



周琦,赵峰,张慧会,等.香水莲花色色素成分及含量的初步研究[J].黑龙江农业科学,2021(4):72-78.

香水莲花色色素成分及含量的初步研究

周琦¹,赵峰²,张慧会³,祝遵凌^{3,4}

(1.江苏开放大学 环境生态学院,江苏 南京 210017;2.江苏开放大学 建筑工程学院,江苏 南京 210017;3.南京林业大学 风景园林学院,江苏 南京 210037;4.南京林业大学 艺术设计学院,江苏 南京 210037)

摘要:为分析香水莲花色色素成分,探讨不同花色的形成机理,以不同色系香水莲花花瓣为试验材料,通过对花瓣中花色色素类型进行定性分析、特征显色反应及紫外-可见光谱扫描分析,结合花色色素苷和总黄酮含量的检测,对香水莲花色色素成分及含量进行了初步分析。结果表明:不同品系香水莲花的花色素属于类黄酮化合物,具体含有黄酮及花色色素苷类物质,花瓣中不含叶绿素、类胡萝卜素和橙酮;紫花型和粉花型香水莲花的花色是源于花色色素苷类色素,黄花型香水莲花的总黄酮含量显著高于其他色系。

关键词:香水莲花;花色色素;颜色反应;类黄酮;花色色素苷

花色是观赏植物最重要的性状之一,花色素在植物中广泛存在,赋予自然绚丽的色彩。植物的花色受多种因素的影响,如花瓣中所含的色素种类、色素含量、花瓣表层及内部结构,以及外界环境等因素^[1],其中对花色形成产生最大影响的因素主要是花色素的化学成分和含量^[2]。关于植物花色色素成分的研究主要集中在陆地花卉,如文心兰^[3]、梅花^[4]、蜡梅^[5]、杜鹃^[6]、山茶花^[7]、月季^[8]等植物,涉及水生花卉的花色研究相对较少。天然色素的成分与含量是不同植物色素形成的物质基础,对植物的花色育种和开发利用具有重要意义。

香水莲花(*Nymphaea hybrid*),是睡莲科睡莲属珍贵水生植物,在我国华东、华南和南部沿海地区均有种植^[9]。其花色多变,有黄色、粉色、紫色、白色等9种不同色系,观赏价值极高,所以民间也称之为“九品香莲”^[10]。香水莲花香气浓郁,是芳香类植物的优良种质资源^[11]。花朵中含有丰富的氨基酸和矿质元素等,在食品和茶饮中也具有广泛的应用价值,是一种色香味俱佳的花

卉^[12-13]。目前,国内对香水莲花的研究主要集中在其栽培技术^[14]、花粉特性^[15-16]、体内化学物质成分^[17]、提取物生物活性^[18-19]等方面,而关于香水莲花花色素成分的相关研究报道较少。香水莲花花色素的探索是香水莲花研究中的薄弱环节,制约其分子育种和花色基因工程改良。因此,本文通过研究香水莲花不同品系中具有代表性花色的色素种类组成,为香水莲花花色素的分子结构鉴定、花色的机理研究及花色改良和育种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料香水莲花采自厦门香水莲花种质资源圃,包括香水莲花白色品系中的白花型香水莲花、黄色品系中的黄花型香水莲花、紫色品系中的紫花型香水莲花和粉色品系中的粉花型香水莲花,分别简称为白色香水莲花、黄色香水莲花、紫色香水莲花和粉色香水莲花,以白色香水莲花为对照(图1)。

1.2 方法

1.2.1 种植条件与花期划分 香水莲花的栽植条件一致:均种植于同一规格的种植池(长×宽×深:10 m×20 m×0.5 m)中,用相同的栽培条件(包括土壤、施肥、水质及病虫害防治等措施),各颜色香水莲花在种植池中均已经生长3年;株行距为2 m×2 m;水质的pH为7.8~8.5,总氮(TN)为2.40 mg·L⁻¹,总磷(TP)为0.38 mg·L⁻¹,氨态氮(NH₃-N)为0.55 mg·L⁻¹,硝态氮(NO₃-N)为0.13 mg·L⁻¹。将香水莲花的开花时期分为:

收稿日期:2020-12-04

基金项目:国家自然科学基金(31770752);江苏省“333工程”培养资金资助项目(BRA2018065);江苏省农业科技自主创新资金(CX(16)1005-4-2);江苏省高校自然科学基金项目资助(20KJB220006);江苏开放大学(江苏城市职业学院)“十三五”规划课题(2020-D-01)。

第一作者:周琦(1988—),女,博士,讲师,从事园林植物栽培与应用研究。E-mail:806611458@qq.com。

通信作者:祝遵凌(1968—),男,博士,教授,博导,从事园林植物栽培与应用研究。E-mail:zhuzunling@aliyun.com。

花蕾期(S1,花瓣完全被萼片包裹,花蕾紧实)、初花期(S2,花朵初开)、盛花期(S3,花朵完全开放,可见花心)、末花期(S4,花朵即将凋谢,雄蕊发黑)4个时期。

1.2.2 采样条件 于晴天 8:00,温度 26℃左右,露水刚干时,采集对应开花时期的香水莲花花瓣,



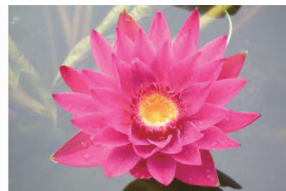
白花型香水莲花



黄花型香水莲花



紫花型香水莲花



粉花型香水莲花

图1 香水莲花试验材料

1.2.3 香水莲花花瓣色素特征颜色反应 香水莲花花色色素类型的定性分析^[20]:选取盛开期的花朵,准确称取花瓣 0.1 g,然后放入具有皮塞的干燥试管中,分别依次在装有香水莲花花瓣粉末的试管中加入石油醚、10.0%盐酸和 30.0%氨水各 5 mL,然后迅速研磨至匀浆,过滤后,观察滤液的颜色。

类黄酮的显色反应^[20]:取不同花色香水莲花的花瓣粉末各 0.1 g,在试管中加入 10 mL 体积比盐酸化甲醇溶液(1:99, v/v)提取 15 h,过滤,定容至 50 mL,各取 2 mL 提取液,进行下列显色反应。

浓盐酸-镁粉反应:在提取液中加入少量镁粉,然后滴入 5 滴浓盐酸,摇匀,然后静置 1 h。

浓盐酸-锌粉反应:在提取液中加入少量锌粉,然后滴入 10 滴浓盐酸,摇匀,然后静置 1 h。

醋酸铅反应:在提取液中加入 1.0% Pb(CH₃COO)·3H₂O 2 mL,摇匀后,再静置 2 h。

三氯化铁反应:加 5.0% FeCl₃·6H₂O 2 mL。

三氯化铝反应:加 1.0% AlCl₃·6H₂O 甲醇溶液 1 mL。

浓硫酸反应:加 1.5 mL 浓硫酸,摇匀,然后置于沸水浴中 5 min,观察并记录。

碱性试剂反应:加 5%的 Na₂CO₃ 3 mL,摇匀,密闭静置 30 min,通空气 10 min。

氨性氯化锶反应:量取 10 mL 甲醇,然后加入氨水定容至 25 mL,即配制成被氨水饱和的甲醇溶液;对样品液加 0.01 mol·L⁻¹ SrCl₂·6H₂O 甲醇液 10 滴,再加被氨水饱和的甲醇液 10 滴,摇

每个颜色的香水莲花取 3 次重复,每个重复取 5 朵分别生长于 5 株对应花色的香水莲花植株上的花,取花朵由外至内的第三轮花瓣,将花瓣立即用锡箔纸包好,液氮保存,然后置于实验室 -80℃冰箱保存备用。

匀,静置 1 h。

硼酸反应:加 1.0% H₂O₂C₄·2H₂O 10 滴,再加 2.0% H₃BO₃ 3 mL。(加 1.5 mL 硼酸,摇匀,再置沸水浴 5 min,观察记录。)

四氢硼钠反应:先加 NaBH₄ 粉末 8 mg,再加 1%浓盐酸 2 mL,静置 2 h,记录。

1.2.4 香水莲花花瓣色素紫外-可见光谱分析 花瓣中叶绿素的测定:取花瓣粉末 0.100 g,用体积比的丙酮乙醇溶液(9:1, v/v)提取,定容至 5 mL,用紫外-可见分光光度计在波长 400~700 nm进行扫描^[21]。

花瓣中类胡萝卜素的测定:取花瓣粉末 0.100 g,用体积比的石油醚丙酮溶液(1:1, v/v)提取,定容至 10 mL,在 200~700 nm 扫描^[21]。

花瓣中类黄酮的检测:取 0.1 g 香水莲花花瓣粉末,黄色和白色香水莲花中加入甲醇 5 mL,置于 4℃冰箱中提取 24 h;紫色和粉色香水莲花中加 1%盐酸化甲醇 5 mL,置于常温(约 25℃)条件下,避光提取 24 h。然后将提取液定容至 10 mL,在波长 220~600 nm 进行扫描^[22-23]。

花色苷含量:为了更准确地比较香水莲花花色苷的含量,本研究选择 3 种测定方法,一是参考 Rabino 等^[24],以每克鲜重的 A₅₃₀-0.25A₆₅₇表示花色苷量;二是参考徐丽萍等^[25],测定 530 nm处的吸光值,以每克鲜样在 10 mL 提取液中的 0.1 OD 为 1 个色素单位,则花色苷含量(mg·g⁻¹)=吸光度/0.1(色素单位);三是采用改进的 Fuleki 等^[26]的方法计算花色苷的含量,则花色苷含量(mg·g⁻¹)=(A₅₃₀×V×n×10)/

98.2×*m*,式中:*A*₅₃₀ 为色素在 530 nm 波长处的吸光度;*V* 为香水莲花花瓣色素提取液定容的体积(mL);*n* 为比色测定时稀释的倍数;98.2 为花色素苷在 530 nm 波长处的平均消光系数;*m* 为香水莲花花瓣的质量(g)。

总黄酮含量:参考赵昶灵等^[4]的方法,以芦丁为对照,配制成不同浓度梯度的芦丁甲醇溶液,再分别加 1.0% AlCl₃·6H₂O 甲醇溶液 10 mL,以 436 nm 为检测波长,测定标准品的吸光值 *A*₄₃₆,计算并绘制标准曲线方程。各取 2 mL 香水莲花花瓣色素提取液,加入 10 mL 1.0% AlCl₃·6H₂O 甲醇溶液进行反应;根据芦丁标准曲线方程,代入并计算香水莲花色素的总黄酮含量。

1.2.5 数据分析 利用 Excel 2011 软件对数据进行统计和图表制作,用 SPSS 22.0 软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 香水莲花花瓣色素特征颜色反应

2.1.1 石油醚、盐酸和氨水显色反应 由表 1 可知,不同颜色香水莲花 4 个时期的花瓣样品在石油醚溶液均表现为无色,说明香水莲花花瓣中不含类胡萝卜素;在盐酸溶液中,紫色和粉色香水莲

表 1 香水莲花色素类型测试的颜色反应

植物名称	发育时期	石油醚	盐酸	氨水
白色香水莲花	S1	无色	浅黄	黄色
	S2	无色	浅黄	黄色
	S3	无色	浅黄	黄色
	S4	无色	浅黄	黄色
黄色香水莲花	S1	无色	浅黄	深黄
	S2	无色	浅黄	深黄
	S3	无色	浅黄	深黄
	S4	无色	浅黄	深黄
紫色香水莲花	S1	无色	粉红	铁锈黄
	S2	无色	粉红	铁锈黄
	S3	无色	粉红	铁锈黄
	S4	无色	粉红	铁锈黄
粉色香水莲花	S1	无色	玫红	铁锈黄
	S2	无色	玫红	铁锈黄
	S3	无色	玫红	铁锈黄
	S4	无色	玫红	铁锈黄

注:S1(花蕾期)、S2(初花期)、S3(盛花期)、S4(末花期),下同。

花分别显粉红和玫红色,表明这两个品系花瓣内含花色素苷成分,而黄色和白色香水莲花显浅黄色,表明含黄酮类物质;加入氨水后,黄色和白色香水莲花显黄色表明含有黄酮色素,而紫色和粉色香水莲花显铁锈黄,说明这两个品系可能含有黄酮醇类化合物,而 4 种香水莲花在氨水测试中均没有出现橙红色或红色,说明香水莲花花色色素中不含橙酮。

2.1.2 类黄酮的显色反应 由表 2 可知,在浓盐酸-镁粉反应中,白色和黄色香水莲分别显无色和黄色,表明可能含有查耳酮或异黄酮;紫色和粉色香水莲花呈现粉红色,表明可能含有黄酮、黄酮醇、二氢黄酮类化合物和花色素苷;在浓盐酸-锌粉反应中,只有紫色和粉色香水莲花呈现粉红色,表明其可能含有黄酮和花色素苷类物质,白色和黄色香水莲花呈淡黄色,说明含有黄酮类物质;在醋酸铅反应中,出现不同程度粉色沉淀和白色沉淀,说明类黄酮物质中可能具有邻二酚羟基,或 4-酮基、3-OH 或 4-酮基、5-OH 结构,能与铅盐生成络合物;在三氯化铁反应中,4 种香水莲花均呈现出不同深浅的黄绿色,说明色素分子中可能含酚羟基;在三氯化铝反应中,黄色香水莲花显示淡黄色,表明含黄酮、黄酮醇;白色香水莲花呈现无色,说明其类黄酮可能含有二氢黄酮醇和黄酮类,紫色和粉色香水莲花显示淡粉色,表明含花色素苷的成分;在浓硫酸反应中,白色和黄色香水莲显示棕黄色,表明含有黄酮、黄酮醇类化合物,紫色和粉色香水莲显示棕红色,表明含花色素苷类物质;在碳酸钠反应中,不同品系都先表现为淡黄色或黄色,通入空气之后颜色没有发生变化,表明其中可能不含二氢黄酮类化合物;在氨性氯化锆反应中,紫色、粉色和黄色这 3 个品系均出现棕色沉淀,表明香水莲花色素中含有邻二酚羟基结构,而白色花中未出现沉淀,表明不含该结构;在硼酸反应中,紫色、粉色和白色花在硼酸反应中为淡粉、淡紫或无色,说明这 3 种香水莲花花色色素中的黄酮可能不含 C₅-OH,而黄色香水莲花呈现淡黄色,表明其中可能含 C₅-OH 和 2'-羟基查尔酮;在四氢硼钠反应中(该反应是鉴别二氢黄酮类专属较高的反应),黄色和白色香水莲花分别呈现淡黄色和无色,证实花色色素中不含二氢黄酮和二氢黄酮醇;而紫色和香水莲花呈现粉色,表明可能含有二氢黄酮类化合物。

表 2 特征颜色反应结果

植物名称	发育时期	盐酸-镁粉	盐酸-锌粉	醋酸铅	三氯化铁	三氯化铝	浓硫酸	碳酸钠	氨性氯化锶	硼酸	四氢硼钠
白色香水莲花	S1	无色	淡黄	白色沉淀	黄绿色	无色	棕黄	淡黄	淡黄	无色	无色
	S2	无色	淡黄	白色沉淀	黄绿色	无色	棕黄	淡黄	淡黄	无色	无色
	S3	无色	淡黄	白色沉淀	黄绿色	无色	棕黄	淡黄	淡黄	无色	无色
	S4	无色	淡黄	白色沉淀	黄绿色	无色	棕黄	淡黄	淡黄	无色	无色
黄色香水莲花	S1	浅黄	浅黄	白色沉淀	黄绿色	淡黄	棕黄	黄色	棕黄色沉淀	淡黄	淡黄
	S2	淡黄	淡黄	白色沉淀	黄绿色	淡黄	棕黄	黄色	棕黄色沉淀	淡黄	淡黄
	S3	淡黄	淡黄	白色沉淀	黄绿色	淡黄	棕黄	黄色	棕黄色沉淀	淡黄	淡黄
	S4	淡黄	淡黄	白色沉淀	黄绿色	淡黄	棕黄	黄色	棕黄色沉淀	淡黄	淡黄
紫色香水莲花	S1	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡粉	淡粉
	S2	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡粉	淡粉
	S3	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡粉	淡粉
	S4	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡粉	淡粉
粉色香水莲花	S1	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡紫	淡粉
	S2	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡紫	淡粉
	S3	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡紫	淡粉
	S4	淡粉	淡粉	淡粉沉淀	黄绿色	淡粉	棕红	淡黄	棕黄色沉淀	淡紫	淡粉

2.2 香水莲花花瓣色素紫外-可见光谱分析

2.2.1 叶绿素的测定 由图 2 可知,不同品系在 663 和 645 nm 处均没有吸收峰,进一步证明香水莲花花瓣中不含叶绿素。

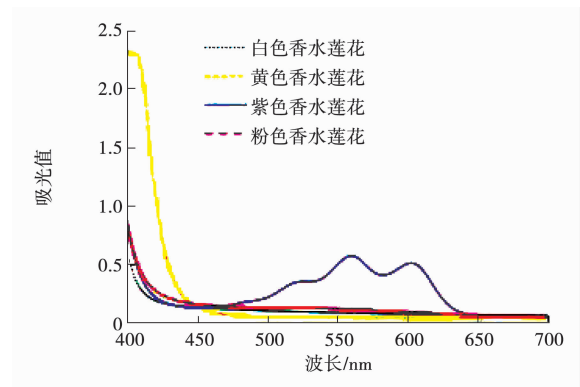


图 2 香水莲花花瓣叶绿素的光谱

2.2.2 类胡萝卜素的测定 由图 3 可知,不同品系在 440 和 470 nm 处均没有吸收峰,进一步证实香水莲花花瓣中不含类胡萝卜素。

2.2.3 类黄酮的测定 花色素苷一类属于水溶性黄酮类色素,广泛存在于大部分植物的液泡之中,能带来各种各样的颜色,赋予植物万紫千红的色彩,其中不包括绿色。

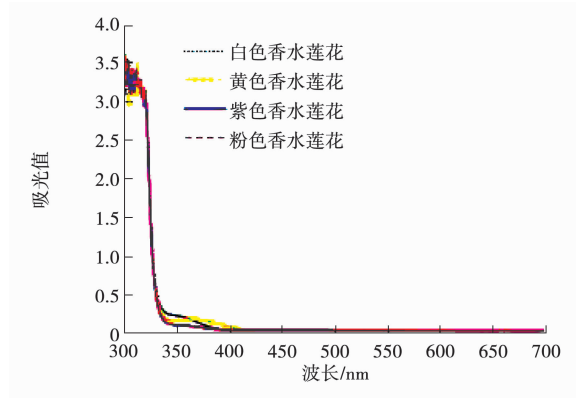


图 3 香水莲花花瓣类胡萝卜素的光谱

由图 4 可知,白色和黄色香水莲花所含的色素较为单一,仅在波长为 270 和 350 nm 处的附近出现了吸收峰,这些是黄酮类化合物的特征吸收峰,表明这两种植物花瓣含有黄酮类化合物;紫色和粉色香水莲花除了在 350 和 270 nm 处有吸收峰之外,在 530 nm 附近处也出现了吸收峰,表明紫色和粉色香水莲花花瓣中含有花色素苷和黄酮类物质。

2.2.4 花色素苷和总黄酮含量的测定 由表 3 可知,黄色和白色香水莲花花瓣中不含花色素苷成分;紫色和粉色香水莲花的花色素苷含量因检

测方法不同存在差异,但在花蕾期(S1),含量均高于其他时期,且随着开花时期的延长,花色素苷含量均呈下降的趋势,在末花期含量最小。其中,紫色香水莲花在末花期,花色素苷含量与花蕾期差异显著;粉色香水莲花在不同花期,花色素苷含量均与花蕾期达到极显著差异($P<0.01$),到末花期,下降幅度均达到50%以上。芦丁标准样曲

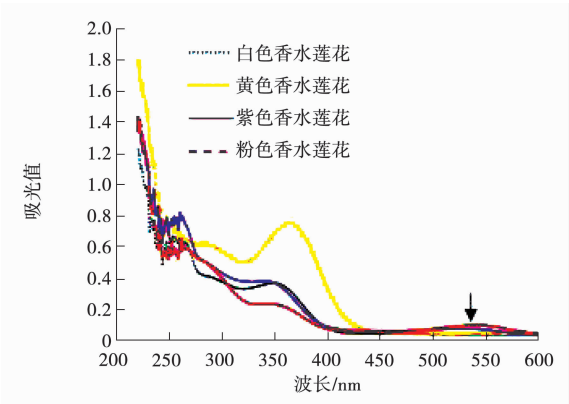


图4 香水莲花花瓣类黄酮的光谱

线方程为 $y=1.494x+0.087$, $R^2=0.9943$;其中 y 为芦丁浓度($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$), x 为 436 nm 处的吸光值,标准曲线详见图 5。以 A_{436} 测定香水莲花不同颜色花朵总黄酮含量,由表 3 可知,4 个品系均含有黄酮类化合物。黄色香水莲花中总黄酮的含量要明显高于其他颜色的香水莲花,紫色香水莲花总黄酮含量最低,不同品系总黄酮含量在花蕾期和初花期要高于盛花期和末花期。黄色香水莲花花瓣中总黄酮含量在不同发育时期均达到极显著差异。

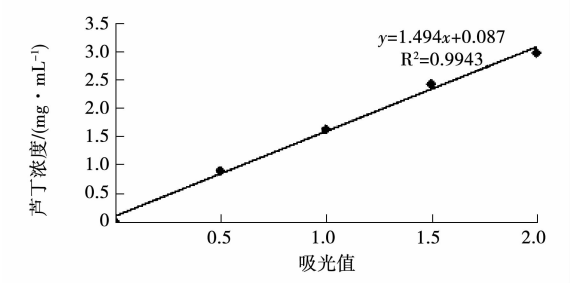


图5 芦丁标准曲线

表3 香水莲花花瓣中花色素苷和总黄酮含量

植物名称	发育时期	花色素苷含量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)			总黄酮含量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
		$A_{530}-0.25A_{657}$	A_{530}	$(A_{530}\times V\times n\times 10)/98.2\times m$	
白色香水莲花	S1	-	-	-	7.08 ± 1.67 Aa
	S2	-	-	-	7.25 ± 2.11 Aa
	S3	-	-	-	6.93 ± 1.79 Bb
	S4	-	-	-	6.76 ± 1.26 Bb
黄色香水莲花	S1	-	-	-	15.68 ± 2.68 Bb
	S2	-	-	-	16.70 ± 2.96 Aa
	S3	-	-	-	14.00 ± 3.23 Cc
	S4	-	-	-	10.49 ± 1.88 Dd
紫色香水莲花	S1	1.69 ± 0.13 Aa	1.84 ± 0.54 Aa	1.94 ± 0.45 Aa	5.47 ± 1.26 Aa
	S2	1.58 ± 0.25 Ab	1.73 ± 0.27 Aa	1.81 ± 0.28 Aa	5.78 ± 1.09 Aa
	S3	1.61 ± 0.43 Aa	1.74 ± 0.43 Aa	1.78 ± 0.67 Ab	5.21 ± 0.98 Aa
	S4	1.56 ± 0.31 Ab	1.62 ± 0.51 Ab	1.73 ± 0.53 Ab	5.06 ± 1.32 Ab
粉色香水莲花	S1	3.37 ± 0.89 Aa	3.65 ± 0.96 Aa	3.84 ± 1.08 Aa	7.76 ± 1.65 Aa
	S2	2.16 ± 0.66 Bb	2.31 ± 0.89 Bb	2.44 ± 0.91 Bb	7.83 ± 1.24 Aa
	S3	1.52 ± 0.56 Cc	1.67 ± 0.51 Cc	1.94 ± 0.28 Cc	6.33 ± 0.87 Bb
	S4	1.46 ± 0.23 Cc	1.59 ± 0.49 Cc	1.77 ± 0.78 Cc	5.75 ± 0.69 Cc

注:不同大小写字母分别表示差异显著达 $P<0.01$ 或 $P<0.05$ 水平。

3 结论与讨论

前人研究发现,植物中已知的花色素种类包括3类,分别是类黄酮、类胡萝卜素和生物碱,而类黄酮化合物则是植物最主要的一类色素^[27]。类黄酮在植物的花朵和果实中的种类和含量都十分丰富,是植物体类次生代谢产物之一,其主要功能之一便是赋予植物的花、果实等具有不同的颜色,从而使之能够吸引昆虫传粉^[28]。目前,已经确认的类黄酮种类有4 000多种,主要包括黄酮类、黄酮醇类、异黄酮类、二氢黄酮类、二氢黄酮醇类、查尔酮类、橙酮类和花青素类等13类^[29-30],可形成红、黄、蓝、紫等各种不同颜色。李辛雷等^[31]通过研究山茶的色素,发现杜鹃红山茶花瓣中的花色素为黄酮类化合物,其中红色主要是源自于花色素及其苷。王玉玲等^[32]、钟淮钦等^[33]分别对龙船花、小苍兰的花色素成分进行初步研究,发现这两种植物的花色素均属于类黄酮化合物,含黄酮和花色素苷类物质。

本试验对不同色系香水莲花的色素成分的初步分析表明,香水莲花花瓣中的色素属于类黄酮化合物,含有黄酮及花色素苷类物质。其中,黄色和白色香水莲花的色素物质主要是黄酮类物质,紫色和粉色香水莲花主要是黄酮和花色素苷物质;花瓣中不含叶绿素、类胡萝卜素和橙酮,可能含有4-酮基、3-OH或4-酮基、5-OH结构的黄酮类化合物。通过对花色素苷和黄酮含量的定量分析,发现紫色和粉色的花色是源于花色素苷类色素,黄色香水莲花的总黄酮含量显著高于其他色系。有研究表明,红、紫色等色彩受花青苷种类及含量的影响较大,而黄色则因植物种类差异,受类黄酮或类胡萝卜素等不同物质的影响较大^[34],本研究结果进一步证实了这些结果。在报春花属植物花色的研究中,也发现红色系和紫色系种类的花青苷含量特别高,影响其花瓣的呈色^[35],与本研究结果相似。邓娇^[36]对睡莲科莲属的两个种莲(*Nelumbo nucifera*)和美洲黄莲(*Nelumbo lutea*)的花瓣色素进行研究,解析了不同花色莲种质资源的花色变异的机理,也为本研究进一步探析香水莲花类黄酮色素成分提供参考。

综上所述,决定香水莲花花色的色素成分主要是类黄酮化合物,且颜色的深浅与其花色素及苷类的含量关系密切。本研究的试验方法较简单实用,可以初步判断香水莲花花色的色素成分,在今后的研究中,还应结合高效液相色谱、质谱和核

磁共振等技术手段,进一步鉴定色素的成分及结构,为香水莲花花色基因的改良,以及培育更加丰富多彩的色系品种提供参考。

参考文献:

- [1] Qi Y, Lou Q, Li H, et al. Anatomical and biochemical studies of bicolored flower development in *Muscari latifolium* [J]. *Protoplasma*, 2013, 250(6): 1273-1281.
- [2] 伏静, 戴思兰. 基于高光谱成像技术的菊花花色表型和色素成分分析[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(8): 88-98.
- [3] 李崇晖, 黄少华, 黄明忠, 等. 文心兰唇瓣花色表型及类黄酮色素组成[J]. 热带作物学报, 2013, 34(6): 1133-1138.
- [4] 赵昶灵, 郭维明, 陈俊愉. 梅花花色色素种类和含量的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 2004(2): 68-73.
- [5] 周明芹, 向林, 陈龙清. 蜡梅花香及花色色素成分的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 2007(S1): 22-25.
- [6] 戴亮芳, 温秀芳, 罗向东. 不同花色杜鹃花色素成分与稳定性分析研究[J]. 安徽农业科学, 2013(14): 6455-6458.
- [7] Caibi Z, Xin M, Dylan O N R, et al. Metabolome and transcriptome analysis reveals putative genes involved in anthocyanin accumulation and coloration in white and pink tea (*Camellia sinensis*) flower [J]. *Molecules*, 2020, 25(1): 190-191.
- [8] 王峰, 杨树华, 刘新艳, 等. 月季种质资源花色多样性及其与花青苷的关系[J]. 园艺学报, 2017, 44(6): 1125-1134.
- [9] 苏群, 卜朝阳, 张进忠, 等. 我国睡莲研究现状及展望[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 79-83.
- [10] 黄家祥. 四季开花——香水莲 [J]. 北方园艺, 2005(3): 44.
- [11] Qi Z, Ying Z, Jinfeng S, et al. Study of volatiles from flowers of *Nymphaea hybrida* by HS-SPME-GC-MS [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2019, 55(5): 951-952.
- [12] 周琦, 祝遵凌. 香水莲花茶氨基酸组成及矿质元素分析评价[J]. 热带作物学报, 2018, 39(11): 2296-2303.
- [13] 金敬红, 张卫明. 香水莲花的食用安全性研究[J]. 中国野生植物资源, 2015(1): 5-9.
- [14] 赵福康. 不同施肥模式对香水莲生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2015(2): 115-116.
- [15] 张慧会, 周琦, 郭力宇, 等. 香水莲花花粉的采集、干燥和贮藏特性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(5): 139-145.
- [16] 张慧会, 祝遵凌. 香水莲花花粉活力测定最适培养条件分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(2): 553-560.
- [17] 丛恒雪, 胡国胜, 王文翠, 等. 香水莲花多糖粗提物的除蛋白及抗氧化活性研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2018, 36(6): 45-49.
- [18] 董柳青, 周琛媛, 赵波, 等. 香水莲花提取物对小鼠高脂膳食诱导肥胖的预防作用[J]. 中国食品学报, 2019, 19(2): 21-26.
- [19] 王微, 叶虔臻, 项婷, 等. 香水莲花提取物对东莨菪碱诱导记忆障碍小鼠学习记忆能力的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(2): 299-305.
- [20] 高锦明. 植物化学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2012.

- [21] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [22] 马卡姆. 黄酮类化合物结构鉴定技术[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [23] 唐浩国. 黄酮类化合物研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [24] Rabino I, Mancinelli A L. Light, temperature, and anthocyanin production [J]. Plant Physiology, 1986, 81 (3): 922-924.
- [25] 徐丽萍, 喻方圆. 东京野茉莉花色成分的初步研究[J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(5): 935-939.
- [26] 王锋, 邓洁红, 谭兴和, 等. 花色苷及其共色作用研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 472-476.
- [27] 张圆圆, 齐冬梅, 刘辉, 等. 观赏向日葵的花色多样性及其与花青苷的关系[J]. 园艺学报, 2008(6): 863-868.
- [28] Winkelshirley B. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology[J]. Plant Physiology, 2001, 126(2): 485-493.
- [29] Andersen O M, Markham K R. Flavonoids: Chemistry, biochemistry and applications [M]. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [30] 谭仁祥. 植物成分分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [31] 李辛雷, 李纪元, 范正琪, 杜鹏. 红山茶花色色素成分初步研究[J]. 上海农业学报, 2012, 28(1): 82-85.
- [32] 王玉玲, 童丽娟. 龙船花的色素成分初步分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(11): 30-33.
- [33] 钟淮钦, 陈源泉, 黄敏玲, 等. 小苍兰花色色素成分及稳定性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(6): 571-577.
- [34] Liu L, Zhang L, Wang L. Analysis of anthocyanins and flavonols in petals of 10 *Rhododendron* species from the Sengge Mountains in Southeast Tibet[J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2016, 104: 250-256.
- [35] 刘林, 张良英, 张丽华, 等. 色季拉山 9 种报春花属植物的花色初步分析[J]. 种子, 2018, 37(10): 61-63.
- [36] 邓娇. 莲花瓣类黄酮色素分析及莲花瓣着色机理研究[D]. 武汉: 中国科学院研究生院(武汉植物园), 2015.

Preliminary Study on Composition and Content of Flower Pigment of *Nymphaea hybrid*

ZHOU Qi¹, ZHAO Feng², ZHANG Hui-hui³, ZHU Zun-ling^{3,4}

(1. College of Environment and Ecology, Jiangsu Open University, Nanjing 210017, China; 2. College of Architectural Engineering, Jiangsu Open University, Nanjing 210017, China; 3. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 4. College of Arts & Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to analyze the pigment components of *Nymphaea hybrid* flower, and discuss the formation mechanism of different colors, taking petals of different color *Nymphaea hybrid* flowers as test materials, the anthocyanins and total flavonoids content in flower petals were qualitatively analyzed, characterized by color reaction and ultraviolet visible spectrum, and the contents and components of anthocyanins in *Nymphaea hybrid* flower were analyzed preliminarily. The results showed that the anthocyanins of different strains of *Nymphaea hybrid* flowers belonged to flavonoid compounds, which contained flavonoids and anthocyanins, and chlorophyll, carotenoids and oranges were not found in the petals. The anthocyanin pigments from purple and pink flower type *Nymphaea hybrid* flowers were derived from anthocyanins, and the total flavonoids content of yellow flower type *Nymphaea hybrid* was significantly higher than that of other colors.

Keywords: *Nymphaea hybrid*; flower pigment; color reaction; flavonoids; anthocyanins

协办单位

黑龙江省农业科学院水稻研究所
黑龙江省农业科学院克山分院
黑龙江省农业科学院黑河分院
黑龙江省农业科学院绥化分院
黑龙江省农业科学院佳木斯分院
黑龙江省农业科学院牡丹江分院
内蒙古丰垦种业有限责任公司