

# 枫香叶片色素含量变化及其与叶色变化的关系

胡敬志<sup>1</sup>, 田 旗<sup>2</sup>, 鲁心安<sup>1</sup>

(1 华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062; 2 上海园林科学研究所, 上海 200062)

**[摘 要]** 为了给城市街道秋季有色叶植物的选择和配置提供理论依据, 于 2005-08 ~ 2005-12 采用比色法连续测量枫香叶片中叶绿素、类胡萝卜素和花色素苷的含量, 并探讨其与叶色变化的关系。结果表明, 在 8 ~ 12 月份, 枫香叶片叶绿素含量总体上呈下降的趋势, 叶绿素 a 和 b 含量以及 a/b 的变化趋势与叶绿素总量的变化趋势相似; 随季节变化, 枫香叶片中类胡萝卜素和花色素苷含量的变化不明显; 随着气温的下降, 花色素苷的颜色逐渐地表现出来, 在 2 种色素的共同作用下, 枫香叶片逐渐由黄绿色变成红色、深红色; 枫香叶色与花色素苷/叶绿素总量呈正相关关系, 而与叶绿素总量呈很高的负相关关系, 与类胡萝卜素、花色素苷绝对含量的变化关系不大; 叶片 pH 的降低也是叶片逐渐变红的一个原因。

**[关键词]** 枫香树; 花色素苷; 叶绿素; 类胡萝卜素

**[中图分类号]** Q945.79

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2007)10-0219-05

## Relationship between changes of the pigments content and leaf color changing in *Liquidambar formosana*

HU Jing-zhi<sup>1</sup>, TIAN Qi<sup>2</sup>, LU Xin-an<sup>1</sup>

(1 School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2 Shanghai Landscape Gardening Research Institute, Shanghai 200231, China)

**Abstract:** The changes of the chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content of leaves in *Liquidambar formosana* were measured continuously by using spectrometer from August to December. The relationship between the leaves color and the content of pigments was also explored. The result showed that the chlorophyll content of *Liquidambar formosana* decreased from August to December in a whole. The changing trends of the chlorophyll a, b and the ratio of chlorophyll a/ chlorophyll b were similar to the total content of chlorophyll basically. The anthocyanin and carotenoid content kept relatively stable during different time and the pH value of leaves decreased so that the color of anthocyanin appeared. And the leaves color turned into red even deep red. Therefore, there was a positive correlation between the leaves color and anthocyanin/ chlorophyll, but highly negative correlation with the total chlorophyll contents, and the leaves color had nothing to do with the absolute content of carotenoid and anthocyanin.

**Key words:** *Liquidambar formosana*; anthocyanin; chlorophyll; carotenoid

高等植物中, 决定叶片颜色的色素主要有叶绿素、类胡萝卜素和花青素等。叶绿素主要包括叶绿素 a 和叶绿素 b, 一般的植物叶片中, 叶绿素 a 的含

量占叶绿素总量的 3/4, 呈蓝绿色; 叶绿素 b 呈黄绿色, 性质不稳定, 在强光下和低温下容易分解。类胡萝卜素包括叶黄素和胡萝卜素 2 种<sup>[1-3]</sup>, 前者呈黄

**[收稿日期]** 2006-09-20

**[基金项目]** 上海市绿化管理局科学技术项目 (F040206)

**[作者简介]** 胡敬志 (1982 - ), 男, 安徽亳州人, 在读硕士, 主要从事细胞生物化学研究。

**[通讯作者]** 鲁心安 (1955 - ), 女, 上海人, 副教授, 主要从事酶学研究。E-mail: xinanbio@163.com

色,后者呈橙黄色,性质均比较稳定<sup>[4]</sup>。花青素,又称花色素,是一大类化合物的总称,属黄酮类化合物,自然状态下常和植物体内各种单糖结合形成糖苷,称为花色素苷。植物的花、果实、叶呈现的不同的颜色主要和花青素有关<sup>[5]</sup>。同一种花色素苷在不同的 pH 下,呈现不同的颜色。在酸性条件下显红色,在碱性时显蓝色,颜色深浅和花色素苷含量正相关,可通过比色法测定<sup>[6]</sup>,低温和缺氧等不利环境会促进花色素苷的形成和积累<sup>[3]</sup>。

丁延发等<sup>[7]</sup>研究了 5 种彩叶植物色素和叶色变化的规律,通过比较不同时期叶绿素 a 和 b,类胡萝卜素和花青素的含量与实际叶色的关系,得出了几种彩叶植物的最佳观赏时期,为彩叶植物的布置提供了理论依据。赵宇瑛等<sup>[8]</sup>研究发现,4 个品种生长季桃叶的花青素含量在 8 月中旬均达到最高值,以后呈逐渐下降趋势。

枫香树叶片形状奇特,在夏初呈现深绿色,秋季后随着昼夜温差加大而逐渐的变成红色、紫色、橙红等颜色,极具观赏价值,是优良的城市景观树种,因而在城市植物景观配置中被广泛应用。枫香叶片中,花色素苷与叶绿素、类胡萝卜素等色素含量的变化一起决定着其叶片在不同时期的颜色。枫香叶片色素含量的变化不仅会影响叶片的颜色,还能反映其生理功能的变化<sup>[4]</sup>。已有的试验主要是在人为控制条件下研究植物叶片色素含量的变化,虽然环境因素能很好控制,但和实际环境差别较大,而在自然环境条件下研究植物叶片色素含量变化及其与叶色关系的报道很少。本研究对街道中不同时期枫香叶片中叶绿素、类胡萝卜素和花色素苷的含量进行了测定,比较了几种色素含量及其相对含量的变化情况,并探讨了其与实际叶色变化的关系,以期探索不同时期枫香叶色变化的规律,为城市植物季相景观配置提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

枫香叶片取自于上海市杨柳青路两旁种植的同龄枫香树(*Liquidambar formosana*),选择其中的 8 棵分别编号,早晨采样,每棵树在相同高度上从东、南、西、北 4 个方向上采集具有代表性的叶片 10 g 左右,装入保鲜袋中并帖好标签。自 2005-08 初开始取样,每 2 周 1 次,进入 9 月后每周 1 次,直到树叶变色、凋落为止。采集当日记录温度、日照强度和树木叶色的变化情况并拍照。

### 1.2 枫香叶片的处理

用干净的毛巾把枫香叶样品擦拭干净,剪去叶柄和枯萎的叶面,然后将叶片剪成 4 mm<sup>2</sup> 小片并尽量混匀,装入袋中备用。分别称取每个样品 3 份,每份 0.5 g 左右,放入已恒重的称量瓶中,105℃ 恒重,记录烘干前后样品质量,计算叶片的平均含水量。

### 1.3 枫香叶片叶绿素、类胡萝卜素含量的测定

枫香叶片叶绿素、类胡萝卜素含量的测定参考文献[9]的方法,每样品重复 3 次。

### 1.4 枫香叶片花色素苷含量的测定

枫香叶片花色素苷含量的测定参考文献[10]的方法,每样品重复 3 次,计算花色素苷干重含量。

### 1.5 枫香叶片 pH 的测定

枫香叶片 pH 的测定参考文献[11]的方法,每样品重复 3 次,结果取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时间枫香叶片叶绿素含量的变化

图 1 表明,随着时间的推移,枫香叶片叶绿素总量表现为上升-下降-再上升-再下降的变化过程,其中分别在 9 月下旬和 11 月中旬各出现一个峰值,且 9 月下旬的峰值高于 11 月中旬,达 10 mg/g。通过实际观察发现,枫香叶片肥厚,叶色深绿,在 9 月中旬到 11 月中旬期间叶片绿色更深,随后开始消退。这是因为,9 月中旬的好天气(天气晴朗,光照充足,气温在 28~20℃(表 1))及 11 月上旬前数天内气温的罕见回升,都有利于枫香叶绿素的合成和积累,故枫香叶片呈深绿色;随后日平均气温大幅下降,枫香叶片 pH 下降,导致叶绿素脱镁而不稳定,叶片绿色逐渐退去,叶色也逐渐表现出其他色素的颜色而变成黄色、红色直到凋落。

### 2.2 枫香叶片叶绿素各组分和类胡萝卜素、花色素苷含量的变化

图 1 表明,枫香叶片叶绿素总量的变化是由叶绿素 a 和 b 的变化共同引起的,并且叶绿素 a 和 b 含量的变化和叶绿素总量的变化具有同步性,三者出现峰值的时期也基本相同。枫香叶片叶绿素 a 和 b 含量第 1 个峰值分别为 5.52 和 4.48 mg/g。在整个试验期,叶绿素 a 和 b 含量的差异不显著( $P > 0.05$ )。叶绿素 a 和 b 的含量变化与叶绿素总量变化及叶绿素 a/b 变化的相关性见表 2。由表 2 可知,叶绿素 a 和 b 的含量变化与叶绿素总量的变化呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),具有明显的同步性,两者共同决定着叶绿素总量的变化;叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量

分别与叶绿素 a/ 叶绿素 b 正相关和负相关,且相关性均比较差( $P>0.01$ ),表明不同时期叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量与叶绿素 a/ 叶绿素 b 间没有同步性。

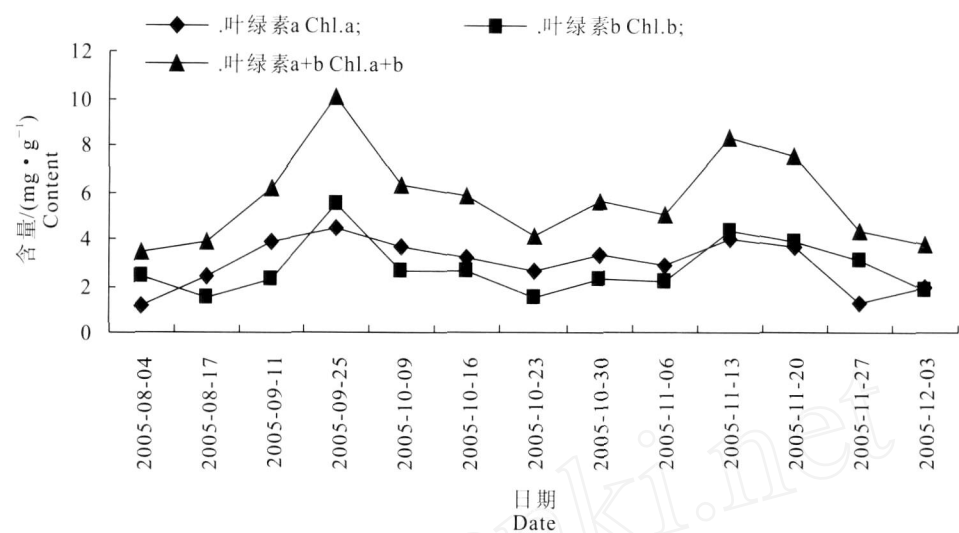


图 1 枫香叶片叶绿素 a、b 的含量和叶绿素总量的变化

Fig. 1 Changes of Chl. a, Chl. b and total content in the leaves of *Liquidambar formosana*

表 1 2005 年 8 ~ 12 月气象因子和枫香叶片 pH 值的变化

Table 1 Changes of pH value of leaves of *Liquidambar formosana* and the changes of meteorologic factors from Aug to Dec in 2005

| 日期<br>Date | 叶片 pH 值<br>pH value in leaves | 日平均温度/<br>Average temperature | 平均湿度/ %<br>Average humidity | 叶片颜色<br>Color of leaves |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 2005-08-04 | 6.86                          | 32.5                          | 60                          | 浅绿 Pale green           |
| 2005-08-17 | 6.79                          | 32                            | 48                          | 浅绿 Pale green           |
| 2005-09-11 | 6.74                          | 25                            | 52                          | 深绿 Deep green           |
| 2005-09-25 | 6.76                          | 24                            | 60                          | 深绿 Deep green           |
| 2005-10-09 | 6.70                          | 20.5                          | 60                          | 深绿 Deep green           |
| 2005-10-16 | 6.54                          | 23                            | 65                          | 绿色 Green                |
| 2005-10-23 | 6.71                          | 19                            | 70                          | 绿色 Green                |
| 2005-10-30 | 6.14                          | 15.5                          | 60                          | 深绿 Deep green           |
| 2005-11-06 | 5.74                          | 22.5                          | 62                          | 深绿 Deep green           |
| 2005-11-13 | 5.64                          | 22                            | 63                          | 深绿 Deep green           |
| 2005-11-20 | 5.41                          | 17                            | 64                          | 黄绿 Yellowish green      |
| 2005-11-27 | 5.51                          | 14                            | 50                          | 浅红 Pale red             |
| 2005-12-03 | 5.24                          | 11                            | 65                          | 深红、褐红 Deep red          |

表 2 枫香叶片叶绿素 a、b 含量与叶绿素总量、叶绿素 a/ b 之间的相关性分析 ( $n=12$ )

Table 2 Analysis of correlation among Chl. a, Chl. b content and Chl. a/ b in the leaves of *Liquidambar formosana* ( $n=12$ )

| 项目<br>Item      | 与叶绿素总量的相关系数<br>Correlation coefficient with Chl. a + b | 与叶绿素 a/ 叶绿素 b 的相关系数<br>Correlation coefficient with Chl. a/ chl. b |
|-----------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 叶绿素 a 含量 Chl. a | 0.866                                                  | 0.368                                                              |
| 叶绿素 b 含量 Chl. b | 0.896                                                  | - 0.540                                                            |

注:  $R_{0.01}=0.708$ 。Note:  $R_{0.01}=0.708$ 。

由图 2 可知,枫香叶片中的类胡萝卜素含量在 8 月初到 8 月中旬大幅下降,此后含量没有明显的变化;枫香叶片中花色素苷含量变化不明显,但在 10 月中旬左右其含量出现小幅的上升,峰值为 0.264 mg/ g。表明枫香叶片中花色素苷的含量并未随着气温的降低、日照时间的变短而呈现明显的变化。

2.3 枫香叶片叶绿素 a/ b 的变化

图 3 显示,枫香叶片叶绿素 a/ b 的变化情况与图 1 中叶绿素总量的变化情况相似,总体上呈下降的趋势;在 9 月上旬和 10 月下旬出现 2 个峰值,分别是 1.67 和 1.78;进入 11 月以后,叶绿素 a/ b 呈下降的趋势,但在 12 月初又逐渐上升。叶绿素 a/ b 逐渐下降的趋势表明,叶绿素 a 的降解速度大于叶绿素 b,由于叶绿素 b 颜色呈黄绿色,叶绿素 a 是蓝绿色,因此叶片逐渐变成黄色,这也是植物对不良环境(如降温、日照时间缩短等)的适应性变化<sup>[12]</sup>。

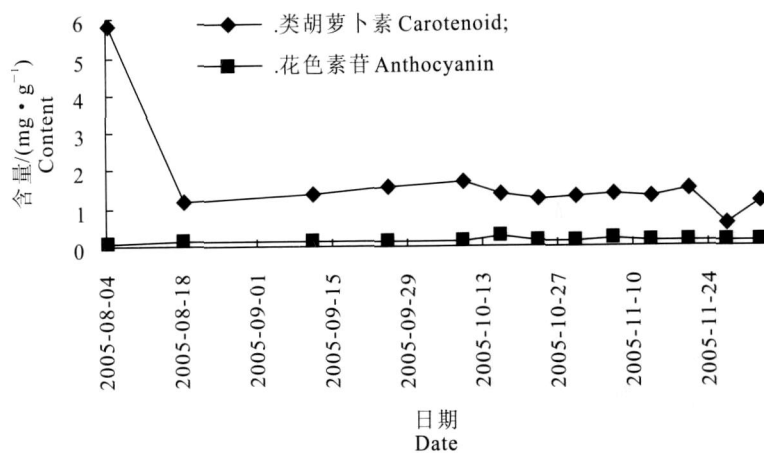


图 2 枫香叶片中类胡萝卜素和花色素苷的变化

Fig. 2 Changes of Anthocyanin and Carotenoid content in the leaves of *Liquidambar formosana*

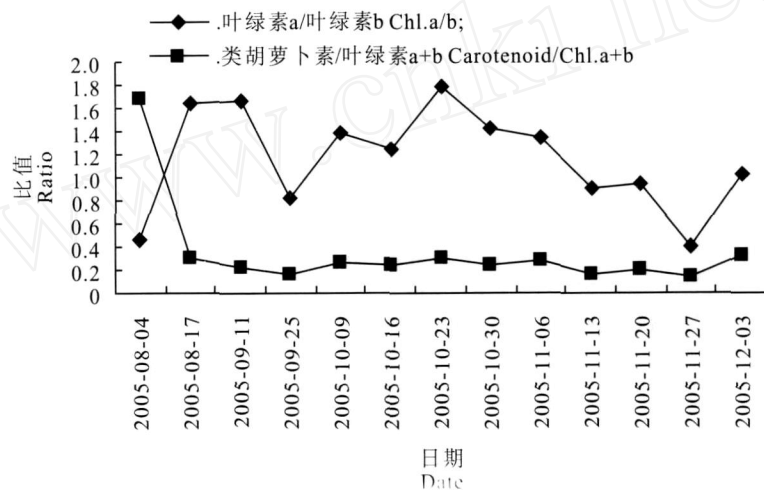


图 3 枫香叶片叶绿素 a/b 和类胡萝卜素/叶绿素总量的变化

Fig. 3 Changes of Chl. a/ chl. b, Carotenoid/ chl. a + b in the leaves of *Liquidambar formosana* during different period

#### 2.4 枫香叶片类胡萝卜素/叶绿素总量、花色素苷/叶绿素总量的变化

图 3 表明,枫香叶片中类胡萝卜素/叶绿素总量从 8 月上旬开始急剧下降,8 月下旬开始保持比较平稳的状态,直到落叶。类胡萝卜素含量变化与类胡萝卜素/叶绿素总量的变化极显著正相关( $P < 0.01$ ),相关系数达 0.975,而叶绿素总量的变化与类胡萝卜素/叶绿素总量变化的相关性不明显(表 3)。10 月上旬,花色素苷/叶绿素总量出现峰值,然后急

剧下降,在 11 月中旬到达低谷后又开始上升(图 4)。枫香叶片在 11 月经过短时间的变黄以后,变成红色或者橙红色,但是叶片的花色素苷含量却没有明显的变化,其原因可能是因为叶片内有机酸增加,叶片 pH 降低(表 1),导致花色素苷颜色变深<sup>[3]</sup>,叶片的颜色也随之变深。由此可知,枫香叶片花色素苷的含量比较稳定,其叶片 pH 的下降是导致枫香叶色变红、变深的一个主要原因。

表 3 枫香叶片叶绿素、类胡萝卜素和花色素苷含量间的相关性分析( $n = 12$ )

Table 3 Analysis of correlation among Chl, Carotenoid and Anthocyanin content in the leaves of *Liquidambar formosana* ( $n = 12$ )

| 项目<br>Item       | 与类胡萝卜素/叶绿素总量的相关系数<br>Correlation coefficient with Carotenoid/ chl. a + b | 与花色素苷/叶绿素总量的相关系数<br>Correlation coefficient with Anthocyanin / chl. a + b |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 类胡萝卜素 Carotenoid | 0.975                                                                    | -                                                                         |
| 花色素苷 Anthocyanin | -                                                                        | 0.671                                                                     |
| 叶绿素总量 Chl. a + b | - 0.434                                                                  | - 0.606                                                                   |

注:  $R_{0.01} = 0.708$ 。Note:  $R_{0.01} = 0.708$

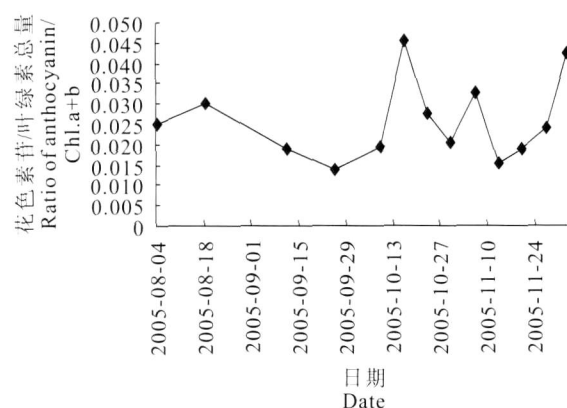


图 4 枫香叶片花色素苷/叶绿素总量的变化

Fig. 4 Changes of Anthocyanin / chl. a + b in the leaves of *Liquidambar formosana*

### 3 结论与讨论

本试验结果表明,在 8~12 月份,枫香叶片叶绿素含量总体上呈下降趋势,叶绿素 a 和 b 含量的变化趋势与叶绿素总量的变化趋势基本一致,枫香叶片叶绿素 a/b 的变化趋势和叶绿素总量的变化趋势相似。枫香叶片中类胡萝卜素和花色素苷含量的变化随季节变化不明显。随着气温的下降,花色素苷的颜色也逐渐地表现出来,在两种色素的共同作用下,枫香叶片逐渐地由黄绿色变成红色、深红色。所以,枫香叶色与花色素苷/叶绿素总量呈正相关关系,而与叶绿素总量呈很高的负相关关系,与类胡萝卜素、花色素苷绝对含量变化的关系不大。叶片 pH 的降低也是叶片逐渐变红的一个原因。表明每年的 11~12 月份是观赏枫香叶色的最佳时期。

影响植物色素合成和积累的主要因素有:光、氧气、温度、水和矿质元素等,其中温度的影响比较明显,温度过高( $>40^{\circ}\text{C}$ )或者过低( $<2^{\circ}\text{C}$ ),均会影响相关酶的活性,而  $30^{\circ}\text{C}$  左右是叶绿素合成的最适温度<sup>[3]</sup>,本研究也证实了这一结论。叶色是各种色素含量的综合表现,通常表现为绿色是因为叶绿素含量较高,而其他的色素含量比较低。但是,随着温度的下降和日照时间的缩短,植物叶片开始自然衰老,从而启动叶绿素分解,而类胡萝卜素含量相对稳定,所以秋季的叶色多呈黄色。温度的下降、昼夜温差的增大及日照时间的缩短等不利的环境,反而促进了花色素的合成和积累,所以一部分树木的叶色在

秋季变成了红色<sup>[13]</sup>。但本研究结果显示,枫香叶片中的花色素苷和类胡萝卜素含量没有出现明显的变化,由于叶绿素含量下降,花色素苷的颜色表现出来,同时叶片的 pH 值的下降使得叶片中的花色素苷逐渐变成红色。

由于本试验的材料来源于城市道路的景观树种,除上述影响色素合成的因素以外,附近的高楼会影响植物的采光,来往车辆产生的噪音和废气也可能影响植物的生理活动(如叶片吸收了汽车尾气中的酸性气体以后,其叶片的 pH 值会下降),进而影响色素的合成和积累。之所以选择这样环境中生长的树种,是因为大多街道景观树的都暴露在这种环境中,因此研究此环境下叶片色素含量变化与叶色变化的关系更具实际意义。

### 【参考文献】

- [1] 郝建军,康宗利. 植物生理学[M]. 北京:化学工业出版社, 2005:32-36.
- [2] 王宝山. 植物生理学[M]. 北京:科学出版社,2003:67-73.
- [3] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 5 版. 北京:高等教育出版社,2004: 60-66.
- [4] 周云龙. 植物生物学[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2003: 63.
- [5] 赵宇瑛,张汉锋. 花青素的研究现状及发展趋势[J]. 安徽农业科学,2005,33(5):904-905.
- [6] 方忠祥,倪元颖. 花青素生理功能研究进展[J]. 广州食品工业科技,2001,17(3):60-62.
- [7] 丁延发,谢必武. 重庆市 5 种彩叶植物色素和色彩变化规律研究[J]. 重庆三峡学院院报,2006,22(3):78-80.
- [8] 赵宇瑛,白远国. 生长季桃枝条与叶片花青素含量的动态变化[J]. 长江大学学报,2006,3(3):115-116.
- [9] X H 波钦诺克. 植物生物化学分析方法[M]. 北京:科学出版社,1991:255-258.
- [10] Wrolstad R E, Culbertson J D, Cornwell C, et al. Detection of adulteration blackberry juice concentrates and wines[J]. Journal Association of Official Analytical Chemists, 1982, 65: 1417-1423.
- [11] 陈锐章. 植物抗污机理的研究. 叶细胞的 pH 值、等电点、缓冲容量与抗二氧化硫的关系[J]. 植物生理学通讯,1981(1): 50-53.
- [12] 牛立元,茹振钢,赵花周. 小麦叶片叶绿素含量系统变化规律研究[J]. 麦类作物,1999,19(2):37-38.
- [13] Zhang Z Q, Pang X Q. Role of anthocyanin degradation in litchi pericarp browning[J]. Food Chemistry, 2001, 75: 217-221.