

校园银杏树叶早衰变黄以及不同树个体间差异研究

卢络天¹, 黄文楠¹, 曾佳怡¹, 叶喜阳³, 徐秋芳^{1,2*}

(1. 浙江农林大学 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学环境与资源学院, 浙江 杭州 311300; 3. 浙江农林大学植物园管理办公室, 浙江 杭州 311300)

摘要:【目的】为探索银杏树叶早衰变黄以及不同树之间差异原因。【方法】选择距离相邻、叶色差异明显的 7 组树 (A 组绿色、B 组黄色), 分别于 5 月和 10 月份采集叶片、10 月采集对应的土壤样品, 分析叶片色素、可溶性糖和氮磷钾含量, 以及土壤容重、含水率、pH 和有效氮磷钾含量。【结果】5 月份银杏叶片 A、B 两组颜色及叶绿素总量没有差异, 所有叶片中叶绿素占比均高于 60%, A 组叶片类胡萝卜素和花色素苷含量显著高于 ($P < 0.05$) B 组; A 组银杏叶片全氮含量显著高于 B 组 ($P < 0.05$)。10 月份时银杏叶片 A、B 两组颜色差异明显, A 组叶绿素 a 和 b 含量、及其总量均显著高于 B 组 ($P < 0.05$), A 和 B 组叶绿素总量占比分别为 58.3% 和 48.8%, 其余色素指标均无显著差异。A 组叶片全氮含量平均值 (14.07 g kg^{-1}) 高于 B 组 (12.73 g kg^{-1}), 分别比 5 月份下降了 34.4% 和 32.2%。A、B 两组之间土层 10~20 cm 的容重和含水率差异显著, 土壤养分差异不显著, 但其含量丰富。【结论】叶片早衰变黄以及不同树个体之间差异的原因是植株氮、磷水平偏低, 主要是土壤坚实影响植物养分吸收。建议校园管理处重点疏松土壤, 增加氮素供应。

关键词: 银杏; 植物色素; 可溶性糖; 土壤理化性质

中图分类号: S792.95 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2023)04-0822-09

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2022040807

卢络天, 黄文楠, 曾佳怡, 叶喜阳, 徐秋芳. 校园银杏树叶早衰变黄以及不同树个体间差异研究 [J]. 土壤通报, 2023, 54(4): 822-830

LU Luo-tian, HUANG Wen-nan, ZENG Jia-yi, YE Xi-yang, XU Qiu-fang. Causes of Premature Aging and Yellowing of *Ginkgo biloba* Leaves and Differences among Trees in Campus[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(4): 822-830

【研究意义】银杏 (*Ginkgo biloba* L.)^[1], 为银杏科、银杏属落叶乔木, 是我国特有、世界公认的一种珍惜名贵树种, 兼备药用、生态、观赏价值, 是近些年来园林绿化中的热门彩叶植物之一, 是目前常用的城市行道树和绿化树^[2]。秋季时银杏树叶色因温度降低由绿变黄, 且具有较为一致的变色期、较长的观赏期和整齐的落叶期。但实际情况远比理论复杂, 众多环境因素综合作用会破坏其原有的叶色协调性, 直接影响银杏的观赏价值^[3]。为了达到最佳观赏效果, 许多研究者开展了彩叶植物叶色形成及其生理学机理的研究。叶色转变的直接原因是细胞色素含量及其相对占比变化, 其中花色素苷和类胡萝卜素含量比例是影响叶片颜色最主要因素^[4]。

【前人研究进展】研究表明, 影响花色素苷合

成和积累的因素除了光照、温度、水分、土壤理化性质等环境因子外, 彩叶植物叶片中可溶性糖等内含物与花色素苷的合成也密切相关, 此外植物叶片中的生理结构变异同样影响彩叶植物的呈色效果。光照对花色素苷生成有促进作用, 且光照越强则促进作用越大, 葛雨萱^[5]等人研究表明, 一定程度上提高光强可增加黄栌^[5]、乌桕^[6]、元宝枫^[7]等彩叶植物叶片中花色素苷含量与相对比例, 进而影响叶片颜色。而遮光会影响彩叶植物的 TCA 循环, 阻碍碳水化合物积累, 继而使花色素苷合成受到严重抑制。遮光处理影响绝大多数彩叶植物叶绿素、类胡萝卜素以及花色素苷含量的比值, 而且随着遮光程度增加, 中华金叶榆 (*Ulmus pumila* 'Jinye') 出现反绿现象^[8], 主要与花色素苷/Ca + b 的比值及类胡萝卜素/

收稿日期: 2022-04-08; 修订日期: 2022-09-13

基金项目: 大学生创新创业教育基金项目 (202010341015) 资助

作者简介: 卢络天 (2000-), 从事农业资源与环境研究。E-mail: luotianlu@stu.zafu.edu.cn

*通讯作者: E-mail: xuqiuqiang@zafu.edu.cn

Ca + b 的比值均下降有关。季节交替除了光照变化, 同时也存在温度变化。昼/夜的低温处理 (15 °C/10 °C) 会增强苯丙氨酶 (PAL) 活性, 增加黄酮类化合物成分, 更有利于银杏叶片黄酮类化合物的积累^[9]。高温会抑制葡萄浆果花青素生物合成基因 mRNA 转录, 减少花青素积累^[10]。除光照和温度条件外, 土壤养分含量是保持彩叶植物叶片呈色的重要条件。陈继卫等研究表明, 变色期间植物的低氮和高磷钾条件更有利于花色素苷的合成^[9]。土壤适当缺磷有助于红花槭叶片花色素苷的表达, 使叶片更加鲜艳^[10]。张霞^[11]等研究发现, 施钾处理能增加紫甘薯块根中 ANS、UFGF 基因的表达, 促进无色花色素向花青素的转变。银杏转色变黄的主要原因是类胡萝卜素占比提高^[12], 不同色素的代谢途径受温度影响的机制不同, 类胡萝卜素稳定性较好, 对温度变化的适应性较强, 分解速度缓慢。在变色过程中, 类胡萝卜素含量比较稳定, 类胡萝卜素含量前期较高, 后随类黄酮和花青苷的大量合成, 其含量逐渐降低, 由于低温加速叶绿素的分解, 因此其相对含量从变色初期到变色末基本成缓慢上升趋势^[13]。

【本研究切入点】银杏作为校园一张亮丽的明信片, 融自然景观与人文景观于一体, 在秋季成为一道亮丽风景线, 既美化校园环境, 又充分体现校园深厚的文化特色。然而, 自 2018 年以来, 校园银杏大道两旁的银杏出现长势变差、叶片黄化时间提前的现象, 且不同植株间起始黄化时间以及黄叶持续时间长度呈现明显差异, 严重影响校园银杏秋季黄叶的观赏性。据调查, 校园银杏种植于 2002 年, 所有苗木最初大小基本一致, 基于校园内气候条件一致的实际情况, 推测导致银杏长势差异的主要原因可能是土壤水分、通气性以及养分状况等因子。

【拟解决的问题】本研究以校园银杏叶片及其根系周围土壤为研究对象, 测定其变色期的银杏叶片细胞内色素情况, 植物叶片营养元素以及土壤理化性质, 探究土壤养分状况与物理性质对银杏生长、秋叶呈色的影响, 为改善银杏生长、保证银杏最佳生长条件、延长黄叶时间提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省杭州市临安区武肃街 (30°15'29.8" N, 119°44'10.9" E), 属于亚热带季风气候,

全年平均气温 16.4 °C, 全年日照时数 1847.3 h, 年均降水量 1613.9 mm, 降水日 158 d, 无霜期年平均为 237 d。研究区内银杏种植于 2002 年, 一直保持统一管理, 距今共施用鸡粪有机肥两年, 除此之外无其他施肥管理记录。

1.2 样品采集与处理

2019 年, 根据历年校园银杏大道两侧银杏叶色及生长情况, 将所调查的银杏分为 A、B 两组, 共计 7 对 14 棵银杏; A 组较 B 组的起始黄叶时间晚、生长情况佳。在银杏叶色无差异的 5 月和叶色呈现分异的 10 月中旬分别集叶片样品, 10 月还采集根系周围土壤样品。叶片采回后用清水冲洗、最后用去离子水洗后装入信封, 当天用新鲜样品测定色素和可溶性糖含量; 剩余样品杀青后烘干用于元素含量测定。土壤样品采集, 在同一采集单元内, 多点取土, 采集混合土样, 采集深度为 0~20 cm。土样采集后带回实验室于阴凉处风干, 风干后土样研磨过 2 mm 筛装袋备用。

1.3 分析方法

1.3.1 植物样品 植物叶片的叶绿素、类胡萝卜素、可溶性糖含量的测定参照李合生^[14]的方法。花色素苷含量测定参照 Lee 等^[15]的方法, 略作改动。取 0.1 g 叶片洗净, 避开茎脉剪碎, 用 10 ml 0.1% 盐酸乙醇溶液浸提, 测定 530、620 和 650 nm 处的吸光值。植物全磷、全钾、全氮含量测定参照鲍氏旦^[16]的方法, 取烘干粉碎后样品 0.1000~0.2000 g, 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 联合消煮法进行前处理, 全氮用碱解扩散法、全磷采用钼锑抗比色法、全钾采用火焰光度法测。**1.3.2 土壤样品** 土壤理化性质参考鲍士旦^[16]编著的《土壤农化分析》方法, 土壤容重采用环刀法测定, 土壤含水量采用重量法测定。土壤 pH 采用 pH 计测定, 土水比为 1:5。土壤有机碳和全氮采用 Elementar 元素分析仪 (Vario EL cube, 德国) 测定。土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定, 速效钾含量采用乙酸铵浸提—火焰光度法测定, 有效磷含量采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法测定。

1.4 数据处理

所有试验数据借助 Microsoft Excel 2003 进行数据预处理, SPSS 22.0 版软件进行相关统计分析, 采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和最小显著差数 (LSD) 法进行显著性检验和多重比较 ($\alpha = 0.05$), 并使用 Origin 2018 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 银杏叶色与色素含量

五月份几个呈色相关色素含量结果表明(表1), A组银杏叶片类胡萝卜素含量($P < 0.05$)显著高于B组, 但两组银杏叶片的叶绿素和花色苷含量则无显著差异; A、B两组之间叶片的可溶性糖含量也无显著差异。将各类色素指标标准化后可知(图1A), A、B两组银杏叶片中叶绿素 a + b 占细胞色素的百

分比均超过 60% (叶片呈现绿色的临界值)^[17], 其中 A 组变幅 76.0% ~ 84.6%、平均值 80.3%, B 组变幅 77.4% ~ 84.6%、平均值 81.7%, 而对应的类胡萝卜素占比分别为 A 组 15.7% (12.9% ~ 17.9%) 和 B 组 15.5% (12.4% ~ 20.1%), 花色苷占比分别为 A 组 3.91% (1.62% ~ 8.80%) 和 B 组 2.91% (1.11% ~ 5.89%), 由此可知, 叶绿素在影响叶片呈色效果中具有绝对优势, 因此, 虽然 A 组类胡萝卜素显著高于 B 组, 叶色没有明显差异。

表 1 银杏叶片色素和可溶性糖含量(5 月份)
Table 1 Content of pigment and soluble sugar of *Ginkgo biloba* leaves (in May)

分组 Group	叶绿素a Chla (mg kg ⁻¹)	叶绿素b Chlb (mg kg ⁻¹)	叶绿素 Chla + Chlb (mg kg ⁻¹)	类胡萝卜素 Carotenoid (mg kg ⁻¹)	花色苷 Anthocyanin (mg kg ⁻¹)	可溶性糖 Soluble sugar (mg kg ⁻¹)
A1	2.21	0.42	2.63	0.54	0.31	1.12
A2	3.12	0.96	4.07	0.73	0.15	1.03
A3	2.58	0.55	3.26	0.64	0.15	0.25
A4	1.92	0.42	2.35	0.47	0.12	1.44
A5	3.14	0.64	3.78	0.72	0.15	1.00
A6	3.54	0.63	4.10	0.80	0.08	1.42
A7	4.27	0.79	5.07	0.77	0.11	1.15
平均值	2.97 ± 0.75 a	0.63 ± 0.18 a	3.61 ± 0.87 a	0.68 ± 0.11 a	0.15 ± 0.07 a	1.06 ± 0.37 a
B1	2.60	0.58	3.18	0.55	0.08	1.15
B2	3.69	0.76	4.46	0.70	0.08	0.82
B3	3.13	0.66	3.78	0.67	0.22	1.02
B4	2.61	0.55	3.16	0.65	0.19	0.96
B5	1.76	0.34	2.11	0.56	0.03	1.22
B6	3.35	0.76	4.11	0.63	0.21	0.90
B7	3.48	0.75	4.23	0.73	0.09	1.19
平均值	2.95 ± 0.62 a	0.63 ± 0.14 a	3.58 ± 0.76 a	0.65 ± 0.063 b	0.13 ± 0.070 b	1.04 ± 0.14 a

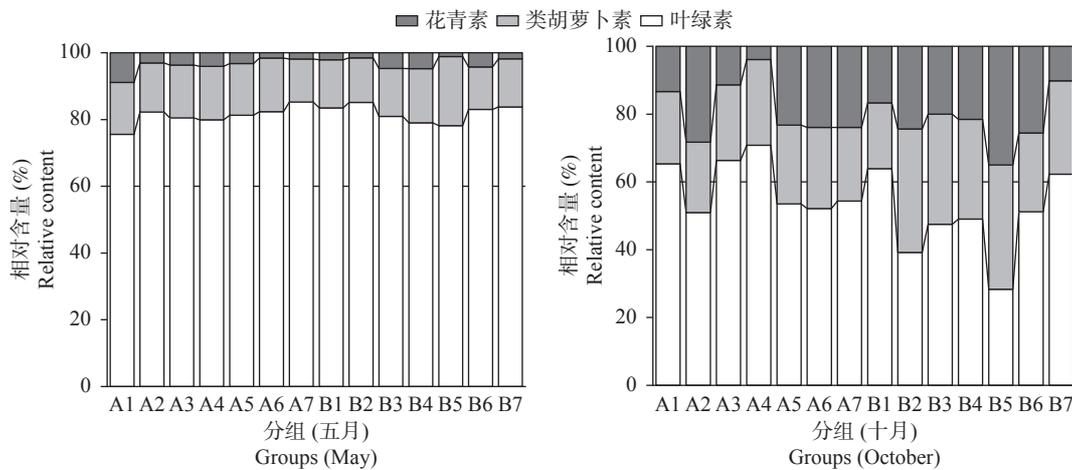


图 1 银杏叶 5 月份 (A) 和 10 月份 (B) 不同色素占总色素的相对比例

Fig. 1 Relative proportion of different pigments in total pigments of *Ginkgo biloba* leaves in May (A) and October (B)

叶绿素 a 与 b 之间 ($R^2 = 0.819$, $P < 0.01$), 叶绿素 a 与 a + b ($R^2 = 0.991$, $P < 0.01$)、叶绿素 b

与 a + b 之间 ($R^2 = 0.882$, $P < 0.01$) 均呈极显著正相关。类胡萝卜素含量和叶绿素 a、b 和 a + b 总量

之间均呈极显著正相关 ($R^2 = 0.855$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.723$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.850$, $P < 0.01$)。

十月份时 A 和 B 组银杏叶色出现分异, 基于视觉判断, 我们将叶色分为四个等级: IV (浓绿)、III (鲜绿)、II (鲜绿偏黄)、I (黄绿), 对银杏叶观测比较发现, A 组叶色等级总体明显大于 B 组, A 和 B 单组对比 (如 A1 与 B1) 也呈现相同规律 (表 2)。叶色等级与色素含量及相对比例密切相关, 本次样品中最高为 IV 级 (浓绿), 银杏叶片叶绿素 a 和叶绿素 a + b 的平均值分别为 0.232 mg g^{-1} 和 0.385 mg g^{-1} , 均显著高于其他等级的对应含量 ($P < 0.05$)。分组比较发现, A 组叶片的叶绿素 a 和 b 含量、以及 a + b 总量平均值均显著高于 B 组

($P < 0.05$)。然而, A 组叶片可溶性糖含量则显著低于 B 组 ($P < 0.05$); 两组之间的其余色素指标均无显著差异。通过单位标准化计算得出叶绿素、类胡萝卜素和花青素相对百分比表征叶色变化 (图 1B), 结果表明, 叶绿素总量占比 60% 以上为绿色、胡萝卜素和花色素苷之和大于 40% 为黄色、花色素苷含量大于 20% 为彩色; A 和 B 组叶绿素总量占比分别为 58.3% 和 48.8%, 叶色为 I 级 (黄绿) 的胡萝卜素和花色素苷相对含量之和均大于 40% (51.3% ~ 65.7%), 平均值为 57.5%, 其中类胡萝卜素相对含量大于 20% (21.7% ~ 36.2%), 平均值为 30.1%, 花色素苷相对含量也接近或大于 20% (19.8% ~ 30.0%), 平均值为 27.4%。

表 2 色素、可溶性糖含量和叶色分级情况(10 月)
Table 2 Content of pigment, soluble sugar and classification of leaf color (in October)

分组 Group	叶绿素a Chla (mg kg^{-1})	叶绿素b Chlb (mg kg^{-1})	叶绿素 Chla + Chlb (mg kg^{-1})	类胡萝卜素 Carotenoid (mg kg^{-1})	花色素苷 Anthocyanin (mg kg^{-1})	可溶性糖 WSS (mg kg^{-1})	颜色分级 Color grade (mg kg^{-1})
A1	0.31	0.12	0.49	0.16	0.10	0.33	IV
A2	0.16	0.11	0.27	0.11	0.15	0.39	II
A3	0.17	0.11	0.28	0.094	0.048	0.34	II
A4	0.24	0.18	0.42	0.15	0.023	0.35	IV
A5	0.14	0.095	0.23	0.10	0.10	0.45	III
A6	0.15	0.094	0.24	0.11	0.11	0.46	III
A7	0.14	0.10	0.25	0.10	0.11	0.41	IV
平均值	$0.19 \pm 0.060 \text{ a}$	$0.13 \pm 0.035 \text{ a}$	$0.31 \pm 0.094 \text{ a}$	$0.12 \pm 0.024 \text{ a}$	$0.090 \pm 0.038 \text{ a}$	$0.39 \pm 0.048 \text{ b}$	—
B1	0.27	0.19	0.46	0.14	0.12	0.29	III
B2	0.076	0.067	0.14	0.13	0.087	0.61	I
B3	0.11	0.082	0.19	0.13	0.080	0.42	I
B4	0.12	0.077	0.20	0.12	0.088	0.44	I
B5	0.082	0.090	0.17	0.22	0.21	0.63	I
B6	0.13	0.099	0.22	0.10	0.11	0.46	II
B7	0.11	0.085	0.19	0.084	0.031	0.43	II
平均值	$0.13 \pm 0.061 \text{ b}$	$0.099 \pm 0.039 \text{ b}$	$0.23 \pm 0.10 \text{ b}$	$0.12 \pm 0.040 \text{ a}$	$0.091 \pm 0.050 \text{ a}$	$0.47 \pm 0.11 \text{ a}$	—

10 月份不同指标之间的关系与 5 月份类似, 叶绿素 a 与 b 之间 ($R^2 = 0.955$, $P < 0.01$), 叶绿素 a 与 a + b ($R^2 = 0.994$, $P < 0.01$)、叶绿素 b 与 a + b 之间 ($R^2 = 0.982$, $P < 0.01$) 均呈极显著正相关。可溶性糖含量和叶绿素 a、b 和 a + b 总量之间均呈极显著负相关 ($R^2 = -0.789$, $P < 0.01$; $R^2 = -0.712$, $P < 0.01$; $R^2 = -0.769$, $P < 0.01$)。叶片中类胡萝卜素含量与花色素苷含量呈显著正相关 ($R^2 = 0.570$, $P < 0.05$)。

5 月份与 10 月份色素指标合并分析显示, 除花色素苷外, 几种色素之间均呈极显著相关。叶绿素 a、b 以及其总量相互之间均呈现极显著正相关 ($P < 0.01$); 类胡萝卜素含量分别与叶绿素 a、b 及其总量呈极显著正相关 ($R^2 = 0.981$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.952$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.980$, $P < 0.01$)。可溶性糖含量和叶绿素 a、b 及其总量呈极显著正相关 ($R^2 = 0.768$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.710$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.755$, $P < 0.01$), 可溶性糖与类胡萝卜素含量呈现极显著

正相关 ($R^2 = 0.797$, $P < 0.01$)。

2.2 银杏叶片营养元素含量及其与色素指标的关系

由表 3 银杏叶片元素含量可知, 5 月份样品虽然 A 和 B 两组的叶色没有显著差异, 但 A 组叶片全氮含量显著高于 B 组 ($P < 0.05$), 除第 7 对 (A7 Vs B7) 以外, A 组的各单株样品均高于 B 组, 但同组样品个体之间的变异也不小。叶片全磷含量和全钾含量两组之间无显著差异, 且并未发现所有单个 A 高于对应单个 B, 或相反的一致规律。A 组叶片全磷和全钾平均值分别略低于和高于 B 组, 但由于组间

的变异影响, 没有达到显著差异水平。10 月份样品 A 和 B 两组的叶色肉眼可见差异, 叶片 A 组全氮含量的平均值 (14.07 g kg^{-1}) 也高于 B 组 (12.73 g kg^{-1}), 但没有达到显著水平; 两组叶片全磷和全钾含量没有显著性差异。10 月份银杏叶片全氮、全磷和全钾含量普遍低于 5 月份。根据 10 月份银杏养分含量、色素含量间的相关分析可以看出, 银杏叶片全氮含量与叶片全磷 ($R^2 = 0.253$, $P < 0.01$)、全钾 ($R^2 = 0.189$, $P < 0.01$) 呈现极显著负相关。

表 3 银杏叶片样品营养元素含量
Table 3 Contents of nutrient elements in *Ginkgo biloba* leaves

分组 Group	全氮 Total N (g kg^{-1})		全磷 Total P (g kg^{-1})		全钾 Total K (g kg^{-1})	
	5月 May	10月 October	5月 May	10月 October	5月 May	10月 October
A1	21.09	13.52	2.57	1.26	9.23	5.40
A2	19.14	14.01	3.67	1.74	10.55	6.20
A3	24.82	15.97	2.41	1.96	6.42	10.40
A4	18.74	11.07	1.90	1.56	7.19	3.40
A5	17.63	14.01	3.11	1.64	9.88	10.30
A6	25.85	15.39	1.98	1.03	7.94	5.20
A7	22.89	14.50	2.93	1.23	6.03	6.00
平均值	$21.45 \pm 2.93 \text{ a}$	$14.07 \pm 1.46 \text{ a}$	$2.65 \pm 0.59 \text{ a}$	$1.49 \pm 0.30 \text{ a}$	$8.18 \pm 1.62 \text{ a}$	$6.70 \pm 2.46 \text{ a}$
B1	17.71	12.54	4.15	2.02	9.958	9.30
B2	13.77	13.72	3.08	1.61	10.027	10.00
B3	18.47	12.94	2.88	1.15	9.486	3.20
B4	17.07	8.92	2.76	0.78	9.791	6.20
B5	18.04	7.64	3.21	1.36	5.215	5.10
B6	21.50	16.86	2.09	1.09	6.228	4.50
B7	24.95	16.46	3.18	1.80	4.619	5.70
平均值	$18.79 \pm 3.28 \text{ b}$	$2.73 \pm 3.22 \text{ a}$	$3.05 \pm 0.57 \text{ a}$	$1.40 \pm 0.40 \text{ a}$	$7.903 \pm 2.26 \text{ a}$	$6.29 \pm 2.31 \text{ a}$

将 5 月份和 10 月份的植物叶片养分和色素指标单独分析, 结果表明其相关性未达到显著水平, 但两次数据整合后分析发现, 植物全氮和叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b、类胡萝卜素和可溶性糖均呈极显著正相关 ($R^2 = 0.745$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.693$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.742$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.735$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.598$, $P < 0.01$); 植物全磷则与前四个指标呈极显著正相关 ($R^2 = 0.745$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.693$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.742$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.735$, $P < 0.01$; $R^2 = 0.653$, $P < 0.01$); 植物全钾则与所有色素指标没有相关性。说明氮和磷是影响植物色素的关键

元素。

2.3 不同组别土壤性质比较

2.3.1 土壤 pH、有机碳、全氮、有效氮、磷、钾含量

土壤 pH 与许多土壤养分的有效性相关, 土壤碱解氮、有效磷与速效钾是直接反映土壤对作物 N、P、K 的供给状况的指标。由表 4 可知, 所有样点土壤 pH 均为弱酸性, 两组土壤 pH 值无显著性差异。A 组土壤的有效氮磷钾的平均值略高于 B 组, 但没有达到统计水平的显著差异。A 组的有机质和全氮平均含量反而小于 B 组, 但两组间同样未达到显著性差异。

表 4 银杏土壤样品的 pH、养分元素的含量
Table 4 Contents of pH and nutrient elements in *Ginkgo biloba* soil samples

分组 Group	pH	有机碳 Organic carbon (g kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	碱解氮 Available nitrogen (mg kg ⁻¹)	有效磷 Olsen-P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available-K (mg kg ⁻¹)
A1	6.56	9.40	1.11	68.35	13.98	129.23
A2	6.38	12.70	1.13	54.22	41.4	301.19
A3	6.61	15.50	1.30	104.14	29.24	153.31
A4	6.38	13.80	1.45	86.53	31.53	128.46
A5	6.42	10.20	0.93	124.05	54.25	357.39
A6	5.93	11.70	1.17	113.08	23.57	150.22
A7	6.01	9.60	0.12	49.13	44.14	291.15
平均值	6.33 ± 0.24 a	11.84 ± 0.86 a	1.03 ± 0.43 a	85.6 ± 27.21 a	34.02 ± 12.57 a	215.85 ± 89.72 a
B1	6.63	20.90	1.81	49.64	20.03	100.27
B2	6.10	10.40	0.92	94.67	41.24	373.19
B3	6.42	12.10	1.16	104.23	28.12	138.47
B4	6.87	19.20	1.83	54.65	18.57	133.62
B5	6.14	11.20	0.97	92.88	28.64	224.76
B6	6.12	14.20	1.32	106.08	17.43	244.39
B7	6.30	12.00	1.40	67.32	31.11	193.52
平均值	6.37 ± 0.27 a	14.29 ± 1.56 a	1.34 ± 0.37 a	81.3 ± 21.91 a	26.4 ± 7.86 a	201 ± 85.15 a

2.3.2 土壤容重和含水量 土壤通气和水分状况也是植物生长的必要条件, 土壤容重是衡量持水能力水分和氧气状况的重要指标。由表 5 可知, 虽然同组同样点之间的容重存在较大差异, 但总体而言, A

组土壤两个深度的土壤容重均小于 B 组, 尤其是 20 ~ 30 cm 土层, B 组显著高于 A 组 ($P < 0.05$)。土壤含水量的规律则正好与容重相反, A 组高于 B 组, 深层小于浅层。

表 5 各采样点土壤的物理性质
Table 5 Physical properties of soil at each sampling point

分组 Group	土层深度: 10 ~ 20 cm Soil depth: 10 ~ 20 cm		土层深度: 20 ~ 30 cm Soil depth: 20 ~ 30 cm	
	容重 Bulk density (g cm ⁻³)	质量含水率 Moisture content (%)	容重 soil bulk density (g cm ⁻³)	质量含水率 Moisture content (%)
A1	1.36	17.17	1.26	16.25
A2	0.96	31.71	0.98	31.20
A3	1.31	18.61	1.31	16.86
A4	1.33	17.44	1.56	13.07
A5	0.93	42.81	0.96	38.74
A6	1.50	14.23	1.33	16.05
A7	1.08	27.81	1.10	25.69
平均值	1.21 ± 0.20 a	24.25 ± 9.57 a	1.22 ± 0.20 b	22.55 ± 8.87 a
B1	1.56	13.12	1.55	13.99
B2	1.08	28.31	1.04	30.14
B3	1.30	16.92	1.39	14.50
B4	1.24	16.44	1.29	13.33
B5	1.21	30.74	1.30	15.39
B6	1.10	19.41	1.30	15.81
B7	1.14	24.79	1.20	23.06
平均值	1.23 ± 0.15 a	21.39 ± 6.14 a	1.30 ± 0.15 a	18.03 ± 5.79 b

2.4 土壤理化指标之间及其与植物养分的相关性

10 月份的土壤指标与植物养分相关性分析发现,

主要是容重和含水量与多个指标的相关性达到显著水平。土层 10 ~ 20 cm 的容重与对应土壤含水率呈

显著负相关 ($R^2 = 0.604$, $P < 0.05$), 两层土壤 (10~20 cm 和 20~30 cm) 含水率平均值与土壤碱解氮呈显著正相关 ($R^2 = 0.580$, $P < 0.05$)、与银杏叶片全氮呈显著正相关 ($R^2 = 0.623$, $P < 0.05$)。土壤速效钾与土壤有效磷呈极显著正相关 ($R^2 = 0.772$, $P < 0.01$), 它还分别与 10~20 cm ($R^2 = 0.868$, $P < 0.01$) 和 20~30 cm ($R^2 = 0.859$, $P < 0.01$) 土壤容重呈极显著负相关, 与 10~20 cm 土壤 ($R^2 = 0.713$, $P < 0.01$) 及 20~30 cm 土壤 ($R^2 = 0.751$, $P < 0.01$) 含水率呈极显著正相关。

3 讨论

3.1 银杏叶色与色素含量的关系

银杏叶色变化主要取决于叶片中色素的种类、相对含量以及不同色素间比例的时空变化^[18]。类胡萝卜素是叶片呈黄色或橙色的显色物质^[19]。叶色变黄主要是叶绿素相对含量下降、而类胡萝卜素相对含量增加。魏媛^[20]和楚爱香^[21]等研究发现, 在银杏变色中后期, 类胡萝卜素相对含量达到 60%~70%, 占据绝对性优势, 叶片完全表现为类胡萝卜素的黄色。本调查发现, 5 月份银杏叶片 A、B 两组颜色没有差异, 因为所有叶片中叶绿素占比均高于 60%^[22], 其叶绿素含量也无差异, 虽然 A 组叶片类胡萝卜素和花色素苷含量显著高于 ($P < 0.05$) B 组, 但因为其占比较小, 不能决定叶色的差异。10 月份时银杏叶片 A、B 两组颜色差异明显, A 和 B 组叶绿素总量占比分别为 58.3% 和 48.8%, A 组高于对应的 B 组; A 组叶绿素 a 和 b 含量、及其总量均显著高于 B 组 ($P < 0.05$), 其余色素指标均无显著差异。综上所述, 叶绿素总量及其占比是决定叶色的主要因素, 10 月份叶绿素总量虽然整体比 5 月份下降, 但 B 组下降幅度更大, 因此其叶片褪绿比 A 组严重。

影响叶绿素合成的因素较多, 有光照、温度、水分、养分等^[23], 秋冬季节温度下降致使许多酶的活性下降, 从而导致叶片中一系列代谢减弱, 植物根系吸收水分和养分能力下降, 因而影响叶绿素合成。然而, 本校银杏叶片在 9 月份就出现黄叶, 时间远早于其他地方, 且此时的温度还在最适温度 (30 ℃) 附近, 因此叶片出现黄叶可排除光照和温度等因素, 可能是植物养分和水分不足影响叶绿素合成。

3.2 银杏叶色素含量与养分关系

5 月份叶片养分含量数据显示, A 组银杏叶片全

氮含量显著高于 B 组 ($P < 0.05$), A、B 组间银杏叶片叶绿素含量无显著性差异, 可能此时的氮素水平都能满足叶绿素合成的需要, 虽然 B 组氮素低但不影响其叶绿素合成; 叶片氮素不仅仅用于叶绿素合成, 叶片中的氮素根据功能可以分为以下几级, 分别为结构氮素、储存氮素、呼吸氮素和光合氮素^[24], 5 月中旬正值银杏一年中第一个生长高峰期开始 (5 月中旬至 7 月中旬), 在满足光合需求下, 其余的氮素可能更多分配至储存氮素和结构氮素中, 以增强植物的抗逆能力。刘涛^[25]等人认为非光合色素很大一部分是作为储存氮素, 在生长后期逐渐释放出来, 以供植物生长所需以及应对环境变化。10 月叶绿素含量急剧下降, A 组显著高于 B 组 ($P < 0.05$), A、B 两组分别比 5 月份下降了 91.3%、93.7%。虽然 10 月份的叶片中氮、磷、钾含量均明显低于 5 月份, 但两组之间磷、钾含量没有显著差别, 而 A 组全氮含量的平均值 (14.07 g kg^{-1}) 高于 B 组 (12.73 g kg^{-1}), 分别比 5 月份下降了 34.4%、32.2%。说明影响叶片叶绿素含量主要因素是全氮。前人研究发现, 某些木本类植物叶片衰落时氮含量的下降幅度大于叶片 SPAD 值, 说明叶片衰老过程中氮素转移优先来源于可溶性蛋白降解^[26]。由于 B 组叶片中全氮含量普遍低于 A 组, 当植物叶片衰落过程的氮转移导致叶片中可用于合成叶绿素的氮不足, 率先出现叶片黄化。另外, 综合参考蒋代华^[27]、欧阳健辉^[28]、漆小雪^[29]等人对于银杏叶片全氮 ($18.1 \sim 19.3 \text{ g kg}^{-1}$, 中等)、全磷 ($2.54 \sim 3.18 \text{ g kg}^{-1}$, 中等) 和全钾 ($5.05 \sim 8.08 \text{ g kg}^{-1}$, 中等) 含量的标准, 调查区银杏叶片 5 月份的 A 组全氮平均值为高等水平、全磷为中等水平, 但 10 月份时叶片全氮和全磷均处于低等水平, 而两个时间叶片钾含量均为高水平 (表 3)。10 月份银杏叶片氮和磷营养水平偏低可能是叶片过早褪色的原因。

3.3 土壤理化性质对植物养分的影响

参照全国第二次土壤普查养分分级标准 (按全国统一划分的六级制分级), 本调查区银杏土壤碱解氮含量均值为 87.11 mg kg^{-1} , 为 4 级 ($60 \sim 90 \text{ mg kg}^{-1}$) 范围, 有效磷含量为 2 级 ($20 \sim 40 \text{ mg kg}^{-1}$), 速效钾含量为 1 级 ($> 200 \text{ mg kg}^{-1}$), 总体上属于低氮、且富磷钾的养分特征。而对照欧阳健辉^[28]、蒋代华等人^[27]提出的人工银杏林土壤养分分级参考标准, 除土壤碱解氮落在中等水平 ($78.8 \sim 115.2 \text{ mg kg}^{-1}$)

外, 有效磷 ($> 11.4 \text{ mg kg}^{-1}$) 和速效钾含量 ($> 79.4 \text{ mg kg}^{-1}$) 均位于高等水平。因此, 从土壤的氮、磷、钾供应能力判断, 银杏生长的土壤养分状况良好。A、B 两组土壤供养正常情况下, 推测 10 月份植物养分急剧下降的原因可能植物吸收障碍, 因土壤速效钾含量丰富, 因此, 叶片中全钾含量下降的幅度比全磷和全钾小。故推测银杏叶片过早变黄可能与不良土壤物理性状引起的植物吸收养分能力下降所致, 而 A、B 两组颜色差异又与土壤养分水平差异有关, A 组土壤有效氮、磷含量略高于 B 组。

植物通过主动吸收氮、磷、钾元素, 植物吸收障碍通常是根系活力不足。从 10 月份的土壤指标与植物养分相关性分析结果可知, 主要是容重和含水量与多个指标的相关性达到显著水平, 容重不仅直接影响土壤含水量, 还影响通气状况。A、B 两组 20~30 cm 深度的土壤容重平均值分别为 1.22 g cm^{-3} 和 1.30 g cm^{-3} , A 组显著小于 B 组。银杏是深根性树种, 有较为发达的主根和侧根, 健康银杏的根幅一般大于冠幅 2 倍。一株 40 年树龄的银杏, 其深入土壤下的根系可达到 2.5 m, 向两侧延伸的根系最少可以达到 1.5 m^[30]。因此, 要求疏松透气的土壤, 银杏喜好排水良好土壤深厚疏松壤土和沙壤土。在土壤孔隙度较大的黏土、沙壤土和黏壤中银杏须根数远超过生长在板结的黏土中的银杏须根数^[31]。银杏主要根系分布 20~60 cm, 深层土壤的含水率和容重对银杏根系生长和养分吸收影响重大^[32]。从 A、B 两组的容重差异、以及土壤含水量与土壤碱解氮及植物全氮的良好相关性可知, 土壤过实、不利于土壤通气和植物根系拓展是导致银杏早衰的主要原因。后来对个别银杏更换时暴露的土壤剖面观察发现, 下层土壤极为紧实, 容重高达 $1.5 \sim 1.6 \text{ g cm}^{-3}$, 这进一步证实我们的推测结论。

4 结论

通过对植物色素、植物营养状况以及土壤理化性质的综合分析得出结论, 校园银杏土壤整体养分中等, 理论上能基本满足银杏生长需求, 但植物氮水平偏低表现出银杏叶片较早黄化, 一方面是由于土壤有效氮偏低, 另一方面是因土壤坚实影响植物根系拓展和健康, 从而导致根系吸收能力下降。建议学校相关部门重点改善银杏土壤的通气状况, 提高土壤氮素水平; 也可通过引入土著蚯蚓以及深翻

树干周围土壤等生物和物理措施相结合的方式, 改善土壤孔隙结构、提高土壤通透状况。

参考文献:

- [1] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1990.
- [2] 张 洁. 银杏栽培技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2016.
- [3] 史晓洁, 刘健行, 何雅琴, 等. 浅述色叶植物在园林景观设计中的应用[J]. *四川建筑*, 2021, 41(1): 68-70.
- [4] 荣立苹, 李倩中, 李淑顺, 等. 鸡爪槭黄色品种叶片转色期生理变化[J]. *西北农业学报*, 2012, 21(1): 187-191.
- [5] 葛雨萱, 赵 阳, 甘长青, 等. 不同光环境对黄栌光合特性及生长势和叶色的影响[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(19): 19-22.
- [6] 吴飞洋. 光照和土壤水分对乌桕秋季叶色及生理指标的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [7] 韦志刚. 遮荫对元宝枫花色苷含量的影响[J]. *天津农业科学*, 2017, 23(3): 6-8+16.
- [8] 祁海艳, 刘晓东, 王 菲. 光胁迫对中华金叶榆叶色的影响[J]. *河北林业科技*, 2009, (3): 1-3.
- [9] 陈继卫, 沈朝栋, 贾玉芳, 等. 红枫秋冬转色期叶色变化的生理特性[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2010, 36(2): 181-186.
- [10] 于晓南, 张启翔. 彩叶植物多彩形成的研究进展[J]. *园艺学报*, 2000, (S1): 533-538.
- [11] 张 霞, 张大毛, 张 力, 等. 外源因子对植物叶片花色苷的研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2019, (11): 120-122.
- [12] 郁万文, 祝遵凌, 曹福亮, 等. 金叶银杏半同胞子代无性系的叶色和色素含量变化及呈色机制分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2016, 25(1): 43-53.
- [13] 王燕龙, 车晓雨, 刘煜光. 银杏秋季叶色参数及色素含量的变化研究[J]. *河北农业大学学报*, 2015, 38(5): 28-32.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和测定技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 135-137.
- [15] Jin H L, Choung M G. Identification and characterisation of anthocyanins in the antioxidant activity-containing fraction of *Liriope platyphylla* fruits[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(4): 1686-1693.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 梁俊林, 顾国军, 唐实玉, 等. 银杏叶变色期的生理特征[J]. *四川农业大学学报*, 2020, 38(1): 65-70.
- [18] 张亚平, 金晓玲, 曾 艳, 等. 植物叶色呈色机理及化学物质的调控[J]. *北方园艺*, 2017, (14): 180-184.
- [19] 唐生森, 陈 虎, 覃永康, 等. 枫香秋季变色期叶色变化及其生理基础[J]. *广西植物*, 2021, 41(12): 2061-2068.
- [20] 魏 媛, 闫 伟, 杨 瑞. 四种秋色叶树种转色期叶色变化的生理特性[J]. *现代园艺*, 2014, (7): 17-19.
- [21] 楚爱香, 张要战, 田永芳. 几种秋色叶树种秋冬转色期叶色变化的生理特性[J]. *东北林业大学学报*, 2012, 40(11): 40-43.
- [22] 王艺斐, 姜泽东, 张 敖, 等. 银杏叶片黄化过程中光合色素含量和叶绿素荧光参数的变化特征研究[J]. *西南农业学报*, 2020,

- 33(10): 2220 – 2224.
- [23] 王平荣, 张帆涛, 高家旭, 等. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(3): 629 – 636.
- [24] Xu G H, Fan X R, Miller A J. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2012, 63: 153 – 182.
- [25] 刘 涛. 氮供应对油菜叶片氮形态分配与光合氮利用效率的影响机制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [26] 郭 松, 孙文彦, 顾日良, 等. 两个玉米品种灌浆期叶片氮转移效率差异的分子机制[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(5): 1149 – 1157.
- [27] 蒋代华, 白厚义, 罗献宝, 等. 银杏氮素营养诊断技术研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(2): 210 – 213.
- [28] 欧阳健辉, 吴道铭, 廖丹丹, 等. 广东地区果用银杏林的叶片营养诊断研究[J]. *华南农业大学学报*, 2020, 41(3): 93 – 101.
- [29] 漆小雪, 韦 霄, 蒋运生, 等. 银杏大小年结果植株叶片的营养元素比较研究[J]. *广西植物*, 2006, (3): 325 – 329.
- [30] 高 森. 银杏叶片黄边病的研究与防治[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2018.
- [31] 王永祥. 综合因素与银杏生长的相关分析[J]. *防护林科技*, 2014, (1): 27 – 28-87.
- [32] 李玲莉, 邹世慧, 余志勇, 等. 重庆市道路绿地银杏和紫薇的生长势评价[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(8): 111 – 115.

Causes of Premature Aging and Yellowing of *Ginkgo biloba* Leaves and Differences among Trees in Campus

LU Luo-tian¹, HUANG Wen-nan¹, ZENG Jia-yi¹, YE Xi-yang³, XU Qiu-fang^{1,2*}

(1. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 2. College of Environment and Resources, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 3. Botanical Garden Management Office, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: [Objective] The paper aims to explore the causes of premature aging and early yellowing between different trees. [Method] Seven pairs of adjacent trees, with group A leaf being in green color and group B in yellow color at the time of September, were selected for leaves sampling in May and October respectively, and soil sampling in October. The leaf with parameters of pigments, soluble sugar and nitrogen, phosphorus and potassium were determined, and including the soil bulk density, moisture, pH and available nitrogen, phosphorus and potassium. [Result] There were no differences in leaf color and total chlorophyll content between group A and B in May. Total chlorophyll contents in all leaves exceeded 60%. Group A has more carotenoid and anthocyanin than group B ($P < 0.05$), same as the total nitrogen ($P < 0.05$). However, both the leaf color and amount of chlorophyll a and b were significantly different between groups A and B in October, with group B being in less green color and lower chlorophyll content ($P < 0.05$). The total amounts of chlorophyll in groups A and B were 58.3% and 48.8%, while other pigment indices had no difference. The average total nitrogen in group A (14.07 g kg^{-1}) was higher than that in group B (12.73 g kg^{-1}), which were 34.4% and 32.2% lower than that in May. There were significant differences in bulk density and water content of soil layer 10-20cm between groups A and B, but no differences in soil nutrients which was generally at abundant level. [Conclusion] The premature yellowing and differences in leaf color and chlorophyll among group A and B were connected with low nitrogen and phosphorus levels in leaf, which was the result of nutrient absorption disorder caused by compact soil. It was suggested that the campus management office to focus on soil loosen and soil nitrogen supply.

Key words: Ginkgo; Plant pigment; Soluble sugar; Soil physical and chemical property

[责任编辑: 裴久渤]