

5 个山茶品种的叶色变化及相关生理研究

郭卫珍¹, 张亚利¹, 王 荷², 刘 燕³, 奉树成¹

(1. 上海植物园 上海城市植物资源开发应用工程技术研究中心, 上海 200231; 2. 苏州农业职业技术学院, 江苏 苏州 215008; 3. 北京林业大学 园林学院, 北京 100083)

摘要: 为探讨山茶 *Camellia* 品种的叶色变化规律及相关生理, 以 5 个品种 10~15 年生的植株为材料, 在叶片变色期间, 统计其叶片的变色率, 每隔 30 d 测定其叶片的光合色素、花青苷、可溶性糖和可溶性蛋白质量分数。结果表明: 冬季‘玫玉’‘Mei Yu’和‘小粉玉’‘Xiao Fenyu’的叶片分别呈现古铜红色和赭色, 叶片变色率分别为 70%和 60%, 两者在冬季叶色方面均具有较高的观赏价值; 5 个品种春季嫩叶均为鲜红色, 红叶期可持续 1 个月左右。花青苷质量分数的变化是山茶叶色变化的关键因素。在冬季, 5 个品种叶片中的可溶性蛋白质与 3 种色素的合成没有直接关系, 而‘玫玉’和‘小粉玉’叶片中的可溶性糖与花青苷之间存在着极显著的正相关; 在春季, 新叶中的可溶性糖质量分数显著低于冬季老叶片, 可溶性蛋白质质量分数则高于冬季老叶片。图 7 表 4 参 19

关键词: 树木生理学; 山茶; 叶色; 花青苷; 可溶性糖

中图分类号: S718.43

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2015)05-0729-07

Leaf color transformation and related physiological changes for five *Camellia* cultivars

GUO Weizhen¹, ZHANG Yali¹, WANG He², LIU Yan³, FENG Shucheng¹

(1. Shanghai Research Center of Urban Plant Resources Development and Application & Engineering and Technology, Shanghai Botanical Garden, Shanghai 200231, China; 2. Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture, Suzhou 215008, Jiangsu, China; 3. College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To study leaf color changes and their relationship to physiological indexes, five *Camellia* cultivars with 10–15 years of age were used to measure leaf color rate of change, the contents of photosynthetic pigments, anthocyanin, soluble sugar, and soluble protein. Leaves were measured every 30 d during the color-changing period. Results showed that in winter for old leaves of ‘Mei Yu’, 70% changed to a bronze red color; whereas for ‘Xiao Fenyu’ 60% changed to an ochre color, both of them have high ornamental value in winter. New spring leaves of the five cultivars were bright red with the red period lasting up to 1 month. Anthocyanin content was the key factor in leaf color change. In winter, soluble protein had no direct relationship on the photosynthetic pigments and anthocyanin; whereas, a positive relationship between soluble sugar content and anthocyanidin content was found with ‘Mei Yu’ and ‘Xiao Fenyu’. Soluble sugar content for new spring leaves was lower than old winter leaves, and soluble protein content in spring leaves was higher than old winter leaves. [Ch, 7 fig. 4 tab. 19 ref.]

Key words: tree physiology; *Camellia*; leaf color; anthocyanin; soluble sugar

收稿日期: 2014-11-18; 修回日期: 2015-01-29

基金项目: 上海市科委科研项目(11391901102); 上海市绿化和市容管理局 2014 年科技项目辰山专项(G142436)

作者简介: 郭卫珍, 助理工程师, 从事园林植物栽培应用等研究。E-mail: shouhudaocaoren@163.com。通信作者: 奉树成, 高级工程师, 从事观赏植物资源创新与应用。E-mail: 846058770@qq.com

山茶属 *Camellia* 植物为山茶科 *Camelliaceae* 常绿灌木或乔木，是中国传统的观赏花卉，也是世界名花之一。关于山茶属的研究主要集中在分类系统^[1]、栽培^[2]、种质资源调查和新品种培育^[3-5]等方面，而关于山茶变色期间相关生理的研究较少，且缺乏转色期色素与相关生理指标关系方面的研究。上海植物园以连蕊茶组原种为亲本，通过杂交育种培育出的 5 个山茶品种除了具有观花特性之外，其色叶突出，观赏性极高，冬季老叶片由绿色逐渐变为红色，期间红叶期可持续 2~3 个月；春季新萌发的嫩叶鲜红色，红叶期能保持 1 个月左右，弥补了山茶属彩叶植物的缺乏，对于落叶季相色彩单调、花果少的冬、初春是很好的点缀。目前，尚未对 5 个品种叶色变化规律及相关生理基础进行系统研究。本试验重点对其叶片的变色情况、色素质量分数及相关生理指标进行了研究，为进一步探讨 5 个品种冬春叶色变化的规律和生理机制奠定基础，为其栽培措施的制定及推广应用提供理论依据，为中国山茶属资源的开发利用做理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在上海植物园科研基地进行。试验材料选用由‘黑椿’ *Camellia japonica* ‘Kruo-tsubaki’ 和小卵叶连蕊茶 *C. parviovata* 杂交选育获得的 5 个表现差异较大的品种‘玫玉’ ‘Mei Yu’ ‘玫瑰春’ ‘Meigui Chun’ ‘俏佳人’ ‘Qiao Jiaren’ ‘小粉玉’ ‘Xiao Fenyu’ 以及‘垂枝粉玉’ ‘Cuizhi Fenyu’。选用 10~15 年生苗，3 株·品种⁻¹，植株的长势、形态、大小基本一致，叶片变色和开花正常，无病虫害。具体品种信息见表 1。

表 1 5 个山茶品种的叶色和开花情况

Table 1 Leaf color and flowers of five camellia cultivars

品种	冬色叶	春色叶	开花情况
‘玫玉’	叶片古铜红色，1 月和 2 月为最佳观赏期	鲜红色，持续 1 个月	玫瑰红，花量多，花期 1 月上旬到 3 月下旬
‘玫瑰春’	叶片红褐色，2 月为最佳观赏期	鲜红色，持续 1 个月	玫瑰红，半重瓣，花量多，花期 2 月下旬到 4 月
‘俏佳人’	叶片橘褐色，2 月为最佳观赏期	鲜红色，持续 1 个月	白粉色，重瓣，花量多，花期 2 月中旬到 3 月下旬
‘小粉玉’	叶片赭色，2 月为最佳观赏期	鲜红色，持续 1 个月	白粉色，单瓣，花量多，花期 2 月下旬到 4 月
‘垂枝粉玉’	叶片在冬季不变色，保持绿色	鲜红色，持续 1 个月	白粉色，花量多，花期 2 月下旬到 3 月下旬

1.2 试验方法

从 2012 年 10 月到 2014 年 5 月，对 5 个品种冬季叶片和春季新叶的叶色变化进行定期观察和测定。

1.2.1 种植地气温监测 采用德国 Testo-174T 温度记录仪对上海植物园科研基地进行实时监控，气温 15 min 自动采集 1 次。由获得的数据可知：上海植物园科研基地在 12 月昼夜温差较大，白天温度较高，晚上温度较低。随着白天温度的降低，12 月底昼夜温差开始变小。其中日最低气温出现在次年 1 月 23~26 日。2 月 20 日之后夜晚温度达到了 0℃以上，3 月初之后昼夜气温均开始迅速上升。

1.2.2 叶片变色率的统计 每个植株选取东、西、南、北、中等 5 个方位的具有代表性的枝条，统计每个枝条的叶片总数 Y ，并定期统计变色的叶片数 y ，单个叶片的变色面积超过 30% 时记为该叶片变色，该植株的叶片变色率 $T_1 = (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5) / (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5) \times 100\%$ 。重复 3 株·品种⁻¹，取平均值。

1.2.3 叶片变色期生理指标的测定 在测定之前，分别在每个植株的东、西、南、北、中等 5 个方位选取光照强度相同的叶片进行标记。从 2012 年 10 月~2013 年 4 月，隔 30 d 测定 1 次生理指标。每次取样，分别在各个方位的已标定叶片的周围选取 8 片叶来进行生理指标的测定，选取叶片的颜色参照已经标记好的叶片，重复 3 株·品种⁻¹。叶绿素质量分数的测定采用丙酮浸提^[6]；花青苷质量分数的测定采用盐酸甲醇浸提法^[7]；可溶性糖质量分数的测定采用蒽酮比色法；可溶性蛋白质量分数的测定采用考马斯亮蓝 (G-250) 法。

1.3 数据分析

使用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行数据分析，使用 Origin 8.5 和 Microsoft Excel 2003 软件作图。

2 结果与分析

2.1 冬季叶色的动态变化分析

2.1.1 叶片的变色率 5 个山茶品种叶片变色不均匀, 就单个老叶片来说, 叶片从边缘开始变色, 随着叶色程度的加深, 逐渐向叶脉中部扩展。就整株来说, 随着单叶变色数量和程度的增加, 其观赏性增强。由图 1 可以看出: ‘玫玉’和‘小粉玉’从 11 月开始零星变色, 且随着昼夜温差的加大, 叶片变色率迅速增加, 变色时间持续近 4 个月, 且当 2 月出现日最低气温的时候, 2 个品种叶片的变色率达到了最大, 分别为 70% 和 60%, 其中 1 月和 2 月为‘玫玉’的最佳观赏期, 而‘小粉玉’仅 2 月为其最佳观赏期, 到了 3 月夜温达到了 0℃ 以上, 且白天的气温开始迅速上升, 两者叶片均开始复绿; ‘玫瑰春’和‘俏佳人’从次年 1 月才开始零星变色, 3 月已经开始转绿, 变色时间仅持续 2 个月, 且变色率最高仅分别达到 30% 和 20%; ‘垂枝粉玉’冬季叶片未发生变色, 一直保持绿色。

2.1.2 叶绿素质量分数的变化 叶绿素是高等植物叶片中的重要组成色素。如图 2 可以看出: 在冬季, ‘垂枝粉玉’的叶片保持绿色, 其叶绿素质量分数较为稳定, 先是逐渐缓慢的上升, 后在 3 月达到了最高值; ‘玫玉’的叶绿素质量分数先呈明显的下降趋势, 在 11 月和翌年 1 月期间呈上升趋势, 2 月呈现急剧上升; ‘小粉玉’先略微下降后缓慢上升; ‘玫瑰春’和‘俏佳人’在 12 月以前先上升, 1 月呈下降趋势, 2 月以后即缓慢上升。5 个山茶品种叶绿素质量分数的变化趋势略有不同, 但均在 3 月达到了最大值。

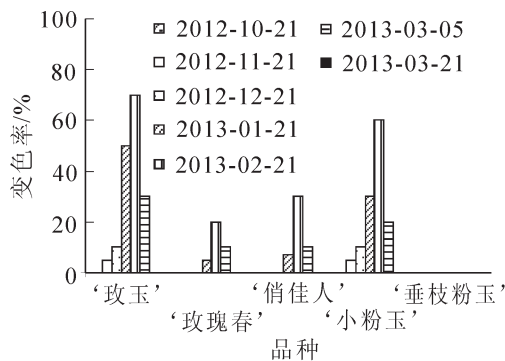


图 1 5 个山茶品种冬季叶片的变色率

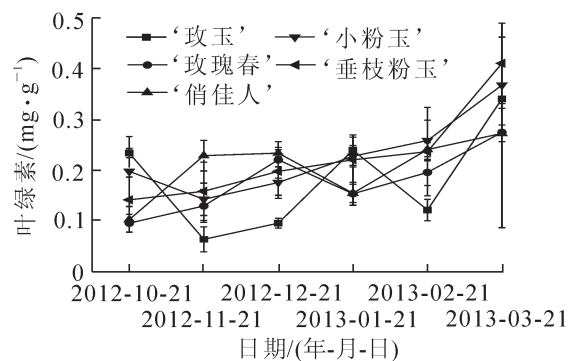


图 2 5 个山茶品种冬季变色期叶绿素质量分数的变化

Figure 1 Leaf color change rate of five cultivars in winter

Figure 2 Dynamic changes of chlorophyll content of five cultivars during color-changing period in winter

2.1.3 类胡萝卜素质量分数的变化 5 个山茶品种在冬季叶色表达期类胡萝卜素质量分数的变化趋势如图 3 所示, ‘垂枝粉玉’在 11 月和 1 月期间呈显著上升, 而在 2 月和 3 月时则缓慢上升; ‘玫玉’和‘小粉玉’先急剧下降再急剧上升, 1 月之后缓慢上升; ‘玫瑰春’先急剧上升, 12 月下降之后呈平缓趋势; ‘俏佳人’在 1 月以后急剧上升; 5 个品种的类胡萝卜素质量分数均在 3 月达到了最大值。但类胡萝卜素的质量分数均明显比叶绿素质量分数低。

2.1.4 花青苷质量分数的变化 花青素属于酚类物质, 它在植物体内通常与糖结合为花青苷, 使植物叶片呈现出丰富的色彩^[8], 并具有光破坏防御能力^[9-10]。如图 4 所示, 其中‘玫玉’和‘小粉玉’的花青苷质量分数从 11 月开始逐渐上升, 在 2 月达到了最高值, 并显著高于其他 3 个品种, 3 月其质量分数急剧下降; ‘玫瑰春’和‘俏佳人’的花青苷质量分数变化较为稳定, 仅在 2 月时略有增加, 3 月即呈下降趋势; ‘垂枝粉玉’的花青苷质量分数在 12 月和次年 1 月均为最低。

2.2 春季新叶叶色的分析

2.2.1 新叶的变色情况 ‘玫玉’和‘小粉玉’新叶抽出时间较早, 为 4 月中下旬, ‘俏佳人’和‘垂枝粉玉’于 4 月下旬抽出新叶, ‘玫瑰春’新叶抽出时间较晚, 5 月初萌发新叶。5 个品种春季萌发的新叶均为鲜红色, 随着气温的升高, 新叶逐渐变为粉红色, 最后全部转变成绿色。虽然 5 个品种新叶萌发的时间略有差异, 但均能持续 1 个月左右的红叶期。

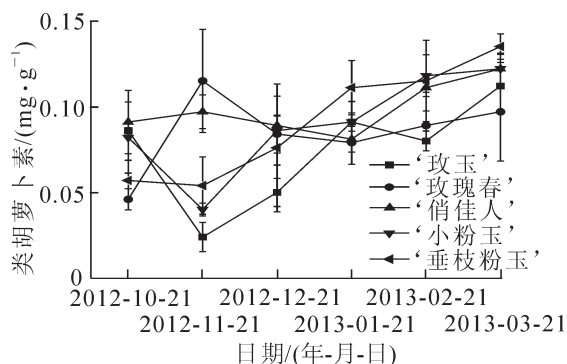


图 3 5 个山茶品种冬季变色期类胡萝卜素质量分数的变化

Figure 3 Dynamic changes of carotenoids content of five cultivars during color-changing period in winter

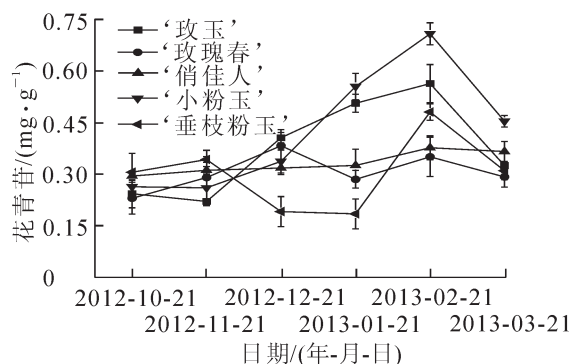


图 4 5 个山茶品种冬季变色期花青苷质量分数的变化

Figure 4 Dynamic changes of anthocyanin content of five cultivars during color-changing period in winter

2.2.2 新叶的色素质量分数 5 个山茶品种春季新萌发的嫩叶由鲜红色转为绿色发生在 1 个月内, 对其鲜红色叶片的色素质量分数进行了测量。由表 2 可见: ‘小粉玉’ 新叶的叶绿素和类胡萝卜素质量分数显著高于其他 4 个品种, ‘俏佳人’ 新叶的叶绿素质量分数最低; 5 个品种春季新叶的花青苷质量分数显著高于冬季叶片变色期间的花青苷质量分数。由方差分析可知: ‘俏佳人’ 新叶的花青苷质量分数显著高于其他 4 个品种, 而 ‘小粉玉’ 新叶的花青苷质量分数最少。

2.3 叶片变色期 3 种色素质量分数百分比的变化

叶色是各种色素综合作用的最终表达, 色素质量分数的比例直接影响着叶片呈现的颜色^[11-12], 图 5 直观地展现了冬季(10 月到翌年 3 月)和春季(翌年 4 月)5 个山茶品种叶片的 3 种色素质量分数百分比(类胡萝卜素: 叶绿素: 花青苷), 其中 ‘玫玉’ 和 ‘小粉玉’ 冬季叶片的 3 种色素质量分数百分比变化较大, 花青苷所占的比例在 1 月和 2 月达到了最高, 类胡萝卜素: 叶绿素: 花青苷质量分数比值为 1:

表 2 5 个山茶品种春季新叶色素质量分数

Table 2 Pigment content of five camellia cultivars in spring

品种	叶绿素/ (mg·g ⁻¹)	类胡萝卜素/ (mg·g ⁻¹)	花青苷/ (mg·g ⁻¹)
‘玫玉’	0.257 ± 0.023 bc	0.082 ± 0.007 b	0.710 ± 0.053 bc
‘玫瑰春’	0.285 ± 0.035 bc	0.071 ± 0.010 b	0.707 ± 0.085 bc
‘俏佳人’	0.238 ± 0.065 c	0.071 ± 0.018 b	0.940 ± 0.129 a
‘小粉玉’	0.436 ± 0.057 a	0.127 ± 0.015 a	0.626 ± 0.056 c
‘垂枝粉玉’	0.336 ± 0.048 b	0.081 ± 0.011 b	0.819 ± 0.098 ab

说明: 表中数值等于平均值±标准差, 不同的小写字母表示在 0.05 水平上的差异显著性。

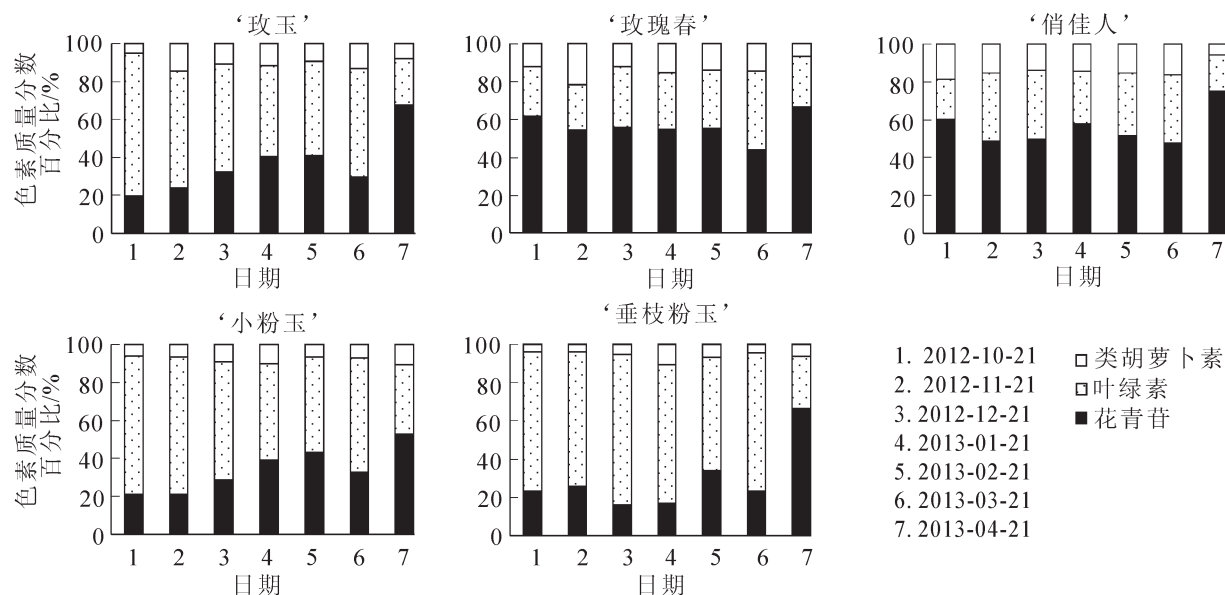


图 5 5 个山茶品种变色期 3 种色素质量分数百分比的变化

Figure 5 Dynamic changes of percentage of three pigments of five cultivars during color-changing period

5:4, 此时‘玫玉’和‘小粉玉’叶片颜色最红。‘玫瑰春’和‘俏佳人’的 3 种色素质量分数变化较小, 仅在 1 月花青苷所占比例呈现略微的上升, 两者叶色表现均不明显。‘垂枝粉玉’的花青苷所占比例较少, 叶绿素所占比例均超过 70%, 其叶片在冬季保持绿色。5 个品种春季新萌发的嫩叶中花青苷所占的比例均在 50%以上, 叶片呈现鲜红色。

2.4 冬季叶色变化的相关生理指标分析

2.4.1 可溶性糖质量分数的变化 如图 6 所示: 12 月以前是 5 个山茶品种冬季叶片变色的前期, 此时可溶性糖的质量分数不断上升, 并在 12 月和 1 月达到最高值; 2 月之后可溶性糖质量分数均开始下降。

2.4.2 可溶性蛋白质量分数的变化 如图 7 所示: 12 月‘小粉玉’和‘垂枝粉玉’的可溶性蛋白质量分数最高, 且与其他 3 个品种达到了显著性差异, ‘玫玉’的可溶性蛋白质量分数最低; 次年 1 月可溶性蛋白质量分数发生了变化, ‘俏佳人’的可溶性蛋白质量分数最高, 而‘玫瑰春’的最低, 且 2 个品种之间差异性显著; ‘小粉玉’在 2 月再次达到最高, 而‘玫瑰春’的可溶性蛋白质量分数仍旧最低, 2 个品种之间差异显著。

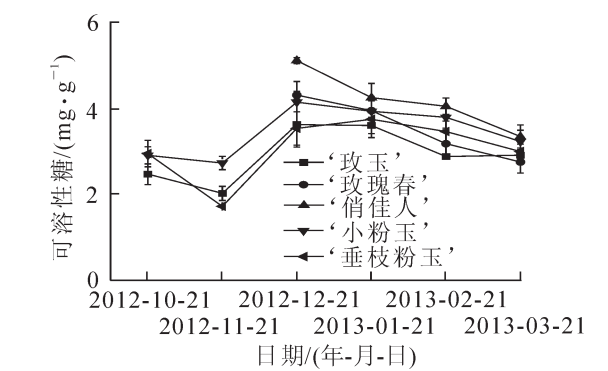


图 6 5 个山茶品种冬季变色期可溶性糖质量分数的变化

Figure 6 Dynamic changes of soluble sugar content of five cultivars during color-changing period in winter

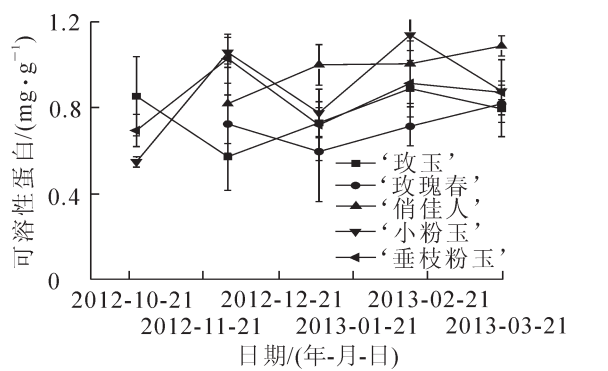


图 7 5 个山茶品种冬季变色期可溶性蛋白质量分数的变化

Figure 7 Dynamic changes of protein content of five cultivars during color-changing period in winter

2.4.3 叶片生理指标与色素质量分数的相关性分析 进一步分析了 5 个品种冬季叶片中可溶性糖、可溶性蛋白与 3 种色素质量分数的相关性。由表 3 可知: 5 个品种的叶绿素和类胡萝卜素与可溶性糖之间无显著性差异; ‘玫玉’的花青苷与可溶性糖呈极显著的正相关, ‘小粉玉’的花青苷与可溶性糖呈显著正相关。‘小粉玉’的类胡萝卜素与可溶性蛋白呈极显著的正相关, 其他品种的 3 种色素均与可溶性蛋白无显著相关性。

表 3 冬季叶片生理指标与 3 种色素质量分数的相关性

Table 3 Correlation between physiological and three pigments content in winter

品种	与可溶性糖的相关系数			与可溶性蛋白的相关系数		
	叶绿素	类胡萝卜素	花青苷	叶绿素	类胡萝卜素	花青苷
‘玫玉’	0.181	0.319	0.621**	-0.013	0.017	0.329
‘玫瑰春’	-0.164	-0.270	0.333	0.302	0.268	-0.046
‘俏佳人’	-0.364	-0.497	0.298	0.151	0.500	0.296
‘小粉玉’	0.103	0.443	0.502*	0.295	0.660**	0.313
‘垂枝粉玉’	0.247	0.466	-0.259	0.105	0.069	0.226

说明: 采用积差相关、双尾检验进行相关分析, * 代表在 0.05 水平上显著性相关, ** 代表在 0.01 水平上显著性相关。

2.5 春季新叶的相关生理指标分析

由表 4 可知: 春季新叶中可溶性糖质量分数要显著低于冬季老叶片, ‘垂枝粉玉’新叶中的可溶性糖质量分数最高, ‘小粉玉’新叶中的可溶性糖质量分数最低。春季新叶中可溶性蛋白质量分数高于冬季老叶片, 5 个品种新叶中的可溶性蛋白质量分数之间无显著性差异。

3 结论与讨论

‘玫玉’和‘小粉玉’在冬季叶色方面的观赏价值较高,‘玫玉’最佳观赏期为 1 月和 2 月,叶片为古铜红色,‘小粉玉’最佳观赏期仅为 2 个月,叶片为赭色;‘玫瑰春’和‘俏佳人’冬季叶片的变色期短,变色率低,叶片分别为红褐色和橘褐色;‘垂枝粉玉’在冬季叶片保持绿色;5 个品种春季新萌发的嫩叶均为鲜红色,新叶萌发的时间不同导致了春季色叶期不同,但其红叶期均能持续 1 个月。5 个山茶品种的老叶在春季开始复绿时,紧接着新萌发的鲜红色嫩叶延续了叶片的观赏期。

叶片内色素质量分数的比例发生了变化是山茶叶色变化的原因之一。冬季随着气温的下降,‘玫玉’和‘小粉玉’叶片中叶绿素和类胡萝卜素降解,导致其质量分数减少,与此同时花青苷开始合成,并不断增加,使花青苷所占的比值增大,其叶片呈现红褐色,这与 Saure^[13]在彩叶植物中的研究结果相同。‘玫瑰春’和‘俏佳人’叶片中花青苷质量分数的比值仅略微增加,两者表现出叶片变色率小,变红程度弱;而‘垂枝粉玉’中花青苷所占比值较小,叶绿素所占比值较大,均超过了 70%,其叶片在冬季一直呈现绿色。5 个品种春季新萌发的嫩叶中花青苷所占的比例均在 50%以上,叶片呈现鲜红色,因为春季幼叶中叶绿素合成还较少,在强光照射下产生了较多的超氧化物,导致花青苷的大量合成并占主导作用,所以此时叶片通常为红色和紫红色^[14-15]。可见花青苷质量分数的变化是山茶叶色变化的关键因素。

除‘小粉玉’的可溶性蛋白与类胡萝卜素呈极显著的正相关外,其他 4 个品种可溶性蛋白与 3 种色素之间无显著相关性。5 个山茶品种的可溶性糖与叶绿素和类胡萝卜素之间无显著相关性。‘玫玉’的可溶性糖与花青苷之间存在着极显著的正相关,‘小粉玉’的可溶性糖与花青苷之间存在显著的正相关,这与荣立平等^[16]研究发现三角枫 *Acer buergerianum* 叶片中可溶性糖与花青苷之间呈极显著正相关的结果相同;其他 3 个品种的可溶性糖与花青苷之间无显著性差异,这与陈继卫等^[17]在对红枫 *Acer palmatum* 秋冬转色期叶色变化的生理特性进行研究时发现花青苷与可溶性糖之间并不呈显著正相关的结果相同。虽然很多研究表明:可溶性糖是影响花青苷合成的重要因素^[18-19],但不同植物两者之间的相关性有所差异,有待进一步探讨。以‘玫玉’和‘小粉玉’为例,结合可溶性糖和花青苷的动态变化来具体分析两者的关系。12 月以前,可溶性糖质量分数不断上升,并在 12 月和 1 月达到了最高值,之后可溶性糖质量分数开始下降。12 月和 1 月以前是‘玫玉’和‘小粉玉’变色的前期,花青苷合成较少,对可溶性糖的需求和消耗均较少,此时可溶性糖大量积累,从而为之后花青苷的合成提供了原料。12 月和 1 月可溶性糖质量分数达到了最高,此时温度最低,叶片开始大面积转红时,大量的合成花青苷,可溶性糖质量分数也随之呈下降趋势。推测‘玫玉’和‘小粉玉’中可溶性糖主要是为花青苷的合成提供碳骨架,即可溶性糖可能作为原料,用于花青苷的合成,从而导致了叶片中可溶性糖的减少。因此,凡有利于可溶性糖合成的养护措施均可促进‘玫玉’和‘小粉玉’冬季叶色的表现。

4 参考文献

- [1] 魏兆兆, 谢云, 孟辉, 等. 3 种类型浙江红山茶的花粉形态学研究[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(4): 634 - 638.
WEI Zhaozhao, XIE Yun, MENG Hui, et al. Pollen morphology for three types of *Camellia chekiangoleosa* [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(4): 634 - 638.
- [2] 张亚利, 王立翠, 李健, 等. 部分茶花品种在上海的栽培土壤及生长状况分析[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(1): 44 - 49.
ZHANG Yali, WANG Licui, LI Jian, et al. Soil physiochemical variation and growth evaluation of camellia in Shanghai [J]. *J Zhejiang A F Univ*, 2014, **31**(1): 44 - 49.

表 4 5 个山茶品种春季新叶相关生理指标

Table 4 Physiological content of five cultivars during color-changing period in spring

品种	可溶性糖/(mg·g ⁻¹)	可溶性蛋白/(mg·g ⁻¹)
‘玫玉’	1.900 ± 0.020 ab	1.157 ± 0.094 a
‘玫瑰春’	2.140 ± 0.158 ab	1.214 ± 0.039 a
‘俏佳人’	2.170 ± 0.122 ab	1.120 ± 0.063 a
‘小粉玉’	1.830 ± 0.086 b	1.098 ± 0.031 a
‘垂枝粉玉’	2.260 ± 0.123 a	1.110 ± 0.090 a

说明:表中数值为平均值±标准差,不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

- [3] 程金水, 陈俊愉, 赵世伟, 等. 金花茶杂交育种研究[J]. 北京林业大学学报, 1994, **16**(4): 55 – 59.
CHENG Jinshui, CHEN Junyu, ZHAO Shiwei, *et al.* Interspecific cross breeding for new yellow camellias [J]. *J Beijing For Univ*, 1994, **16**(4): 55 – 59.
- [4] 陈焕杰. 山茶种质资源核心库构建[D]. 临安: 浙江农林大学, 2013.
CHEN Huanjie. *Construction of Core Germplasm of Camellia* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2013.
- [5] 张亚利, 李健, 奉树成, 等. 5 个茶花新品种的耐热性分析[J]. 江西农业学报, 2014, **26**(1): 32 – 34.
ZHANG Yali, LI Jian, FENG Shucheng, *et al.* Analysis of heat tolerance of five new camellia cultivars [J]. *Acta Agric Jiangxi*, 2014, **26**(1): 32 – 34.
- [6] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [7] 史玉敏, 陈洪国, 严恒. 丹桂中花青素提取工艺的优化[J]. 咸宁学院学报, 2011, **31**(4): 26 – 28.
SHI Yumin, CHEN Hongguo, YAN Heng. Optimization of extraction technology of anthocyanins from *Osmanthus* [J]. *J Xianning Univ*, 2011, **31**(4): 26 – 28.
- [8] MARTIN C, GERATS T. Control of pigment biosynthesis genes during petal development [J]. *Plant Cell*, 1993, **5**(10): 1253 – 1264.
- [9] DOONER H K. Coornate genetic regulation of flaronoid biosythetic enzymes in maize [J]. *Mol Gen Genet*, 1983, **189**(1): 136 – 141.
- [10] HUGHES N M. Winter leaf reddening in 'evergreen' species [J]. *New Phytol*, 2011, **190**(3): 573 – 581.
- [11] SINGH S, SINGH S O. Photosynthetic and non-photosynthetic pigments in croton varieties [J]. *J Andaman Sci Assoc*, 1988, **4**(1): 77 – 78.
- [12] 潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 77 – 79.
- [13] SAURE M C. External control of anthocyanin formation in apple [J]. *Sci Hortic*, 1990, **42**(3): 181 – 218.
- [14] 许鑫科. 2 种彩叶植物叶色表达相关机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
XU Xinke. *Studies on the Leaf Color Expression Related Mechanism for Two Colorful Plants* [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010.
- [15] 文国琴, 何道文, 何震. 南天竹不同叶色与若干生理生化指标关系的研究[J]. 亚热带植物科学, 2005, **34**(4): 38 – 40.
WEN Guoqing, HE Daowen, HE Zhen. Relationships between colors and some physiological and biochemical indeces of leaves from *Nandina domestica* [J]. *Subtrop Plant Sci*, 2005, **34**(4): 38 – 40.
- [16] 荣立平, 李倩中, 李淑顺, 等. 三角枫及其变异株转色期叶色变化生理[J]. 江苏农业学报, 2011, **27**(5): 1089 – 1092.
RONG Liping, LI Qianzhong, LI Shushun, *et al.* Physiological changes of leaf color of *Acer buergerianum* and mutant plants during color-changing period [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2011, **27**(5): 1089 – 1092.
- [17] 陈继卫, 沈朝栋, 贾玉芳, 等. 鸡爪槭转色期叶色变化生理研究[J]. 核农学报, 2010, **24**(1): 171 – 175.
CHEN Jiwei, SHEN Chaodong, JIA Yufang, *et al.* Physiological changes of Japanese maple (*Acer palmatum* Thunb) leaves during color-changing period [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2010, **24**(1): 171 – 175.
- [18] KREMERAND KW. *Autumn and Winter Garden* [M]. London: London Press, 1992: 96 – 99.
- [19] HARA M, OKIK,H, OSHILVO K, *et al.* Effects of sucrose on anthocyanin production in hypocotyl of two radish (*Raphanus sativus*) varieties [J]. *Plant Biotech*, 2004, **21**(5): 401 – 405.