酸的代谢途径,谷氨酰胺、L-鸟氨酸、丝氨酸、L-丙氨酸、L-5 氧脯氨酸和甘氨酸等氨基酸均参与多种氨基酸的代谢,其含量均有所下降。

糖醇是水化的碳水化合物,它与碳的转运和贮存、能量的传递等密切相关,肌醇的 VIP 大于 1,它是几种糖的前体,因此它的含量变化也与糖类的变化相关;在无机酸的积累中,磷酸的 VIP 较高,其在调环酸钙处理后含量略微下降,磷酸在氧化磷酸化和光合作用过程中发挥重要的作用,对植物能量的转换和物质的合成可能有紧密的关系。

本研究采用调环酸钙对盆栽小苍兰进行浸泡种球处理,并对小苍兰代谢物相关指标进行测定与分析,GC-MS 分析共鉴定出 166 种化合物,各类化合物的相对含量不等,以氨基酸最高。调环酸钙处理后,除多胺和无机酸的相对含量有所增加外,有机酸、糖、糖醇、醇和氨基酸的相对含量均减少。其中有机酸和糖的相对含量变化最大,与对照相比分别下降了 25.03% 和 24.62%,与脂肪酸代谢相关的十二酸、9-十六烯酸、硬脂酸、肉豆蔻酸、油酸等的含量下降,可能是调环酸钙调节生长过程的环节之一;与糖酵解相关的多种糖和参与碳代谢的肌醇含量下降,植株糖代谢能力下降,营养物质的合成和贮存减少;多数氨基酸含量变化明显,影响植物的信息传导、氨基酸代谢、嘧啶和嘌呤代谢以及谷胱甘肽代谢过程;参与多种氨基酸代谢的尸胺和参与光合作用的磷酸是多种化合物合成的前体,它们含量的升高意味着相关物质合成的减弱,这些结果为解析调环酸钙调控小苍兰生长发育提供了生理生化基础,为后续调环酸钙应用于小苍兰生产实践提供了依据。

#### 参考文献:

- [1] 秦文英,林源祥. 小苍兰研究[M]. 上海:上海科学技术出版社,1995:1-4.
- [2] 吴利华,杨兵. 矮化技术用于花卉栽培分析[J]. 江西农业,2016(9):17.
- [3] 汤楠. 生长延缓剂对盆栽小苍兰生长发育的影响[D]. 上海:上海交通大学,2012:22-42.
- [4] 舒祯,偶晓捷,唐东芹. PP<sub>333</sub> 对盆栽小苍兰生长发育的影响[J]. 上海农业学报,2009,25(2):41-44.
- [5] 罗远华,叶秀仙,黄敏玲,等. 多效唑对小苍兰株型、开花及仔球繁育的影响[J]. 江西农业学报,2011,23(2):43-45,49.
- [6] 张宝琳. 黄花小苍兰矮化试验[J]. 甘肃林业科技,2002,27(3):58-59,62.
- [7] 刘玉艳,于凤鸣,李娜. 水杨酸和硼酸处理对小苍兰生长发育的影响[J]. 河北职业技术师范学院学报,2002,16(2):15-17,44.
- [8] 晏姿,赵洪,贺功振,等. 水杨酸对小苍兰生长及开花的影响[J]. 南方农业学报,2016,47(10):1725-1729.
- [9] 刘亚杰,常苹,谢喻汐,等. 新型生长调节剂 Topflor 对盆栽小苍兰生长和开花的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2014,32(1):67-73,88.
- [10] Paulson G S, Hull L A, Biddinger D J. Effect of a plant growth regulator prohexadione calcium on insect pests of apple and pear[J]. Journal of Economic Entomology,2005,98:423-431.
- [11] Nakayama I, Miyazawa T, Kobayashi M. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings[J]. Plant Cell Physiology,1990,31(2):195-200.
- [12] 刘艾英,同彦成,马小耳,等. 调环酸钙对葡萄新梢生长效应研究初报[J]. 陕西农业科学,2017,63(8):60-61,65.
- [13] 简迎龙,王盛亮. 5% 调环酸钙泡腾颗粒剂调节水稻生长田间示范试验报告[J]. 生物灾害科学,2017,40(3):209-212.
- [14] 杜连涛. 调环酸钙对丘陵地区夏直播花生生理特性及产量的影响[J]. 云南农业大学学报,2014,29(3):365-369.
- [15] 郭世保,陈俊华,王朝阳,等. 5% 调环酸钙 EA 对小麦生长和光合作用的影响[J]. 贵州农业科学,2016,44(3):23-26,42.
- [16] 王引,陈方永,倪海枝,等. 调环酸钙对东魁杨梅生长与结果的影响研究[J]. 浙江柑橘,2017,34(4):36-39.
- [17] 蹇天佑. 调环酸钙在几种作物上的应用[C]//中国化工学会农药专业委员会. 中国化工学会农药专业委员会第十七届年会论文集. 中国化工学会农药专业委员会:中国化工学会,2016:489-498.
- [18] 万翠,姚锋娜,郭恒,等. 植物生长调节剂调环酸钙的应用与发展现状[J]. 现代农药,2016,15(5):1-4.
- [19] 汤寓涵. 调环酸钙和丁酰肼对芍药花色影响的生理机制研究[D]. 江苏:扬州大学,2018:18-34.
- [20] 李昌珠,李正茂. 植物脂肪酸的生物合成及其生理功能的研究进展[J]. 湖南林业科技,2009,36(6):45-49.
- [21] 马林. 植物对氨基酸的吸收和利用[J]. 西南科技大学学报,2004,19(1):102-107.