

# 不同程度蓝网遮荫处理对春季茶叶品质的影响

周嘉昕<sup>1,2\*</sup>, 辛丝雨<sup>1,2\*</sup>, 林进贤<sup>1,2</sup>, 彭雅姿<sup>2,4</sup>, 韩文龙<sup>2,3</sup>, 周智<sup>1,2,3#</sup>

<sup>1</sup>湖南农业大学化学与材料科学学院, 湖南 长沙

<sup>2</sup>湖南农业大学交叉学科研究院, 湖南 长沙

<sup>3</sup>湘江卓越工程师学院, 湖南 长沙

<sup>4</sup>湖南农业大学食品与科学技术学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2026年3月18日; 录用日期: 2026年4月16日; 发布日期: 2026年4月23日

## 摘要

茶树为喜光忌强光的叶用经济作物, 强光易造成光抑制并影响茶叶品质, 当前针对不同颜色遮阳网对春茶品质的精准调控研究尚不充分。为明确适宜湖南丘陵茶区的蓝色遮荫模式, 以15年生白毫早茶树为材料, 设置自然光对照、50%与80%遮光率蓝色遮阳网处理, 测定遮荫0~21 d光合色素及茶氨酸、咖啡碱、茶多酚、儿茶素等品质指标。结果显示, 蓝色遮阳网可显著促进叶绿素a与叶绿素b积累; 提高茶氨酸含量, 降低茶多酚与儿茶素总量, 优化酚氨比; 稳定维持咖啡碱含量, 并改善儿茶素单体配比, 提升茶叶鲜爽度与嫩度。综合表明, 80%遮光率蓝色遮阳网调控效果最优, 可通过光质与光强协同优化碳氮代谢, 显著提升春茶品质, 可为湖南丘陵茶区优质春茶生产提供技术依据。

## 关键词

遮荫, 蓝色遮阳网, 遮光率, 茶叶品质

# The Effects of Different Degrees of Blue Net Shading on the Quality of Spring Tea

Jiaxin Zhou<sup>1,2\*</sup>, Siyu Xin<sup>1,2\*</sup>, Jinxian Lin<sup>1,2</sup>, Yazi Peng<sup>2,4</sup>, Wenlong Han<sup>2,3</sup>, Zhi Zhou<sup>1,2,3#</sup>

<sup>1</sup>College of Chemistry and Materials, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

<sup>2</sup>Interdisciplinary Research Institute of Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

<sup>3</sup>Xiang Jiang Elite Engineering School, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

<sup>4</sup>College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

Received: March 18, 2026; accepted: April 16, 2026; published: April 23, 2026

\*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 周嘉昕, 辛丝雨, 林进贤, 彭雅姿, 韩文龙, 周智. 不同程度蓝网遮荫处理对春季茶叶品质的影响[J]. 农业科学, 2026, 16(4): 591-601. DOI: 10.12677/hjas.2026.164075

## Abstract

Tea plants are leafy economic crops that prefer light but are sensitive to strong light, which can cause photoinhibition and affect tea quality. Currently, research on the precise regulation of spring tea quality by different colored shading nets is insufficient. To determine the appropriate blue shading mode for the hilly tea areas in Hunan Province, 15-year-old Baihaozao tea trees were used as materials, and treatments with natural light control, 50% and 80% shading rates of blue shading nets were set up. The photosynthetic pigments and quality indicators such as theanine, caffeine, tea polyphenols, and catechins were measured from 0 to 21 days of shading. The results showed that blue shading nets could significantly promote the accumulation of chlorophyll a and chlorophyll b; significantly increase the content of theanine, reduce the total content of tea polyphenols and catechins, and optimize the ratio of phenols to amino acids; stably maintain the content of caffeine, and improve the ratio of monomeric catechins, enhancing the freshness and tenderness of the tea. In conclusion, the 80% shading rate blue shading net had the best regulation effect, which could optimize carbon and nitrogen metabolism through the synergy of light quality and light intensity, significantly improving the quality of spring tea, and providing a technical basis for the production of high-quality spring tea in the hilly tea areas of Hunan Province.

## Keywords

Shading, Blue Shading Nets, Shading Rate, Tea Quality

Copyright © 2026 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

阳光不仅是植物所依赖的能量来源也是植物生长的信号。它由紫外光(低于 400 nm)、可见光(400~710 nm)和红外辐射(710~1000 nm)组成。可见光光谱包括不同波长波段, 分别对应 17%的蓝光(400~495 nm)、44%的绿光(495~570 nm)、30%的黄光(570~590 nm)和 9%的红光(590~710 nm)。植物对光照条件、光照强度、方向、特定波长和光周期有感知。光照状态的改变是调节植物生长的一种良好而无污染的方式[1]。这是一种很有前景的方式来改变植物的生长速度或与品质相关的代谢物, 而不使用或少使用许多消费者无法接受的化学植物生长调节剂。蓝光、红光和紫外线 B 被认为与植物的生长和代谢密切相关, 蓝色和红色的发光二极管(LED)已被用于室内栽培系统和温室[2]。彩色塑料薄膜(如红、黄、绿、蓝、白)也被用于改变田间或室内栽培系统的光照条件, 以提高水果和蔬菜的质量或产量[3]。塑料薄膜可以同步阻断紫外线, 这也有利于植物的发展, 而塑料薄膜和相关设施的投入量相对较高。

茶是一种喜光、忌强光直射的叶用经济作物。茶树在生长过程中常受到高光和高温等不良环境因素的影响, 进而影响茶叶的品质与产量[4]。遮荫作为茶园管理中常用的农艺措施, 可以通过改善茶园微环境, 尤其是光环境, 从色泽、香气和滋味等方面提高茶叶的品质, 从茶树的生理响应方面提高产量, 应用前景广泛[5]。茶树遮荫有两种形式: 生态遮荫和覆盖遮荫。生态遮荫指在茶园内种植遮荫树或与经济林木和高大适生树种间作, 包括林茶间作、果茶间作及胶茶间作等[6]; 覆盖遮荫主要包括塑料大棚覆盖和遮阳网覆盖, 所用材料较为广泛, 例如稻草、小麦秸秆、草帘、各种树枝、无纺布(如帆布等)、各种棚膜、遮阳网等[7]。

一般而言, 各种遮荫措施均能在一定程度上降低树冠面光强和叶面温度, 提高空气和土壤的相对湿度, 从而改善茶树生长的微环境。遮荫后, 在不同季节和不同茶树品种中, 色泽、香气和滋味等品质性状均有一定程度的改良[7][8]。目前, 已有大量研究表明, 遮荫对茶园的增产提质具有重要的作用[9]。遮荫可使茶树避免强光直射, 使散射光和蓝紫光增强, 利于氮代谢, 提高氨基酸含量、降低茶多酚含量及酚氨比, 进而改善茶叶[10]。黑网遮荫有效地降低了田间的光强, 而不影响光谱组成, 由于其抑制类黄酮的形成, 提高氨基酸水平, 通常用于茶园生产抹茶。彩色遮荫网也可以有效地改变光谱组成, 不同颜色的网对茶树有不同的影响[7]。相比于未遮荫, 50%~80%遮荫处理能使“佛手”新梢叶片氨基酸提高 0.13~0.45 个百分点, 茶多酚、酚氨比分别下降 3.73~5.5 个百分点、5.77~8.1 个百分点。关于遮荫对咖啡碱及水浸出含量的影响, 前人研究结果不统一, 郭敏明、常硕其等研究报道遮荫会降低水浸出物含量[11], 但大多数研究认为遮荫能提高夏秋茶中水浸出物和咖啡碱含量; 林军、唐颖等研究认为遮荫可使咖啡碱含量明显减少[12]; 孙京京等研究则认为覆盖不同遮荫处理, 咖啡碱基本没有变化[13]。遮荫后叶色变绿, 叶绿素总量及其叶绿素 a、b 含量均显著高于未遮荫, 重度遮荫下, 叶绿素 b 增加更快。另外遮荫使叶面更平展, 叶片变薄, 柔软度及持嫩性都增强, 随遮荫度的增加, 叶面积不断增大[14]。

总的来看, 茶树遮荫后, 各产量指标和新梢水分含量均高于对照, 春茶各产量指标和新梢水分含量明显优于夏秋茶[15]。与不遮荫相比, 不同颜色遮阳网遮荫均能提高茶叶产量指标和新梢水分含量, 说明遮荫可以提高茶树的抗旱能力, 而不同季节各种颜色的遮阳网遮荫对水浸出物含量的影响不明显。水浸出物降低可减少茶叶滋味的苦涩度。不同季节水浸出物含量夏茶 > 秋茶 > 春茶, 夏秋季水浸出物含量较高, 与夏秋茶茶多酚含量高有一定的关系。

关于遮荫对茶树产量及理化性质的影响受产地、气候、品种、遮荫程度与方式等多种因素的制约, 因此, 在实际生产中需要因地制宜[16]。探讨湖南丘陵茶区应用不同颜色的遮阳网遮光对春茶主要生化成分的影响, 为利用遮阳网遮光生产优质茶鲜叶原料开发名优茶产品提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验材料

#### 2.1.1. 植物材料

2025 年 3~4 月, 在湖南省长沙县金井镇中国科学院有机茶试验基地——湘丰茶业集团飞跃有机茶基地进行试验, 海拔高度 186 m。长沙县 3 月~4 月平均气温为 $(17.2 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 平均湿度为 $(81.0 \pm 5)\%$ , 降雨量为 2237 mm。供试品种为 15 年生白毫早, 南北走向, 树高 60 cm, 行距 50 cm, 株距 25 cm。

#### 2.1.2. 遮阳网材料

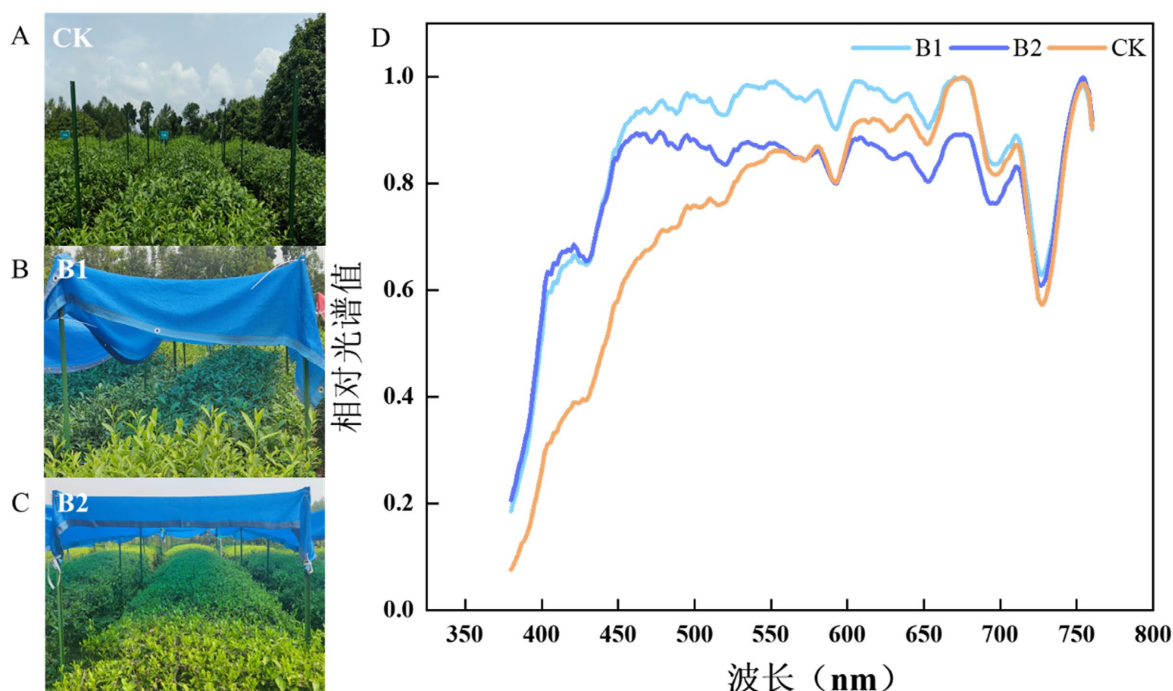
茶树遮荫处理所用遮阳网为蓝色聚乙烯(PE)材质编织网, 标称遮光率分别为 50%和 80%(沐阳芊枫彩商贸有限公司)。根据厂家提供参数及相关研究报道, 蓝色遮阳网可在降低整体光强的同时, 改变光谱组成, 提高蓝光比例并降低红光比例, 从而影响茶树光合及次生代谢过程。本研究中两种遮阳网主要通过调节光强及光质共同作用于茶树生长。

### 2.2. 实验设计

在长沙县湘丰茶园选取白毫早基地 30 m × 20 m 开展试验。对茶苗进行遮荫处理, 以不遮光处理作为对照。采用随机区组设计, 各试验小区为 6 m × 2 m (长 × 宽)。将遮阳网覆盖在茶树上方(离地高约 1.5 m, 离茶树蓬面高约 1.0 m), 固定周边。为保证茶树通风降温, 遮光材料只覆盖顶部(见表 1、图 1)。

**Table 1.** Experimental settings of different shading colors**表 1.** 不同遮光颜色试验设置

组分	处理条件
CK	不遮光
B1	50%蓝网
B2	80%蓝网



**Figure 1.** Schematic diagram of shading treatment and relative spectral diagram: (A) CK group, natural light control treatment; (B) B1 group, blue shading net with a shading rate of 50% treatment; (C) B2 group, blue shading net with a shading rate of 80% treatment; (D) Relative spectral curves under the treatments of CK, B1, and B2

**图 1.** 遮荫处理示意图与相对光谱图: (A) CK 组, 自然光处理; (B) B1 组, 遮光率为 50% 的蓝色遮阳网处理; (C) B2 组, 遮光率为 80% 的蓝色遮阳网处理; (D) CK、B1、B2 处理下的相对光谱曲线

试验期间各处理小区栽培管理措施相同, 3~4 月为长沙县茶树春梢萌发关键时期, 田间管理以促进新梢整齐生长为目标。根据土壤墒情适时进行水分调控, 保持土壤相对含水量适宜, 遇连续降雨及时疏通排水沟, 防止渍害发生; 结合茶树生长需求, 于萌芽前后适量追施速效氮肥并配施磷、钾肥, 以促进新梢生长。结合施肥进行浅耕除草, 以改善土壤通气性并减少养分竞争, 同时加强茶园病虫害常规监测与绿色防控管理。

2025 年 3 月 26 日为第一次取样, 即遮荫 0 d, 随后分别在 4 月 2 日(7 d)、4 月 9 日(14 d)和 4 月 16 日(21 d)取样, 采摘标准为一芽二叶, 鲜叶采后迅速置于超低温冰箱保存, 部分鲜叶使用富瑞捷冷冻干燥机进行冷冻干燥处理, 干燥后用于相关生理生化指标测定。每处理重复 3 次。

### 2.3. 检测内容与方法

光合色素含量——采用丙酮-乙醇混合液在室温下用直接浸提法提取。

采摘标准一芽二叶进行冷冻干燥, 测定生化成分。

茶氨酸含量——参考《茶叶中茶氨酸的测定 高效液相色谱法》(GB/T 23193-2017);

儿茶素含量——参考《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》(GB/T 8313-2018);

咖啡碱含量——参考《茶 咖啡碱测定》(GB/T 8312-2013);

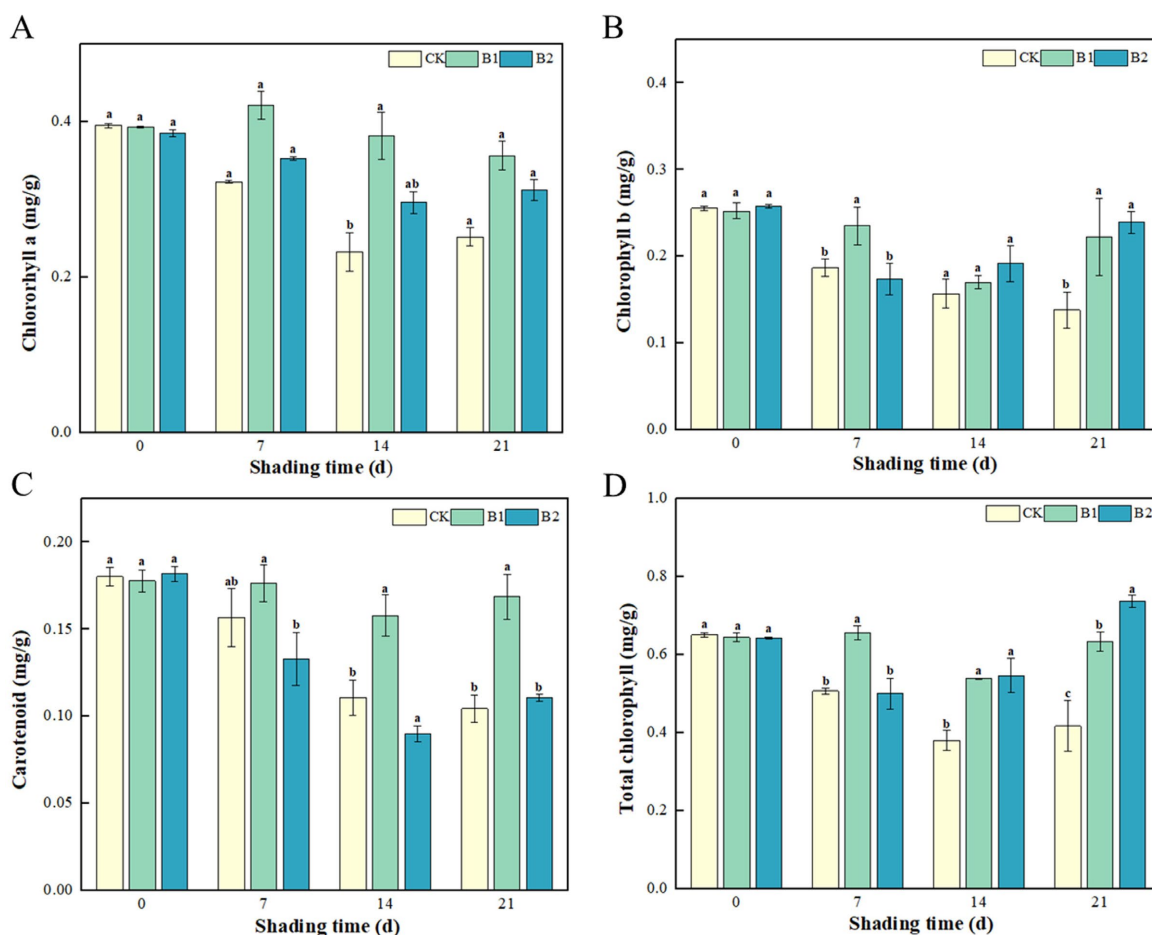
茶多酚总量——福林酚比色法, 《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》(GB/T 8313-2018)。

## 2.4. 数据处理

采用 spss26.0 进行方差分析。试验数据采用方差分析(ANOVA)进行分析, 采用 Duncan 多重范围检验( $P < 0.05$ )检验平均值之间的差异。使用 MS Excel 2021 程序对结果进行了统计记录。使用 Origin (2021 版, Microcal 软件公司, 北安普顿, MA, 美国)生成数据。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 遮荫对茶叶中光合色素含量的影响



**Figure 2.** Graphs of changes in photosynthetic pigment content. Under different shading treatments: (A) Graph of changes in chlorophyll a content; (B) Graph of changes in chlorophyll b content; (C) Graph of changes in carotenoid content; (D) Graph of changes in total chlorophyll content

**图 2.** 光合色素含量变化图。不同遮荫处理下: (A) 叶绿素 a 含量变化图; (B) 叶绿素 b 含量变化图; (C) 类胡萝卜素含量变化图; (D) 叶绿素总量变化图

光合色素是茶树捕获光能、进行光合作用的核心物质, 其含量及组成变化直接反映茶树对光环境的

生理适应特性[17]。不同遮光率蓝色遮阳网处理对茶树新梢光合色素(叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素)含量产生显著调控作用, 且随遮荫时间延长呈现出明显的时间效应(图 2)。0 d 时, CK 组、B1 组(50%蓝网)、B2 组(80%蓝网)光合色素含量无显著差异, 表明遮荫处理前茶树生理状态一致。遮荫处理后, B1、B2 组叶绿素 a 含量(图 2A)及叶绿素总量(图 2D)均呈持续上升趋势, 且均显著高于同期 CK 组, 而 CK 组叶绿素 b 含量(图 2B)和类胡萝卜素含量(图 2C)随时间推移逐渐下降。遮荫处理后, B1 组在叶绿素 a 和类胡萝卜素含量上较 B2 均更高, 但叶绿素 b 和叶绿素总量上 B2 组累积效应更强。叶绿素 b 对弱光环境的适应性更强[18], 高遮光率下 B2 组叶绿素 b 的显著积累, 使茶树叶片光捕获能力进一步提升, 更利于弱光下的光合作用进行。综合来看, 蓝网遮荫处理下茶树光合效率有所提升, 遮光率越高, 蓝色遮阳网对茶树叶绿素总量的提升作用越强。

### 3.2. 遮荫对茶叶中茶氨酸含量的影响

茶氨酸作为茶叶鲜味的核心贡献物质[19], 其含量呈现出遮荫组高于对照组、高遮光率组高于低遮光率组的特征(图 3)。0 d 时, 三组茶氨酸含量无显著差异; 遮荫 7 d 后, B1 组茶氨酸含量开始上升, B2 略有降低; 14~21 d 时, 两组茶氨酸含量维持在较高水平; 高遮光率 B2 组茶氨酸含量更高, 原因在于 80% 遮光率更能有效缓解强光胁迫, 使茶树氮代谢更偏向于茶氨酸合成, 而低遮光率下 B1 组仍受一定程度的强光影响, 氮素消耗相对较多, 茶氨酸积累量低于 B2 组, 表明蓝色遮阳网遮荫能有效促进茶氨酸的合成与积累, 且 80% 遮光率的促进效应优于 50% 遮光率。

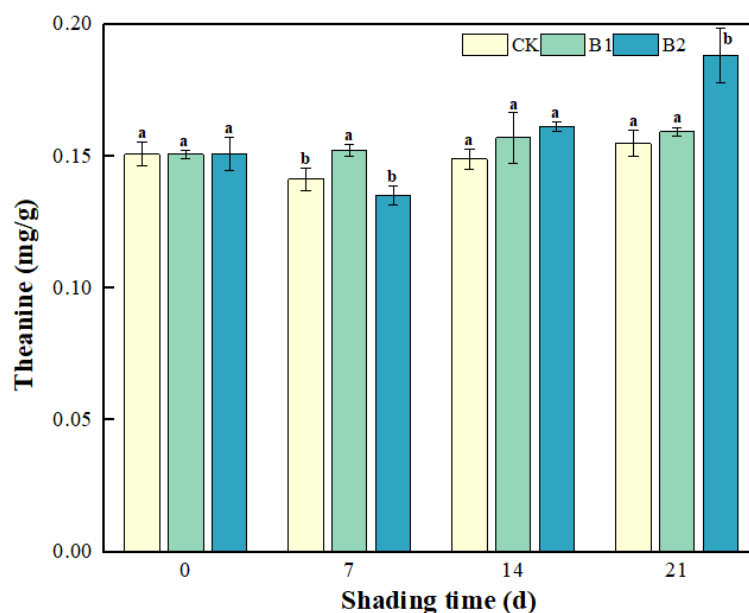


Figure 3. Graph of the changes in theanine content

图 3. 茶氨酸含量变化图

### 3.3. 遮荫对茶叶中咖啡碱含量的影响

咖啡碱作为茶叶的特征生物碱, 其合成受光环境、氮代谢等多种因素调控[20]。不同遮光率蓝色遮阳网处理对咖啡碱含量的调控呈现出明显的时间动态变化(图 4)。0 d 时, CK 组、B1 组、B2 组咖啡碱含量无显著差异; B1 组咖啡碱含量持续高于 CK 组; 遮荫 7 d 和 21 d, B2 组咖啡碱含量较 CK 组更低, 这表明 80% 蓝色遮阳网遮荫能降低咖啡碱含量, 避免因咖啡碱含量过高影响茶叶的风味特征。

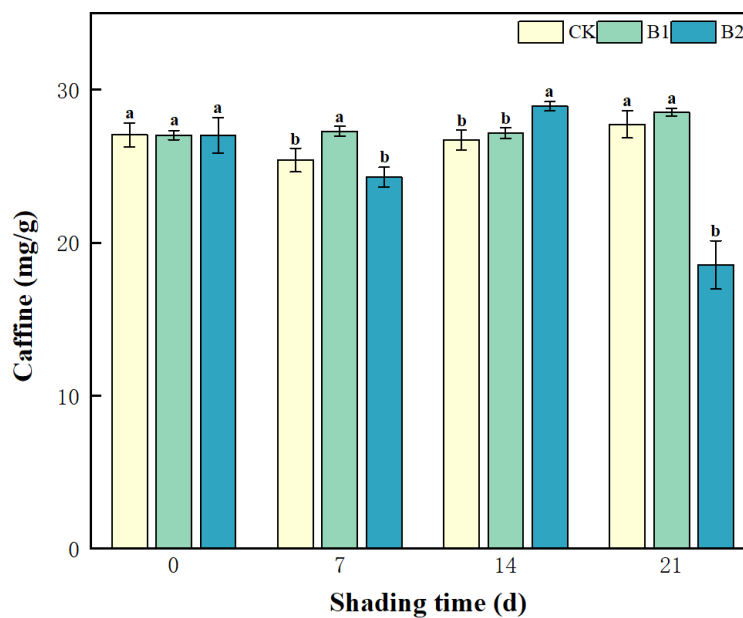


Figure 4. Graph of caffeine content changes

图 4. 咖啡碱含量变化图

### 3.4. 遮荫对茶叶中茶多酚含量的影响

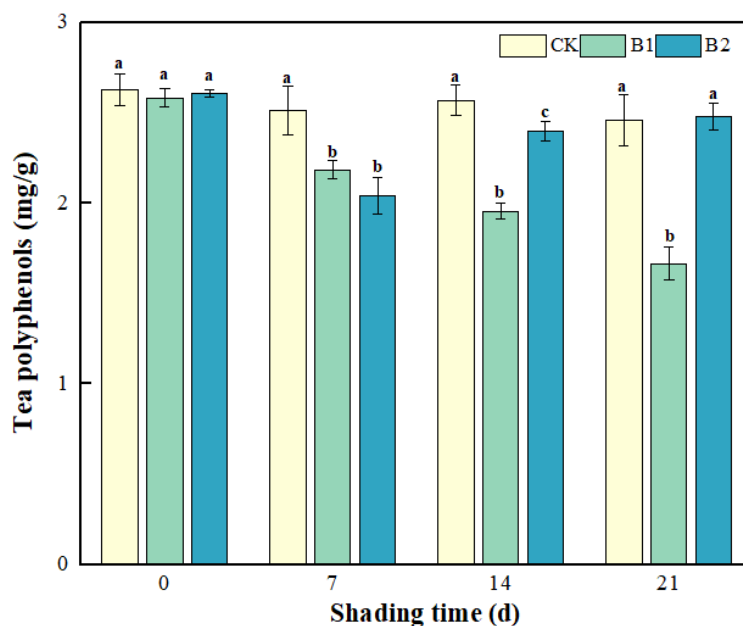


Figure 5. Graph of tea polyphenol content changes

图 5. 茶多酚含量变化图

茶多酚是茶叶涩味的主要来源,也是茶叶抗氧化活性的核心物质[21],其含量受蓝色遮阳网遮荫处理的抑制,且呈现出遮荫组显著低于对照组、高遮光率组低于低遮光率组的特征(图 5)。0 d 时,三组茶多酚含量无显著差异;遮荫 7 d 后, B1、B2 组茶多酚含量开始显著下降,且 B2 组降幅显著高于 B1 组;14~21 d 时, CK 组茶多酚含量维持在较高水平, B1、B2 组仍低于 CK 组,表明蓝色遮阳网遮荫能有效降

低茶多酚含量。茶多酚含量的适度降低, 能有效降低茶叶的涩味, 提升茶叶的鲜爽度, 因此蓝色遮阳网遮荫是改善茶叶风味的有效措施。

### 3.5. 遮荫对茶叶中儿茶素含量的影响

儿茶素是茶多酚的主要组成部分, 具有较强的苦味, 是茶味中涩味的主要来源[10]。图 6 显示, 0 d 时, CK 组、B1 组、B2 组儿茶素总量无显著差异; 遮荫 14~21 d 时, B2 组儿茶素总量均低于 CK 组, 表明蓝色遮阳网遮荫能有效降低儿茶素总量, 儿茶素总量的适度降低, 能有效降低茶叶的涩味, 与茶氨酸含量的提升形成协同效应, 使茶叶的鲜爽度显著提升。

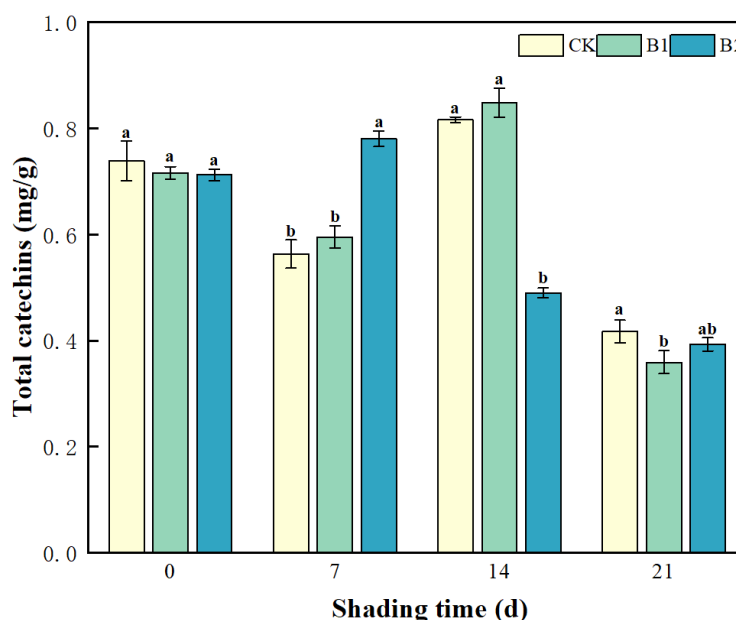


Figure 6. Graph of total catechins content changes  
图 6. 儿茶素含量变化图

儿茶素主要包括 DLC (儿茶素单体)、ECG (表儿茶素没食子酸酯)、EGC (表没食子儿茶素)、EGCG (表没食子儿茶素没食子酸酯)、GCG (没食子儿茶素没食子酸酯)、EC (表儿茶素)。不同遮光率蓝色遮阳网处理对儿茶素各单体含量的调控存在显著的特异性, 并非对所有单体均呈抑制作用, 而是通过调控单体配比, 提升儿茶素质量指数(表 2)。

非酯化儿茶素(DLC、EC、EGC): CK 组 DLC、EC 含量随遮荫时间延长持续显著下降, B1、B2 组也呈下降趋势, 21 d 时 B2 组 DLC、EC 含量高于 B1 组; EGC 含量在 14 d 时 CK 组、B1 组均达峰值, 而 B2 组在 7 d 时即达峰值, 且峰值略低于 CK 组和 B1 组, 21 d 时三组 EGC 含量均下降, B2 组略高于 B1 组。表明蓝网遮荫能有效缓解非酯化儿茶素的降解, 且高遮光率的保护效应更优。

酯化儿茶素(ECG、EGCG、GCG): CK 组 ECG、EGCG 含量随遮荫时间延长持续下降, B1、B2 组 7~14 d 时 ECGA 含量高于 CK 组, 其中 B2 组 ECG 含量在 14 d 时达峰值, 高于 B1 组; GCG 含量变化趋势与其他酯化儿茶素一致, B1、B2 组均高于 CK 组, 21 d 时 B1 组 GCG 含量较 CK 组提升约 1 倍, 为所有单体中增幅最大。表明蓝色遮阳网遮荫能促进酯化儿茶素的合成, 且对 GCG 的促进效应最为显著。

儿茶素单体的配比是评价茶叶品质的重要指标, 酯化儿茶素含量越高、非酯化儿茶素含量相对稳定, 茶叶的嫩度和鲜爽度越高, 儿茶素质量指数也越高[10]。高遮光率下 B2 组对儿茶素单体配比的调控效果

更优, 这表明蓝色遮阳网遮荫不仅能降低儿茶素总量, 还能优化其单体配比, 进一步提升茶叶品质。

**Table 2.** Changes in catechin monomer content under different shading treatments (Unit: mg/g)  
**表 2.** 不同遮荫处理下儿茶素单体含量的变化(单位: mg/g)

Catechin Monomer	Treatment Group	0 d	7 d	14 d	21 d
Doganic Acid (DLC)	CK	0.0556 ± 0.0064 a	0.0507 ± 0.0128 b	0.0270 ± 0.0006 a	0.0063 ± 0.0000 c
	B1	0.2996 ± 0.0013 b	0.0184 ± 0.0013 b	0.0280 ± 0.0018 a	0.0091 ± 0.0010 b
	B2	0.0363 ± 0.0017 ab	0.0224 ± 0.0016 b	0.0135 ± 0.0014 ab	0.0113 ± 0.0004 a
Epicatechin (EC)	CK	0.3259 ± 0.0065 a	0.1596 ± 0.0210 a	0.1617 ± 0.0102 b	0.0881 ± 0.0047 a
	B1	0.2744 ± 0.0076 a	0.1621 ± 0.0188 a	0.1908 ± 0.0070 a	0.0645 ± 0.0015 b
	B2	0.2764 ± 0.0119 a	0.1912 ± 0.0122 a	0.1802 ± 0.0074 ab	0.0883 ± 0.0036 a
Epicatechin Gallate (ECG)	CK	0.0054 ± 0.0038 a	0.0023 ± 0.0001 b	0.0017 ± 0.0003 b	0.0004 ± 0.0005 a
	B1	0.0000 ± 0.0004 b	0.0036 ± 0.0004 b	0.0026 ± 0.0001 b	0.0008 ± 0.0004 a
	B2	0.0000 ± 0.0003 b	0.0042 ± 0.0001 a	0.0053 ± 0.0007 a	0.0003 ± 0.0004 a
Epigallocatechin (EGC)	CK	0.3277 ± 0.0116 a	0.3020 ± 0.0113 b	0.5200 ± 0.0151 a	0.2390 ± 0.0099 a
	B1	0.3230 ± 0.0057 a	0.3225 ± 0.0021 b	0.5360 ± 0.0190 a	0.2173 ± 0.0135 a
	B2	0.3170 ± 0.0104 a	0.4850 ± 0.0150 a	0.2177 ± 0.0032 b	0.2320 ± 0.0138 a
Epigallocatechin Gallate (EGCG)	CK	0.0630 ± 0.0000 a	0.0707 ± 0.0043 b	0.0760 ± 0.0012 a	0.0413 ± 0.0003 a
	B1	0.0683 ± 0.0019 a	0.0680 ± 0.0025 b	0.0646 ± 0.0016 a	0.0368 ± 0.0038 a
	B2	0.0655 ± 0.0027 a	0.0778 ± 0.0036 a	0.0645 ± 0.0058 b	0.0372 ± 0.0014 a
Gallocatechin Gallate (GCG)	CK	0.0073 ± 0.0040 b	0.0134 ± 0.0015 a	0.0242 ± 0.0009 a	0.0165 ± 0.0012 a
	B1	0.0110 ± 0.0006 ab	0.0170 ± 0.0005 a	0.0245 ± 0.0007 a	0.0355 ± 0.0005 a
	B2	0.0131 ± 0.0012 a	0.0180 ± 0.0006 a	0.0091 ± 0.0011 b	0.0213 ± 0.0001 a

注: 对同一天不同处理组进行组间显著性差异分析, 不同字母代表两组数据之间存在显著性差异。

#### 4. 讨论

蓝色遮阳网遮荫通过调控光强与光质, 显著影响茶树新梢的光合色素积累与次生代谢产物的合成, 从而改善春茶品质。本研究表明, 80%遮光率的蓝网(B2 处理)在提升叶绿素含量、茶氨酸含量、优化酚氨比及儿茶素单体配比等方面效果优于 50%遮光率处理(B1), 表明高遮光率蓝网遮荫更有利于春茶品质的形成。

光合色素是茶树光能捕获与转化的重要物质基础[17]。本研究中, 遮荫处理显著提高了叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量, 且 B2 处理下叶绿素 b 积累更为明显。表明在弱光环境下茶树通过增加叶绿素 b 含量增强对散射光的吸收能力, 从而提高光能利用效率。

茶氨酸是茶叶鲜爽味的主要呈味物质, 其合成受氮代谢调控。本研究中, B2 处理茶氨酸含量在遮荫 14 d 后高于 CK 和 B1 处理, 说明高遮光率蓝网能有效缓解强光对氮代谢的抑制, 促进茶氨酸积累, 这与肖文敏等人研究结果一致[22]。

茶多酚与儿茶素是茶叶涩味的主要来源。本研究中, B1 和 B2 处理降低了茶多酚和儿茶素总量, 且 B2 处理降幅更大, 说明高遮光率蓝网能更有效抑制碳代谢流向类黄酮合成途径, 与 Ye J.H.等人研究结果

类似[7], 通过优化酚氨比进而降低茶叶苦涩味。

儿茶素单体组成是评价茶叶品质的重要指标之一。本研究中, B2 处理在提升非酯化儿茶素稳定性的同时, 显著促进酯化儿茶素的合成, 尤其对 GCG 的促进效应最为明显。GCG 作为具有较强抗氧化活性的儿茶素单体, 其含量提升有助于增强茶叶的功能性品质[23]。这表明蓝网遮荫不仅调控儿茶素总量, 更通过优化单体配比提升茶叶的综合品质。

咖啡碱含量在本研究中呈现出处理间的差异性: B1 处理略有提升, B2 处理在 7 d 和 21 d 时低于 CK。这一结果与前人研究中关于咖啡碱对遮荫响应的不一致性相符[24], 可能与遮荫程度、光质变化及氮代谢状态的交互作用有关。总体来看, B2 处理更有利于维持咖啡碱在适宜范围内, 避免因含量过高影响茶汤口感。

综上所述, 蓝色遮阳网遮荫通过光强与光质的协同调控, 优化茶树碳氮代谢平衡, 提升春茶品质。其中 80%遮光率处理在提升鲜爽度、降低苦涩味、优化儿茶素组成等方面表现最优, 适宜作为湖南丘陵茶区春茶优质生产的遮荫模式。后续研究可进一步结合转录组与代谢组学手段, 深入解析蓝光信号调控茶树次生代谢的分子机制。

## 5. 结论

本研究以 15 年生白毫早茶树为材料, 在湖南长沙县丘陵茶区设置不同遮光率蓝色遮阳网处理, 系统分析了遮荫 0 d、7 d、14 d 和 21 d 对春茶光合色素及主要品质生化成分的影响。结果表明, 不同遮光强度对茶树碳氮代谢及品质形成具有显著调控作用。

总体来看, 较高遮光水平(80%蓝色遮阳网)在提高茶氨酸含量、降低酚氨比及优化儿茶素组成方面表现出更为优异的效果, 有利于提升茶叶鲜爽度与嫩度, 适用于以风味品质提升为主要目标的春茶生产。而中等遮光水平(50%蓝色遮阳网)在维持一定酚类物质含量的同时, 对部分功能性儿茶素(如 GCG)的积累具有促进作用, 表明其在功能性成分导向生产中具有一定应用潜力。

因此, 蓝色遮阳网的适宜遮光率应根据生产目标进行选择: 以提升鲜爽度和感官品质为目标时, 可优先考虑较高遮光率处理; 而在兼顾功能性成分或特定活性物质积累时, 中等遮光率亦具有应用价值。本研究为湖南丘陵茶区春茶优质栽培中蓝色遮阳网的合理配置提供了依据, 同时为茶树光质调控技术的精细化应用提供了参考。未来研究可进一步结合不同茶树品种及生态条件, 系统评估蓝色遮阳网对茶叶香气成分、矿质元素及风味形成机制的影响, 以完善茶树优质高效栽培的理论与技术体系。

## 致 谢

我们感谢本文每位作者提供的技术帮助, 感谢湖南农业大学交叉学科研究院提供的实验场地和设备支持。本研究得到了神农青年英才计划(2022NK2044)、湖南省芙蓉计划企业科技创新创业团队以及湖南省重点研发项目(2024JJ3019)的支持。

## 参考文献

- [1] Folta, K.M. and Carvalho, S.D. (2015) Photoreceptors and Control of Horticultural Plant Traits. *HortScience*, **50**, 1274-1280. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.9.1274>
- [2] 陈永快, 王涛, 兰婕, 等. 植物工厂内 LED 光调控在作物栽培中的研究进展[J]. *江苏农业科*, 2020, 48(23): 40-46.
- [3] Pandey, G., Parks, S. and Thomas, R.G. (2023) Polymer and Photo-Selective Covers on Plant and Fruit Development: A Review. *Agronomy Journal*, **115**, 3074-3091. <https://doi.org/10.1002/agj2.21442>
- [4] De Costa, W.A.J.M., Mohotti, A.J. and Wijeratne, M.A. (2007) Ecophysiology of Tea. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, **19**, 299-332. <https://doi.org/10.1590/s1677-04202007000400005>
- [5] 陈菊艳, 邓伦秀, 李鹤等. 遮光对贵州原产两种金花茶生长发育和生理特性的影响[J]. *南京林业大学学报(自然*

- 科学版), 2022, 46(3): 83-90.
- [6] Beer, J. (1987) Advantages, Disadvantages and Desirable Characteristics of Shade Trees for Coffee, Cacao and Tea. *Agroforestry Systems*, **5**, 3-13. <https://doi.org/10.1007/bf00046410>
- [7] Ye, J.H., Lv, Y.Q., Liu, S.R., Jin, J., Wang, Y., Wei, C., *et al.* (2021) Effects of Light Intensity and Spectral Composition on the Transcriptome Profiles of Leaves in Shade Grown Tea Plants (*Camellia sinensis* L.) and Regulatory Network of Flavonoid Biosynthesis. *Molecules*, **26**, Article No. 5836. <https://doi.org/10.3390/molecules26195836>
- [8] 王晋, 刘峰, 张应香, 等. 遮阴技术对茶叶品质的影响[J]. 河南农业, 2023(6): 43-44.
- [9] 陈佩, 杨知建, 肖润林. 遮荫对茶园生态环境及其茶树光合作用和产量的影响研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(11): 5604-5605+5639.
- [10] 陈家铭, 吴淑华, 曾兰亭, 等. 遮阴对茶叶品质和产量影响研究进展[J]. 中国茶叶, 2021, 43(5): 1-10.
- [11] 常硕其, 张亚莲, 曾跃辉, 等. 提高夏秋绿茶品质技术研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2009, 35(5): 561-564.
- [12] 唐颢, 唐劲驰, 黎健龙. 高温干旱季节茶园覆盖遮荫的综合效应研究[J]. 广东农业科学, 2008(8): 26-29.
- [13] 刘金仙, 傅仙玉, 卢莉, 等. 遮阴对“佛手”茶树生长及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(13): 66-70.
- [14] 张文锦, 梁月荣, 张方舟, 等. 覆盖遮荫对乌龙茶产量、品质的影响[J]. 茶叶科学, 2004, 24(4): 276-282.
- [15] 秦志敏, 付晓青, 肖润林, 等. 不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4509-4516.
- [16] 韩文炎, 金晶, 魏吉鹏, 等. 遮阴树对茶树生长及茶叶产量和品质的影响[J]. 中国茶叶, 2022, 44(9): 16-19.
- [17] Xiang, P., Marat, T., Huang, J., Cheng, B., Liu, J., Wang, X., *et al.* (2025) Response of Photosynthetic Capacity to Ecological Factors and Its Relationship with EGCG Biosynthesis of Tea Plant (*Camellia sinensis*). *BMC Plant Biology*, **25**, Article No. 199. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06106-8>
- [18] Kume, A., Akitsu, T. and Nasahara, K.N. (2018) Why Is Chlorophyll B Only Used in Light-Harvesting Systems? *Journal of Plant Research*, **131**, 961-972. <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1052-7>
- [19] Mu, W., Zhang, T. and Jiang, B. (2015) An Overview of Biological Production of L-theanine. *Biotechnology Advances*, **33**, 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.04.004>
- [20] 闫振, 黄健垚, 高路, 等. 茶树体内咖啡碱生物代谢研究进展[J]. 中国茶叶, 2020, 42(7): 1-7.
- [21] Yan, Z., Zhong, Y., Duan, Y., Chen, Q. and Li, F. (2020) Antioxidant Mechanism of Tea Polyphenols and Its Impact on Health Benefits. *Animal Nutrition*, **6**, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.01.001>
- [22] 肖文敏, 张虹, 任志红, 等. 遮光颜色对夏季北方茶园的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(4): 36-45.
- [23] Nadiyah, N.I. and Uthumporn, U. (2015) Determination of Phenolic and Antioxidant Properties in Tea and Spent Tea under Various Extraction Method and Determination of Catechins, Caffeine and Gallic Acid by HPLC. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, **5**, 158-164.
- [24] 陆安霞, 叶玉龙, 廖雪利, 等. 遮阳对茶树鲜叶主要氮素化合物的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(10): 76-81.