

延长秋色叶挂叶期的综合养护方法

史亚儒

上海普陀区绿化建设管理中心, 上海

收稿日期: 2024年3月21日; 录用日期: 2024年4月29日; 发布日期: 2024年5月8日

摘要

为改善上海地区秋季色叶树种景观效果, 探索延长秋色叶转色后的挂叶期。以双子叶落叶植物为对象, 开展其叶片脱落机理研究, 探索延长其秋叶挂叶期的措施方法, 一是利用乙烯生物合成抑制剂(AVG)将植物内源乙烯控制在较低水平, 二是利用木质素和AVG抑制叶柄离区的水解脱落, 三是通过摆脱干旱胁迫、盐害胁迫等日常养护措施来抑制逆境乙烯的生成, 四是针对促进花青素、类胡萝卜素的合成和稳定性, 来提升不同类型秋色叶的挂叶呈色效果。因此, 在不影响树木正常生长和色叶景观效果前提下, 采用激素(AVG)和酶解抑制、色素稳定性调控以及生长环境改良均能一定时长地延长挂叶期, 其中调控色素稳定性应分别色素类型区别对待, Na^+ 、 Zn^{2+} 为普适性离子调节剂。

关键词

秋色叶, 离区, 乙烯, 花青素

Comprehensive Maintenance Methods to Prolong the Period of Autumn Foliage Hanging on Trees

Yaru Shi

Greening Construction Management Center of Putuo District, Shanghai

Received: Mar. 21st, 2024; accepted: Apr. 29th, 2024; published: May 8th, 2024

Abstract

In order to improve the effect of autumn leaf landscape effect in Shanghai, the hanging period of autumn foliage after changing color was explored. To study the leaf shedding mechanism of deciduous dicotyledonous plants and analyze the target principles of prolonging the hanging period. Firstly, ethylene biosynthesis inhibitor (AVG) is used to control the endogenous ethylene at a low

level; secondly, lignin and AVG are used to inhibit the hydrolytic shedding of petiole isolated areas; thirdly, ethylene production under stress is prevented by daily maintenance measures such as getting rid of drought stress and salt damage stress. The fourth is to promote the synthesis and stability of anthocyanins and carotenoids to enhance the color effect of hanging leaves of different types of autumn color leaves. Therefore, on the premise of not affecting the normal growth of trees and the effect of colored leaf landscape, the use of hormone (AVG) and enzymolysis inhibition, pigment stability regulation and growth environment improvement can prolong the hanging period for a certain period of time. The stability of regulated pigments should be treated differently according to the pigment type, and Na^+ and Zn^{2+} are universal ion regulators.

Keywords

Autumn Leaves, Abscission Zone, Ethene, Anthocyanin

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

秋色叶树木作为上海园林“四化”品种被广泛应用于绿化特色道路、口袋公园、绿道等园林景观中，但整体色叶效果较北方地区而言往往缺乏相对持久性，较难给来往行人留下连贯线性或片状规模性的视觉印象，观赏体验相较北方地区略差。秋色叶树木的转色效果除了显色深浅之外，还需考量转色后的挂叶期的时长等因素。上海地区许多秋色叶行道树，或绿地里的片植树丛，叶片在入秋后不久，由于气候、种植小环境、树木长势等多种原因，往往秋色叶景观的挂叶期不长。同时还伴有个体差异性，同一线型种植或片状种植的秋色叶景观中，有的还没转色就已落叶了。由此，延长秋色叶树种叶片在秋季转色后的挂叶期，是提升秋色叶景观表现效果最有效的方式之一。

2. 延长挂叶期的目标原则

在农业上已有针对花朵、果实[1][2]器官较为成熟的研究成果，研究表明并非单一因素调控植物器官的脱落，而是由复杂、系统的植物生理反应共同的作用所导致的。概括地，一是生长素、乙烯等植物激素[3]所引发的信号传导起着关键性作用；二是纤维素酶[4]、果胶酶等细胞壁降解酶则负责“切断”叶柄；三是入秋后逐渐下降的空气、土壤湿度以及短日照条件等同样起到植物器官脱落[5]的“催化”作用。为此，将延迟叶片脱落的调控研究应用于园林行业，即增加秋色叶园林树木的挂叶期，则必须尽可能少地影响植物正常生长规律。

2.1. 目标原则一：树体休眠进程总体有序

上海秋色叶树木的秋季最佳观叶期一般在约一周，延长最佳色叶效果的挂叶期是相对概念，因为冬季低温、干燥等各种环境胁迫紧随其后，若因延迟落叶而导致落叶树延迟休眠，将使树体因冬季环境适应不力而造成不可逆的损伤。故此，本次研究的挂叶期延长时值(以下简称“延长期”)也并非越长越好。

若单纯通过提高植物体内生长素的方式来延迟器官脱落，可能会连锁地影响乙烯的含量，从而影响树木整体休眠的进程。假设达到延长期效果，但树体需依然遵循植物年周期规律，避免产生因过度刺激或伴生的不当干扰而导致植物体内正常的生理功能发生紊乱[6]；更重要的，不因延迟当年秋色叶观赏期

而致使翌年植物长势低靡。延长挂叶期的研究理当遵循可持续化、去副作用化的原则。

2.2. 目标原则二：延长后期确保落叶

若通过抑制特定酶类的数量和活性来暂时抑制叶柄离层的水解，但若叶柄离层在当年生长期末未能实现分离，则易导致枯叶不落。延迟落叶并非不落叶，甚至要避免在延长后期，整个冬季的秋色叶树冠上挂满枯干宿存的落叶，否则在景观上反而萧条，在植物生理上仍旧承担蒸腾作用等带来的负面影响。

2.3. 目标原则三：延长后期叶片秋色鲜艳

避免因植物激素、pH 值的调控而影响秋季转色叶片色素的稳定性。当叶柄形成离区，秋色叶树的叶片的叶绿素浓度逐渐减低，原本覆盖在叶片上的胡萝卜素、花青素等次要色素展露出来。保持这些转色色素的稳定性，使其保持鲜艳的秋色而非红褐色枯色[7]。

3. 激素干预对延迟叶片脱落的调控

3.1. 激素诱导叶片脱落的作用分析

植物体内的内源激素普遍参与调控器官脱落。总体上，生长素(IAA)抑制脱落，而乙烯(ethylene)、脱落酸(ABA)促进脱落。按照“生长素梯度理论”[5]当植物处在生长季，生长素自上往下进行极性运输，生长素水平能够抑制离区对乙烯的敏感度进而抑制脱落。随着秋冬来临，生长素在植物体内的极性运输逐渐回落，叶柄离区转而对乙烯趋于敏感，从而促进脱落。离区的生长素与乙烯之间的平衡关系直接调控着叶片脱落的进程。

在苹果试验中，Jackson 等[8]用适当浓度的乙烯生物合成抑制剂氨基乙氧基乙烯甘氨酸(AVG)降低了苹果果实中的乙烯生成量，延迟果实脱落。胡堂路等[9]用 AVG 处理采摘后的樱桃番茄，发现 1 和 3 mmol/L 的 AVG 处理，推迟了乙烯合成最高峰的时间。

同样苹果试验中，Drazeta 等[10]用生长素极性运输抑制剂 NPA 增加了苹果的果实脱落。

3.2. 激素调控方法

由于激素对植物的生理反应带来复杂性、连锁性，为符合延长叶片挂叶期的目标原则一，须尽量避免直接使用外源激素来参与调控。取而代之，抑制与叶片脱落正相关的内源激素乙烯的水平和活性，用激素抑制剂类外源物质来调控内源激素乙烯的作用。故此，使用乙烯生物合成抑制剂，氨基乙氧基乙烯甘氨酸(AVG)降低植物体内的乙烯水平，达到延迟叶柄离区脱落的效果。

当满足一定的延长后期后，若叶片没有脱落现象，须取消之前人工干预造成的低乙烯水平，以符合延长叶片挂叶期的目标原则二。使用生长素极性运输抑制剂，降低生长素对叶柄离区对乙烯敏感度的抑制作用，从而关闭此次人工干预的脱落调控，使延长后期后的树体尽快进入到落叶期。

4. 酶类抑制对延迟叶片脱落的调控

4.1. 酶类对叶片脱落的作用分析

叶片脱落是通过叶柄形成离层后，离层细胞壁(主要成分为果胶、纤维素、半纤维素)被特定的酶类物质水解，从而使离层细胞壁松动，逐步降低叶柄的分离力。发挥作用比较突出的是内切 β -1,4-葡聚糖酶(EGase)和多聚半乳糖醛酸酶(PG)。

4.1.1. 纤维素酶的抑制分析

木质素对纤维素酶解具有明显抑制作用[11]。内切 β -1,4-葡聚糖酶属于酸性纤维素酶，当 pH 大于 4.85

条件下, 其活力下降较快, pH 值为 7.5 左右, 纤维素酶几乎处于失活状态。

4.1.2. 果胶酶的抑制分析

生长素影响番茄乙烯受体的基因表达模式, 从而抑制其叶片脱落[12]。多聚半乳糖醛酸酶在细胞间隙和细胞壁区域表达并分泌, 促进细胞壁降解。多聚半乳糖醛酸酶的表达受植物内源乙烯正调控, 乙烯促进多聚半乳糖醛酸酶基因的转录和多聚半乳糖醛酸酶活性的增强。

4.2. 酶类物质的调控方法

抑制纤维素酶和果胶酶的合成数量, 或降低两者在植物体内的活性, 都能有效降低叶柄离区细胞壁的水解。虽然生长素可以抑制叶片脱落, 但为避免植物激素对树体的直接干预, 遵循延长叶片挂叶期的目标原则一, 优先不采取生长素调控方法。

针对抑制纤维素酶的方法, 利用木质素, 以及弱碱性环境, 能有效抑制纤维素酶的活力。

针对抑制果胶酶的方法, 用适当浓度的乙烯生物合成抑制剂(AVG)降低植物的乙烯生成量, 从而降低多聚半乳糖醛酸酶的活性。故此, 同时使用适当浓度的木质素和氨基乙氧基乙烯甘氨酸(AVG), 暂时抑制纤维素酶和果胶酶对叶柄离区的脱落。

当满足一定的延长期后, 若叶片没有脱落现象, 须取消之前人工干预造成的低乙烯水平, 以符合延长叶片挂叶期的目标原则一。

5. 小环境改良对延迟叶片脱落的调控

5.1. 利用湿度因素诱导的作用分析

研究和实践经验均表明, 干旱胁迫可提高生长素氧化酶活性, 降低生长素含量和细胞分裂素活性, 促进离层形成而导致脱落。而根系受到水涝时, 土壤氧气浓度降低, 植物产生逆境乙烯, 促进叶片脱落。

5.2. 利用盐害改良诱导的调控方法

通常, 植物受盐分胁迫时, 乙烯、脱落酸的积累增加, 而生长素和细胞分裂素的合成减少。土壤溶液的渗透压增加, 根系吸水困难, 导致细胞失水, 对植物造成胁迫。

5.3. 利用光照因素诱导的作用分析

红光、长日照抑制落叶。但该原理在目前户外公共绿化养护应用中, 不具有可行性。

5.4. 小环境改良调控方法

5.4.1. 湿度改良调控

对于处于极端土壤干旱情况, 可适当进行人工补水, 以摆脱干旱胁迫。上海入秋会有一段时期处于雨水少的气候环境中, 但还未达到干旱胁迫程度, 所以是否要进行人工补水, 还需视土壤具体的水肥情况而定。

5.4.2. 盐害改良调控

改良土壤盐碱情况, 可以延长秋季叶片挂叶期。深耕(深翻土壤 30~50 厘米)、耕作(增加土壤通气性、透水性)、覆盖(使用土壤覆盖物), 均是较为理想的物理改良法。

5.4.3. 其他因素改良的探索

虽然光照、温度因素对延迟叶片脱落有调控作用, 但在目前户外公共绿化养护条件来说, 不具备可行性。但可以作为行业展望加以关注和研究。

6. 叶片色素对秋色稳定性的调控

研究表明, 叶绿素含量低于 60% 时, 叶片色彩取决于类胡萝卜素和花青素所占比例。叶片颜色表现为优势色素的色彩, 反之, 叶片颜色呈现两者的混合色彩。可溶性糖是叶片花青素合成的前提物质, 可溶性糖质量分数在树体中呈现先升后降的单峰曲线。

6.1. 提高叶片花青素的稳定性的作用分析

秋季, 花青素在秋色叶变红的树木(如红枫、红花槭、枫香、黄栌、爬山虎)中显著上升, 并且相比于类胡萝卜素, 花青素的质量分数占据绝对优势。随着总叶绿素在红色秋色叶占比的持续下降, 类胡萝卜素的占比也略有下降, 但花青素比例仍然持续增加(至 80% 以上), 叶色表现为花青素在酸性条件下的深红色。而对秋色叶变黄和变橙黄色的树种而言, 花青素上升不明显。

6.1.1. pH 值影响花青素的稳定性

花青素中游离酚羟基, 在偏酸性的细胞溶液中以阳离子的形式存在。细胞液 pH 对花青素的保留率存在较大的影响, 其保留率随 pH 的增加逐渐降低[13]。当 $\text{pH} \leq 3$ 时, 存放 10 天后花青素的保留率仍保持在 83% 以上, 稳定性很好。当细胞液为碱性时, 其内花青素呈蓝紫色, 当细胞液呈酸性时, 其花青素呈红色。

6.1.2. 金属离子影响花青素的稳定性

Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Al^{3+} 可以加深花青素色泽, 但对其稳定性无明显影响; Na^+ 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 浓度较高时同样能加深花青素色泽, 而且可以明显提高其稳定性。

6.2. 提高叶片类胡萝卜素的稳定性的作用分析

类胡萝卜素的质量分数在秋色叶变黄的树木(如银杏、栾树、鹅掌楸、无患子)中略有上升, 并且类胡萝卜素的占比高于花青素的占比。随着叶绿素在黄色叶中的比例持续降低, 虽然花青素逐步降低(至约 20%~30%), 但类胡萝卜素的占比持续增加(至 60%~70%), 叶色表现为类胡萝卜素的黄色。

橙色色系叶, 其花青素占比介于总叶绿素和类胡萝卜素占比之间。比如元宝枫, 叶片花青素和类胡萝卜素的占比差异并不大, 不存在占有绝对优势的色素种类。其类胡萝卜素含量稳定在 25%~30%, 花青素约 45%, 叶色呈现出二者混合的橙黄色。

6.2.1. pH 值影响类胡萝卜素的稳定性

类胡萝卜素在酸的作用下, 易发生异构化反应, 生物活性随之发生较大变化。

6.2.2. 金属离子影响类胡萝卜素的稳定性

Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Al^{3+} 降低类胡萝卜素的稳定性, 但在其他金属离子存在条件下则较稳定。还原剂对类胡萝卜素有一定的保护作用。

6.3. 提高秋色叶转色稳定性的调控方法

针对花青素主导的红色叶植物(如红枫、红花槭、枫香、黄栌、爬山虎), 酸性条件下的高浓度 Na^+ 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} , 能提高花青素的稳定性, 促进秋色叶转色呈红色。

针对类胡萝卜素主导的黄色叶树种(如银杏、栾树、鹅掌楸、无患子), 中性或碱性条件下, Na^+ 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 能提高类胡萝卜素稳定性, 促进秋色叶转色呈黄色。

针对花青素和类胡萝卜素均不占主导(花青素略高于类胡萝卜素)的橙色叶植物(如元宝枫), Na^+ 、 Mn^{2+} 能提高花青素和类胡萝卜素的稳定性, 促进秋色叶转色呈橙色。

7. 结论

在不影响树木年生长周期(目标原则一)的前提下, 延长一段相对最适挂叶期(目标原则二), 且秋色效果性状相对稳定(目标原则三), 可以对植物进行较为温和、可行的综合养护措施。

7.1. 激素抑制性调控

使用乙烯生物合成抑制剂, 氨基乙氧基乙烯甘氨酸(AVG)降低植物体内的乙烯水平, 从而达到延迟叶柄离区脱落的效果。

7.2. 酶解抑制性调控

使用木质素和氨基乙氧基乙烯甘氨酸(AVG), 降低内切 β -1,4-葡聚糖酶(EGase)和多聚半乳糖醛酸酶(PG)的活性, 从而达到延迟叶柄离区纤维素水解的进程。

7.3. 生长环境改良性调控

对树体进行适量浇灌, 使树体在秋季干燥季节摆脱干旱胁迫, 达到延长挂叶期效果。通过深耕、耕作、覆盖, 使树体摆脱盐碱胁迫, 达到延长挂叶期效果。

7.4. 色素稳定性调控

针对花青素主导的红色叶植物(如红枫、红花槭、枫香、黄栌、爬山虎), 酸性条件下, 高浓度 Na^+ 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} , 能提高花青素的稳定性, 促进秋色叶转色呈红色。

针对类胡萝卜素主导的黄色叶树种(如银杏、栎树、鹅掌楸、无患子), 中性或碱性条件下, Na^+ 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 能提高类胡萝卜素稳定性, 促进秋色叶转色呈黄色。

针对花青素和类胡萝卜素均不占主导(花青素略高于类胡萝卜素)的橙色叶树种(如元宝枫), Na^+ 、 Mn^{2+} 能提高花青素和类胡萝卜素的稳定性, 促进秋色叶转色呈橙色。

参考文献

- [1] 朱育贤. 优化措施尽量减少苹果树落果[J]. 教育, 2015(3): 5.
- [2] 章恒毅. 大棚番茄落花落果的原因及应对措施[J]. 云南农业科技, 2011(6): 45-46.
- [3] 王小兰. 植物生长调节剂在园艺作物上的应用[J]. 甘肃广播电视大学学报, 2006(3): 46-49.
- [4] 刘晓晶, 李田, 翟增强. 纤维素酶的研究现状及应用前景[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 1920-1921, 1924.
- [5] 齐明芳, 许涛, 郭泳, 等. 园艺植物器官脱落研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(6): 643-648.
- [6] 周欣欣. 秋季施用外源物质对大豆产质量及苜蓿菜休眠的影响[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- [7] 刘常园, 汤静, 赵立艳. 花青素的稳定性与功能研究进展[J]. 食品与营养科学, 2018, 7(1): 53-63.
- [8] Jackson, M.B. and Osborne, D.J. (1970) Ethylene the Natural Regulator of Leaf Abscission. *Nature*, **225**, 1019-1022. <https://doi.org/10.1038/2251019a0>
- [9] 胡堂路, 王春燕, 谭伟明, 等. AVG 处理对采摘后樱桃番茄品质的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(3): 577-581.
- [10] Dazeta, L., Lang, A., Cappellini, C., et al. (2004) Vessel Differentiation in the Pedicel of Apple and the Effects of Auxin Transport Inhibition. *Physiologia Plantarum*, **120**, 162-170. <https://doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.0220.x>
- [11] 沙如意, 张沙沙, 余瞻, 等. 假木质素沉积对纤维素酶解的影响研究进展[J]. 林业科学, 2020, 56(3): 127-143.
- [12] 李红, 许涛, 齐明芳, 等. 钙素对乙烯诱导番茄花柄脱落过程中乙烯受体 LeETs 基因表达的调控作用[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(4): 411-416.
- [13] 刘常园, 汤静, 赵立艳. 花青素的稳定性与功能研究进展[J]. 食品与营养科学, 2018, 7(1): 53-63.