叶面肥对北京香山公园黄栌红叶观赏期的影响*

宋立洲[1] 高云昆[1] 殷庆瑞[1] 尚紫阳[1] 朋 康[2] 李文艺[2] 尚克杰[2] 安 然[2]

1 北京市香山公园管理处 北京 100093

2 北京中农瑞景生态科技有限公司 北京 101500

摘要:【目的】针对北京香山公园黄栌(*Cotinus coggygria*)红叶观赏期受气候异常及环境因素影响导致转色不稳定、落叶期提前的问题,探究叶面肥施用对黄栌叶片转色进程和落叶期的调控效果,以延长北京香山公园红叶观赏期并提升景观质量。【方法】选用 3 种叶面肥(维生素 B 族肥料、苄氨基嘌呤类肥料、氨基酸水溶肥料),通过设计肥效对比试验,观察叶面肥对黄栌叶片转色进程、衰老进程及物候期的影响。【结果】维生素 B 族肥料与苄氨基嘌呤类肥混合施用对黄栌花青素的积累、叶片增厚有显著的促进作用。在苗圃、浅山试验区域,花青素相对含量平均值分别高于其他组 24.54%、11.79%以上,叶片厚度平均值分别高于其他组 10.00%、4.76%以上,且受试组红叶观赏期提前 3~4 天。苄氨基嘌呤类肥与氨基酸水溶肥料混合施用对抑制叶绿素降解、增强植株抗逆性、迟滞黄栌落叶有显著作用,在苗圃、浅山试验区域较其他组红叶期延长 3 天以上。【结论】苄氨基嘌呤类肥料与氨基酸水溶肥料混合施用可延缓叶绿素分解、延缓叶片衰老进程,但对秋叶呈色无影响。维生素 B 族肥料与苄氨基嘌呤类肥混合施用有利于黄栌叶片花青素的积累,且能提升叶片厚度,使黄栌转色效果更佳、红叶观赏期更长、红叶呈现效果更好。

关键词:黄栌;叶面肥;叶色;花青素;物候期

DOI:10.12169/zgcsly.2025.05.15.0001

Effect of Foliar Fertilizer on Red Leaf Viewing Period of *Cotinus coggygria* in Beijing Fragrant Hill Park

Song Lizhou[1] Gao Yunkun[1] Yin Qingrui[1] Shang Ziyang[1] Peng Kang[2]
Li Wenyi[2] Shang Kejie[2] An Ran[2]

(1. Management Department, Beijing Fragrant Hills Park, Beijing 100093, China;
2. Beijing Zhongnong Ruijing Eco-technology Co. Ltd., Beijing 101500, China)

Abstract:【Objective】To explore the regulating effect of foliar fertilizer application on *Cotinus coggygria* leaf color change process and defoliation period, with the aim to extend the red leave viewing period, improve landscape quality in Beijing Fragrant Hill Park and solve the problems facing *C. coggygria* due to abnormal climate and environment, such as unstable color change and early defoliation.【Method】Three kinds of foliar fertilizers (vitamin B fertilizer, benzylaminopurine fertilizer, amino acid water-soluble fertilizer) are selected, and the contrast tests of fertilizer efficiency are conducted to observe the effect of foliar fertilizer on the color change process, senescence and phenological period of *C. coggygria*.【Result】The mixed application of vitamin B fertilizers and benzylaminopurine fertilizers significantly improves the anthocyanin accumulation and leaf thickening of *C. coggygria*. For the test groups in the nursery and

收稿日期:2025-01-11

* 基金项目:北京市公园管理中心科研资助项目(ZX2023006)

第一作者:宋立洲(1974-),男,硕士,教授级高工,研究方向为园林绿化。E-mail:songlizhou_mail@163.com

通信作者:朋康(1996-),男,学士,高级工程师,研究方向为有害生物绿色防控、生物多样性保护。E-mail:841155982@qq.com

shallow mountain areas, their average relative content of anthocyanins is 24.54% and 11.79% higher than other groups, and the average leaf thickness is 10.00% and 4.76% higher. In addition, the viewing period of red leaves in the test groups starts earlier by 3 – 4 days. The mixed application of benzylaminopurine fertilizer and amino acid water-soluble fertilizer has a significant effect on inhibiting chlorophyll degradation, enhancing stress resistance and delaying defoliation time of *C. coggygria*. The test groups in the nursery and shallow mountain area have the extended red leaf period by more than 3 days compared with other groups.【Conclusion】The mixed application of benzylaminopurine fertilizer and amino acid water-soluble fertilizer can delay the decomposition of chlorophyll and slow down the process of leaf senescence, while having no effect on the color of autumn leaves. In contrast, the mixed application of vitamin B fertilizers and benzylaminopurine fertilizers is conducive to the accumulation of anthocyanins in *C. coggygria* leaves, and can even improve the thickness of leaves, which endows *C. coggygria* with a better color change effect, longer viewing period and better red leaves.

Keywords: *Cotinus coggygria*; foliar fertilizer; leaf color; anthocyanin; phenological period

黄栌（*Cotinus coggygria*）季相特点独特，每逢深秋如花似火、层次分明，被广泛应用为北京市彩叶景观。香山红叶驰名中外，1986 年就被评为“新北京十六景”之一，是北京市最著名的红叶观赏地。香山彩叶树种以黄栌为主，这些黄栌栽植于清代乾隆年间，经过 200 多年来的发展，总株数近 10 万株，面积约 93.33hm^2（1400 亩）。每年香山红叶节期间，都会吸引北京及周边数百万游客赏红。近年来由于气候异常、极端天气增多、暖期变长、昼夜温差变小、日照时间长和持续的大风天气导致黄栌转色不稳定，通常未能完全转色就有部分脱落[1]，严重降低了红叶景观质量。

秋叶呈色由花青素、类胡萝卜素、叶绿素等叶片色素变化引起，这些色素的变化，往往与叶片衰老过程中的养分变化和重吸收有千丝万缕的联系[2-3]。果皮的呈色原理与秋叶呈色原理一致，目前生长调节剂与叶面肥在改善苹果（*Malus pumila*）、荔枝（*Litchi chinensis*）、番茄（*Solanum lycopersicum*）、柑橘（*Citrus reticulata*）等果皮颜色方面已有成熟应用[4-8]。据此，周肖红等[9]通过试验发现，生长调节剂乙烯利改变黄栌叶色效果最佳，但施用不当可能导致提前落叶。罗经仁[10]发现，施用复合肥对延长红叶期也有帮助。国际对于延长叶色期的研究主要在分子层面。如 Landi 等[11]、Anum 等[12]发现，通过对关键基因进行修改和调整环境变量（光诱导、低温诱导、酚类化合物诱导），可以在植物体内调整花青素的生物合成途径。Wang 等[13]发现，通过过表达或敲低林地草莓（*Fragaria vesca*）的 R2R3 MYB 激活因子 MYB10，可使花青素的浓度显著增加或减少。

目前，针对黄栌秋叶呈色的改善均处于理论研究阶段，尚未转化为实用技术开展规模化应用。本研究针对气候异常导致的黄栌转色不完全和落叶期早的问题，拟通过喷施不同类型叶面肥进行生理调控，探索延长黄栌红叶期、促进提前转色及迟滞落叶的有效养护方法，以期提高其观赏价值和生态效益。

1　材料与方法

1.1　试验材料

促进色素积累、提高植株抗逆性、迟滞落叶是黄栌红叶观赏期延长的主要原理。B 族维生素对叶片生长、光合作用、可溶性糖积累具有显著促进作用，常被应用于提高叶片抗逆性[14]，常见产品有叶面肥“高乐高 B 族”“日灼果”“植物红泮”等。钛肥可以促进类胡萝卜素、番茄红素、花青素等色素的积累，常被应用于植株催红转色，如番茄施用后红果数增加，红果率提高[7]，常见产品有叶面肥“泰格茂”“金泰靓”“植物红泮”等。苄氨基嘌呤、细胞分裂素可通过阻止叶片蛋白质的降解延缓叶片衰老[15]，常见产品有“兰月百生”“保美灵”“利花健果”等。氨基酸水溶肥料能够提高园林植株的抗逆性、观赏性[16]，常见产品有“谢得利”“根丰旺”“利根健叶”等。本试验供试材料选择北京市园林绿化领域应用广泛的 3 种叶面肥，具体见表 1。

表 1 试验用叶面肥及功效

主要成分	其他成分	品牌/商品名	功效
维生素 B 族肥料	螯合钛肥	北京中农瑞景生态科技有限公司/植物红泮	维生素 B 可使叶片增厚并提高叶片抗逆性,螯合钛肥可刺激植物产生更多色素,实现提前转色
苄氨基嘌呤类肥料	细胞分裂素	北京中农瑞景生态科技有限公司/利花健果	可延缓叶片衰老,降低黄栌树体由于低温产生的乙烯及脱落酸的含量,延后叶片脱落期
氨基酸水溶肥料	粮食酶解	北京中农瑞景生态科技有限公司/利根健叶	促进树木新生根毛生长,增强树木抗逆能力,抑制植物体乙烯分泌,防止植物早衰和生理性黄化

1.2 试验方法

1.2.1 试验时间

试验于 2024 年 4—11 月开展：4 月 8 日—10 月 9 日完成叶面肥喷施，10 月 17 日—11 月 15 日，每 4 天完成 1 次黄栌叶色变化的观测和记录。

1.2.2 试验分组

为减少人为干扰因素，试验选择在香山松堂苗圃（以下简称苗圃）和香山浅山知时亭（以下简称浅山）进行。两区域年降水量均为 600 mm，浅山区域海拔为 169 m，较苗圃区域高 92 m，气温低于苗圃区域 2~3 ℃。浅山土层较薄，苗圃土层较厚，受地形影响，浅山的土壤含水量略低于苗圃，苗圃土壤条件更加稳定。

在苗圃和浅山区域分别选取胸径 3~5 cm、长势相近的黄栌各 4 组，包括受试组 3 组，清水对照 1 组。苗圃每组 8 株，共 32 株；浅山每组 5 株，共 20 株。每处区域组间海拔、光照、郁闭度一致。除 3 种肥料搭配外，设清水对照组（表 2）。

表 2 试验分组及施肥安排

时期	施用方法	A1/QSA1	A2/QSA2	A3/QSA3	CK/QSCK
4 月 8 日	3 000 倍灌根 30 kg	维生素 B 族肥料	氨基酸水溶肥料	氨基酸水溶肥料	清水
5 月 11 日	1 000 倍叶喷	维生素 B 族肥料	氨基酸水溶肥料	氨基酸水溶肥料	清水
5 月 23 日	1 000 倍叶喷	维生素 B 族肥料	氨基酸水溶肥料	氨基酸水溶肥料	清水
6 月 11 日	1 000 倍叶喷	维生素 B 族肥料	氨基酸水溶肥料	氨基酸水溶肥料	清水
7 月 3 日	1 000 倍叶喷	维生素 B 族肥料	氨基酸水溶肥料	氨基酸水溶肥料	清水
8 月 21 日	1 000 倍叶喷	维生素 B 族肥料+苄氨基嘌呤类肥料	氨基酸水溶肥料	苄氨基嘌呤类肥料	清水
9 月 10 日	1 000 倍叶喷	维生素 B 族肥料+苄氨基嘌呤类肥料	氨基酸水溶肥料	苄氨基嘌呤类肥料	清水
9 月 27 日	1 000 倍叶喷	维生素 B 族肥料+苄氨基嘌呤类肥料	氨基酸水溶肥料	苄氨基嘌呤类肥料	清水
10 月 9 日	3 000 倍灌根 30 kg	维生素 B 族肥料+苄氨基嘌呤类肥料	氨基酸水溶肥料	苄氨基嘌呤类肥料	清水

注：A1、A2、A3 指苗圃区域受试组，CK 指苗圃区域对照组；QSA1、QSA2、QSA3 指浅山区域受试组，QSCK 指浅山区域对照组。

1.2.3 试验处理

本研究以叶绿素含量、花青素相对含量及叶片转色率为主要指标，监测黄栌叶片的转色进程；同时测定落叶率与叶片厚度，监测黄栌叶片衰老进程，并记录黄栌物候期，综合衡量叶面肥效果。

1）叶绿素含量测定。通过叶绿素测定仪（北京中科维禾仪器公司）现场测定，每株每次随机检测叶片 20 片，记录平均值[17]。

2）花青素相对含量测定。由实验室测定，每株每次随机摘取 3 片非调查样枝的叶片，经液氮充分研磨后送往实验室利用分光光度计检测花青素相对含量。向研磨后的花青素样本中加入 10 mL 盐酸（0.1 mol · L^{-1}）封口后，于 32℃提取 4 h 过滤后取上清液，用国产 754 型紫外分光光度计测定 530 nm 处的吸光度值（OD）。以每克鲜质量叶在 10 mL 提取液中 OD 值为 0.1 时的花青素浓度记为 1 个色素单位。所测得的 OD 值除以 0.1 即代表花青素相对含量（色素单位）。

3）叶片转色率计算。通过对黄栌固定样株 4 个方位的 1 m 长调查样枝上的总叶片数及变色叶片数进行记录，将统计结果进行均分，统合各样枝转色率，最终推导固定样株转色叶片量与总叶片量的比率为叶片转色率。

4）落叶率计算。调查黄栌固定样株 4 个方位的 1 m 长样枝上的总叶片数，叶片数量减少视为落叶，计算掉落叶片量与总叶片量的比率为落叶率。

5）叶片厚度测定。每株树随机选择 20 片发育正常叶片，用数显千分尺进行检测，求得每株树的平均叶片厚度。

6）植物物候期情况调查。在同年各个时期记录叶片颜色变化，分为红叶始期、红叶盛期、红叶末期 3 个物候期。在每株试验株的 4 个方位分别选择 1 m 长枝条 1 处，观测样枝全枝叶片 5%开始转变为红叶时为红叶始期；50%开始转变为红

叶且呈现一定景观效果时，为红叶盛期；80%均转变为红叶时，为红叶末期[18-19]。

1.3　数据分析

对数据进行趋势分析和方差分析。其中趋势图采用 Graphpad prism 9.5.1 软件绘制，方差分析使用 SPSS 25 软件进行，显著性均为 0.05。

2　结果与分析

2.1　叶面肥对黄栌叶片转色进程的影响

2.1.1　叶面肥对叶绿素含量的影响

各组叶绿素含量随时间变化趋势（图 1）表明，在 2024 年秋，随着时间的推移，各受试组及对照组黄栌叶绿素含量均呈现下降趋势。在苗圃试验中，A1、A2、CK 组叶绿素含量变化基本相同，A3 组 10 月 25—29 日，叶绿素含量高于其他组，SPAD 值分别达到 28.73、26.10，下降趋势较小。在浅山试验中，QSA2、QSA3 组叶绿素含量变化基本相同，在 10 月 25—29 日，叶绿素含量高于 QSA1、QSCK 组，其中 QSA3 组的 SPAD 值分别达到 34.92、26.66。

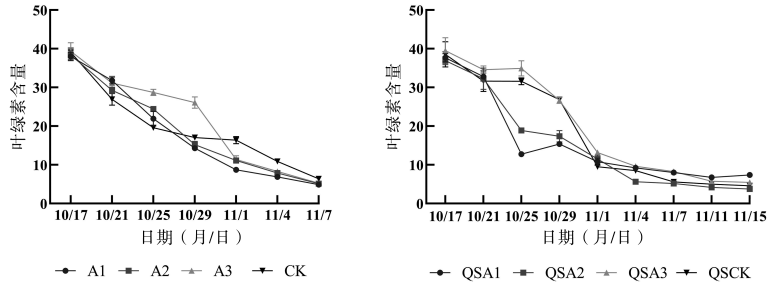


图 1　苗圃（左）和浅山（右）叶绿素含量变化趋势

各组叶绿素含量单因素方差分析（表 3）表明，苄氨基嘌呤类肥料与氨基酸水溶肥料的混合施用对叶绿素的影响最为显著（$P<0.05$）。在苗圃区域，A3 组叶绿素含量显著（$P<0.05$）高于其他组 10.22%以上；在浅山区域，QSA3 组叶绿素含量显著（$P<0.05$）高于其他组 9.84%以上。此外，在浅山试验区域，氨基酸水溶肥料单独施用的 QSA2 组，也显著高于 QSA1、QSCK，两组存在显著（$P<0.05$）差异。综上可知，苄氨基嘌呤类肥料与氨基酸水溶肥料混合施用能够延缓叶绿素分解。

表 3　叶绿素含量单因素分析

试验区域	叶绿素含量 SPAD 值（平均值±标准差）			
苗圃	A1	A2	A3	CK
	18.09±1.72a	18.78±2.44a	21.47±1.65b	19.48±3.20a
浅山	QSA1	QSA2	QSA3	QSCK
	15.16±2.51a	17.79±1.27b	19.54±2.94b	14.79±4.52a

注：不同小写字母表示处理间差异显著（$P<0.05$）；下同。

2.1.2　叶面肥对花青素相对含量的影响

各组花青素相对含量随时间变化趋势（图 2）表明，10 月 17 日—11 月 1 日，各组花青素相对含量均呈上升趋势，11 月 1 日后，苗圃区域的黄栌转色进程基本停止。

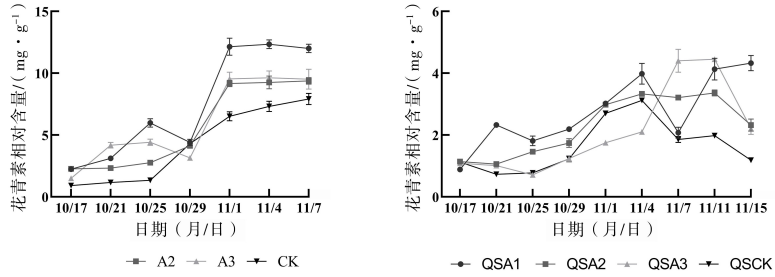


图 2　苗圃（左）和浅山（右）花青素相对含量变化趋势

在苗圃区域，A1、A2、A3 受试组花青素相对含量自 11 月 1 日后基本停止变化且明显高于对照组，其中 A1 组花青素相对含量最高，在 11 月 1 日已达到 12.14 mg·g^{-1}，高于 CK 组 86.17%。

在浅山区域，受试株受环境因素影响大，花青素相对含量变化趋势存在明显波动，但 10 月 17—11 月 5 日，QSA1 组皆为花青素相对含量最高组。

各组花青素相对含量单因素方差分析（表 4）表明，维生素 B 族肥料与苄氨基嘌呤类肥料的混合施用对花青素的影响最显著（$P<0.05$）。在苗圃区域，A1 组花青素相对含量显著（$P<0.05$）高于其他组 24.54%以上；在浅山区域，QSA1 组花青素相对含量显著（$P<0.05$）高于其他组 11.79%以上。综上可知，维生素 B 族肥料与苄氨基嘌呤类肥料的混合施用能够促进花青素的积累，花青素相对含量高、上升速度快，说明该组潜在表现出红叶的能力最强。

表 4 花青素相对含量单因素分析

试验区域	花青素相对含量/(mg·g^{-1})（平均值±标准差）			
苗圃	A1	A2	A3	CK
	7.46±0.48a	5.61±0.55b	5.99±0.41b	4.21±0.44b
浅山	QSA1	QSA2	QSA3	QSCK
	2.37±0.56a	2.12±0.20b	1.96±0.13b	1.64±0.31b

2.1.3 叶面肥对叶片转色率的影响

维生素 B 族肥料和苄氨基嘌呤类肥料的混合施用对叶片转色率的影响如图 3 所示：在苗圃区域，各组叶片转色率在 10 月 17 日—11 月 4 日处于持续上升趋势，A1、A2 组转色率始终高于其他各组，截至 11 月 7 日，均高于对照组 13.63%；在浅山区域，各组叶片转色率在 10 月 17 日—11 月 15 日处于持续上升趋势，QSA1 组转色率始终高于其他各组，截至 11 月 15 日，高于对照组 11.11%。表明维生素 B 族肥料和苄氨基嘌呤类肥料的混合施用能促进黄栌叶片的转色进程。

2.2 叶面肥对黄栌叶片衰老进程的影响

2.2.1 叶面肥对落叶率的影响

苄氨基嘌呤类肥料和氨基酸水溶肥料的混合施用对落叶率的影响如图 4 所示，各组平均落叶率均处于持续上升趋势。在苗圃区域，各组落叶率在 10 月 17 日—11 月 7 日处于持续上升趋势，A3 组落叶率始终低于其他各组，截止 11 月 7 日，低于对照组 23.46%，A1、A2 两组落叶率始终相近，介于 CK 组和 A3 组之间；在浅山区域，平均落叶率变化趋势与苗圃区域相似。这表明苄氨基嘌呤类肥料和氨基酸水溶肥料的混合施用能延缓黄栌叶片的落叶进程。

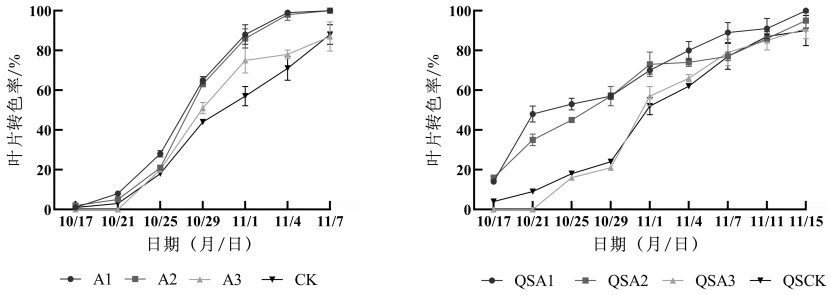


图 3 苗圃（左）和浅山（右）叶片转色率变化趋势

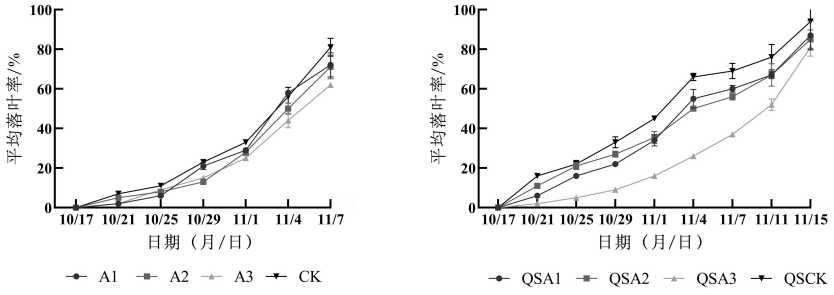


图 4 苗圃（左）和浅山（右）叶片落叶率变化趋势

2.2.2 叶面肥对叶片厚度的影响

维生素 B 族肥料与苄氨基嘌呤类肥料的混合施用对叶片厚度的影响最显著（表 5）：在苗圃区域，A1 组叶片厚度显著高于其他组 10.00%以上；在浅山区域，QSA1 组叶片厚度显著高于其他组 4.76%以上。

表 5　叶片厚度单因素分析

试验区域	叶片厚度/mm（平均值±标准差）			
苗圃	A1	A2	A3	CK
	0.22±0.02a	0.20±0.01b	0.20±0.02a	0.19±0.01b
浅山	QSA1	QSA2	QSA3	QSCK
	0.22±0.01a	0.20±0.03b	0.21±0.02a	0.20±0.03b

2.3　植物物候期情况

物候期调查结果（表 6）表明，除 A2 组外，其他各组红叶期天数均多于对照组。在苗圃区域，A1 组最早于 10 月 17 日开始进入红叶始期，A3 组处于红叶期的天数最长，达 22 天；在浅山区域，也呈现同样规律，QSA1 组最早于 10 月 17 日开始进入红叶始期，QSA3 组处于红叶期的天数最长，达 25 天）。这表明维生素 B 族肥料和苄氨基嘌呤类肥料混合施用可促进植株提早转色；氨基酸水溶肥料和苄氨基嘌呤类肥料的混合施用可迟滞黄栌落叶，延长黄栌落叶期。

表 6　试验物候期调查

试验区	处理	物候期			
		红叶始期	红叶盛期	红叶末期	红叶期天数
苗圃	A1	10 月 17 日	10 月 29 日	11 月 4 日	19
	A2	10 月 21 日	11 月 1 日	11 月 7 日	18
	A3	10 月 21 日	11 月 1 日	11 月 11 日	22
	CK	10 月 25 日	11 月 4 日	11 月 11 日	18
浅山	QSA1	10 月 17 日	11 月 1 日	11 月 7 日	22
	QSA2	10 月 21 日	11 月 1 日	11 月 11 日	22
	QSA3	10 月 21 日	11 月 1 日	11 月 15 日	25
	QSCK	10 月 25 日	11 月 1 日	11 月 11 日	18

3　讨论

3.1　维生素 B 族肥料及所含其他成分对黄栌转色期的影响

研究表明，维生素 B 族肥料可提高植株可溶性糖分的含量[14]，而可溶性糖分的积累可促进花青素的合成，两者呈正相关[20]。因此可溶性糖分含量越高，花青素含量越高，叶片转色期越提前。维生素 B 族肥料的有效成分螯合钛可促进类胡萝卜素、花青素等次生色素的生物合成，同时能促进植物自然转色[21]。叶绿素含量下降，花青素含量增加，是黄栌叶片绿色褪去、红色显现的主要原因[22]。因此在本试验中，维生素 B 族肥料受试组花青素含量最高，在苗圃区域和浅山区域花青素相对含量的平均值分别高于各组 24.54%、11.79%以上，同时受试株转色最早，提前转色 3~4 天。

此外，维生素 B 族肥料的施用可增加栅栏细胞厚度，使叶片变厚[23]。维生素 B 族肥料含有的钛作为植物生长的有益元素，能够增强植物抗逆能力，通常以螯合钛的形态被植物吸收利用[24]。喷施肽肥可增加叶片脯氨酸含量，进而增强植物抗逆性，延缓叶片衰老，迟滞落叶期。本研究发现，受试株叶片最厚，叶片厚度的平均值分别高于各组 10.00%、4.76%，落叶期较对照组晚 1~4 天。

3.2　苄氨基嘌呤类肥与氨基酸水溶肥料延缓叶片衰老的生理基础

苄氨基嘌呤是植物的一种抗衰老剂，具有较高的细胞分裂素活性，可抑制细胞内核酸与蛋白质的分解，使细胞保持完整，并抑制植物叶绿素的降解[25]。含氨基酸水溶肥料能够促进植物生长，增强作物光合作用，增强植物的抗逆性和抗病虫害能力[16]。通过增强植株抗逆性、抑制乙烯、脱落酸分泌，达到迟滞落叶的效果。本研究发现，A3 组迟滞落叶效果最好，红叶期较 CK 组长 4~7 天。

3.3　有利于改善黄栌红叶观赏期的其他技术

除应用叶面肥外，能够影响黄栌红叶期的因素还包括海拔、温度、光照等环境因素，以及开展精细化养护、绿色防控、使用植物生长调节剂等人为因素。如对上述因素进行综合利用，更能促进黄栌红叶观赏期的延长。例如，合理进行植物搭配，减少大风对黄栌落叶的影响；在转色前（10 月上旬）和转色后（10 月下旬—11 月上旬）通过灌溉增加林间湿度和叶片含水量，均能够延长黄栌观赏期[22]。在黄栌丽木虱（*Calophya rhois*）、缀叶丛螟（*Locastra muscosalia*）及黄栌白

粉病（*Sphaerotheca fuliginea*）危害期及时开展防控工作能够避免黄栌落叶期早、观赏性差的问题。在9月中旬，喷施添加杀菌剂的200 mmol·L^{-1}的蔗糖溶液、4.8 mmol·L^{-1}的柠檬酸、500 mg·L^{-1}乙烯利水溶液能够提前黄栌观赏期[22,26]。施用黄栌叶色调控剂、赤霉素、水杨酸等能够延长或影响黄栌红叶期[27]。此外，有研究证明海拔对于黄栌的转色存在一定影响，本研究发现，尽管受到海拔高度影响，但施用叶面肥仍能达到预期效果。

4 结论

研究表明，维生素B族肥料与苄氨基嘌呤类肥混合施用有利于黄栌叶片花青素的积累，促进秋叶呈色，使红叶观赏期提前3~4天，同时具有一定提升叶片厚度与抗逆性，进而迟滞落叶的效果。苄氨基嘌呤类肥料与氨基酸水溶肥料混合施用可延缓叶绿素分解，提高植株抗逆性，并具有延缓黄栌叶片衰老、落叶进程的作用，但这一肥料组合对秋叶呈色并无显著影响。相比之下，维生素B族与苄氨基嘌呤混合施用时，黄栌不仅转色效果更佳，且可延长黄栌红叶期，呈现更好的黄栌红叶观赏效果。

参考文献

[1]李林珂,王一诺,薛潇,等.黄栌光合和呈色特性对重庆阴雨天气的响应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(5):95-103.

[2]LEV-YADUN S.The phenomenon of red and yellow autumn leaves:hypotheses,agreements and disagreements[J].Journal of Evolutionary Biology,2022,35(10):1245-1282.

[3]TAN X,WANG W H,GAO L,et al.The difference in leaf color quality of Cotinus coggygria during the coloration peak period affected by soil and topographic heterogeneity[J].Catena,2023,228:107140.

[4]LI Z H,GEMMA H,IWAHORI S.Stimulation of 'Fuji' apple skin color by ethephon and phosphorus-calcium mixed compounds in relation to flavonoid synthesis[J].Scientia Horticulturae,2002,94(1/2):193-199.

[5]WHALE S K,SINGH Z,BEHBOUDIAN M H,et al.Fruit quality in 'Cripp's Pink' apple,especially colour,as affected by preharvest sprays of aminoethoxyvinylglycine and ethephon[J].Scientia Horticulturae,2008,115(4):342-351.

[6]WANG H C,HUANG H B,HUANG X M.Differential effects of abscisic acid and ethylene on the fruit maturation of Litchi chinensis Sonn[J].Plant Growth Regulation,2007,52(3):189-198.

[7]续建国.施用钛肥对台湾圣女番茄植株生长及产量品质的影响[J].种子科技,2024,42(16):1-4,8.

[8]胡艳燕,郝进杰,杨剑虹,等.叶面喷施钛肥对柑桔品质的影响[J].中国南方果树,2006,35(3):13-14.

[9]周肖红,葛雨萱,王亮生,等.黄栌叶片变色期生理变化及植物生长调节剂对叶色的影响[J].林业科学,2009,45(7):59-62.

[10]罗经仁,李云霞,周玲红,等.延长红叶石楠红叶期调控技术研究[J].科技信息,2009(25):770.

[11]LANDI M,TATTINI M,GOULD K S.Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions[J].Environmental and Experimental Botany,2015,119:4-17.

[12]ANUM H,LI K,TABUSAM J,et al.Regulation of anthocyanin synthesis in red lettuce in plant factory conditions:a review[J].Food Chemistry,2024,458:140111.

[13]KUI L W,MCGHIE T K,WANG M,et al.Engineering the anthocyanin regulatory complex of strawberry (Fragariavesca)[J].Frontiers in Plant Science,2014,5:651.

[14]于文章.土施四种B族维生素对'富士'苹果叶片营养及果实品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2017.

[15]赵毓桔.6-苄氨基嘌呤延缓小麦叶片衰老机制的研究[J].植物生理学报,1978,4(1):39-50.

[16]卢云峰,王木琳,贾冬冬,等.含氨基酸水溶肥料应用的研究进展[J].浙江农业科学,2022,63(1):1-4.

[17]田丽媛.温湿度对北京5种秋色叶树种秋叶变色的影响[D].北京:北京林业大学,2012.

[18]吴焦焦,田秋玲,谭星,等.氮磷钾肥配施对黄栌生长和叶片呈色的影响[J].林业科学,2021,57(11):179-189.

[19]吴萌萌.黄栌优株选择及其叶片呈色期间生理生化的研究[D].合肥:安徽农业大学,2019.

[20]廖君琳.环境对不同品种紫薯花青素积累、产量和农艺性状的影响[D].杭州:浙江大学,2023.

[21]邓雪梅.抗水解稳定离子钛对红提葡萄品质的影响[J].四川农业与农机,2019(1):28-29,31.

[22]葛雨萱,王亮生,周肖红,等.香山黄栌叶色和色素组成的相互关系及时空变化[J].林业科学,2011,47(4):38-42.

[23]陈清西.维生素B对若干常绿果树生长和光合作用的影响[J].福建农业大学学报,1995,24(4):410-413.

[24]汪亚龙,钟纯,张洪江,等.螯合钛肥在叶菜类和果蔬类作物上的应用[J].磷肥与复肥,2023,38(3):50-52.

[25]吴建辉,陈清香,覃振强,等.赤霉素和苄氨基嘌呤对柑橘产量及其品质的影响[J].浙江农业科学,2009,50(4):671-672.

[26]北京市园林绿化局.黄栌景观林养护技术规程(DB11/T 1358-2016)[S].北京:北京市质量技术监督局,2016.

[27]葛雨萱,周肖红,刘洋,等.黄栌属种质资源、栽培繁殖、化学成分、叶色调控研究进展[J].园艺学报,2014,41(9):1833-1845.