

# 不同遮阴条件下钙肥施用量对赤苍藤生长、产量及品质的影响

黄诗宇, 杨天为, 田姗姗, 高曼熔, 张尚文

(广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所 南宁 530007)

**摘要:**为探究遮阴度与钙肥施用量对赤苍藤生长发育及品质的影响,本研究以桂赤苍藤1号为材料,采用双因素随机区组设计,设置4个遮阴度(S0-0%、S1-30%、S2-60%、S3-80%)和4个钙肥水平(T0-0 kg·667 m<sup>-2</sup>、T1-1 kg·667 m<sup>-2</sup>、T2-2 kg·667 m<sup>-2</sup>、T3-3 kg·667 m<sup>-2</sup>),测定其生长指标(新增侧芽数量、长度和产量)与营养品质指标(水分以及蛋白质、氨基酸、维生素C、粗纤维、磷、钙、铁、锌含量)。结果表明,60%遮阴度配合钙肥2 kg·667 m<sup>-2</sup>(S2-T2)处理表现最优,其新增侧芽长度达18.3 cm,较对照(S0-T0)显著提高67.9%;每株新增侧芽数量达60.2个,较S0-T0显著增加97.3%;小区产量达10.1 kg,较S0-T0显著提高46.4%。品质分析表明,S2-T2处理的蛋白质含量(60.1 g·kg<sup>-1</sup>)、氨基酸总量(41.1 g·kg<sup>-1</sup>)和维生素C含量(1498 mg·kg<sup>-1</sup>)分别较S0-T0显著提高42.1%、36.1%和19.1%。综上,适度遮阴(60%)与适量钙肥(2 kg·667 m<sup>-2</sup>)协同作用可显著促进赤苍藤生长并提升其产量和品质,本研究为赤苍藤规范化栽培提供了理论依据和技术参数。

**关键词:** 赤苍藤; 遮阴度; 钙肥; 生长发育; 品质

中图分类号: S649

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)04-218-06

## Effects of calcium fertilizer application rates on growth, yield and quality of *Erythralum Scandens* under different shading conditions

HUANG Shiyu, YANG Tianwei, TIAN Shanshan, GAO Manrong, ZHANG Shangwen

(Biotechnology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Science, Nanning 530007, Guangxi, China)

**Abstract:** To investigate the effects of shading intensity and calcium fertilizer application rates on the growth, development, and quality of *Erythralum Scandens*, the Gui Chicangteng 1 was used as experimental material. A two-factor randomized block design was employed, incorporating four shading levels (S0-0%, S1-30%, S2-60%, S3-80%) and four calcium fertilizer levels (T0-0 kg, T1-1 kg, T2-2 kg, T3-3 kg per 667 m<sup>2</sup>). Growth parameters (number of new lateral buds, new lateral buds length, and yield) and nutritional quality indicators (moisture content, as well as protein, total amino acids, vitamin C, crude fiber, phosphorus, calcium, iron, and zinc content) were measured. The results indicated that the treatment combination of 60% shading (S2) with 2 kg calcium fertilizer per 667 m<sup>2</sup> (T2) (S2-T2) performed optimally. In this treatment, the length of new lateral buds reached 18.3 cm, which was significantly increased by 67.9% compared with the control (S0-T0); the number of new lateral buds per plant reached 60.2, significant increase 97.3% compared to the control; and the plot yield reached 10.1 kg, a significant increase of 46.4% compared to the control. Quality analysis revealed that the S2-T2 treatment significantly enhanced the content of protein (60.1 g·kg<sup>-1</sup>), total amino acids (41.1 g·kg<sup>-1</sup>), and vitamin C (1498 mg·kg<sup>-1</sup>), which were significantly increased by 42.1%, 36.1%, and 19.1%, respectively, compared to the control. The study demonstrates that the synergistic effect of moderate shading (60%) and an appropriate calcium fertilizer rate (2 kg·667 m<sup>-2</sup>) can significantly promote the growth of *E. scandens* and improve its yield and quality, providing a theoretical basis and technical parameters for the standardized cultivation of *E. scandens*.

**Key words** *Erythralum Scandens*; Shading condition; Calcium fertilizer; Growth and development; Quality

收稿日期: 2025-07-05; 修回日期: 2025-10-31

基金项目: 广西县域特色现代农业产业科技强链(桂科农 AA2512260004); 广西重点研发计划(桂科 AB21220042); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2026YT123); 广西农业科学院成果转化项目(NCZ202607); 广西水土保持学会重点领域创新项目(202009001)

作者简介: 黄诗宇, 女, 助理研究员, 主要从事特色药用植物种质资源开发与遗传改良研究。E-mail: 304312246@qq.com

通信作者: 张尚文, 男, 副研究员, 主要从事特色药用植物种质资源开发与遗传改良研究。E-mail: 63838114@qq.com

赤苍藤(*Erythralum scandens*)是铁青树科赤苍藤属的一种木质藤本植物,具有较高的药用和营养价值,其嫩茎叶不仅口感清脆,还富含多种生物活性物质,包括维生素(如维生素B、维生素C等)、人体必需氨基酸(如赖氨酸、亮氨酸等)以及矿质元素(如钙、铁、镁等)<sup>[1]</sup>。赤苍藤的茎部含有多种次生代谢产物,如黄酮类、酚类和萜类化合物,这些成分具有抗炎和抗氧化等生物活性<sup>[2]</sup>。传统用法为将根部与肉类共煮或浸泡于酒中制成药酒内服,以增强其药效。赤苍藤的叶片经捣烂后外敷,能够有效缓解局部水肿和炎症,其茎的水提物可能对痛风有一定疗效<sup>[3-4]</sup>。高德凤等<sup>[5]</sup>从赤苍藤中分离并鉴定到11种化合物,其中化合物10的活性优于临床抗炎药物吡哆美辛。可见,赤苍藤不仅在传统医学中广泛应用,还可能因其丰富的生物活性成分而成为现代药物开发和功能性食品研究的重要资源,具有广阔的开发前景。

随着人们健康意识的不断提高和对天然、绿色、健康食品的渴求日益旺盛,赤苍藤的市场需求也在持续增长。本课题组前期的栽培试验(未发表)发现,在喀斯特地貌中种植的赤苍藤植株长势优于其他地区,这可能与喀斯特地貌土质中含有的矿质元素有关。在植物所需的营养元素中,对钙的需求量仅次于氮、磷、钾,钙是植物生长发育不可或缺的关键营养元素,是构成细胞壁与胞间层的关键成分,对于保持细胞膜的完整结构至关重要,同时还能有效提升植物的抗逆性<sup>[6]</sup>。已有研究表明,生菜叶面喷施钙肥能够提高品质及缓解干烧心的情况<sup>[7]</sup>。陈昊晗等<sup>[8]</sup>研究发现,在施用基础复合肥的基础上增施钙肥,能够进一步提高大白菜的营养品质。王芳等<sup>[9]</sup>研究表明,在高温胁迫下对花生幼苗施用外源钙,能够提高其叶片活性氧(ROS)清除酶活性以及渗透调节物质含量,从而降低ROS的积累和危害,抵御高温胁迫。

研究发现桂赤苍藤1号和桂赤苍藤2号嫩叶的钙含量( $w$ ,后同)分别达850和1040  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,远高于叶用莴苣、黄瓜等蔬菜<sup>[10]</sup>,并且赤苍藤十分适宜生长在喀斯特地貌环境中,由此推测赤苍藤可能对钙的需求量较高,属于喜钙植物。目前有关赤苍藤栽培生理方面的研究有光氮互作对赤苍藤幼苗的影响<sup>[11]</sup>、不同氮磷钾比对赤苍藤苗期生长发育的影响<sup>[12]</sup>、不同外源硒对赤苍藤生长发育及品质的影响<sup>[13]</sup>以及不同光照处理对赤苍藤生理的影响<sup>[14]</sup>,但有关钙对赤苍藤生长发育及品质形成的研究仍未

见报道。此外,黄雪梅等<sup>[15]</sup>研究发现,不同光照条件下进行不同肥料处理后,赤苍藤的光合效率及生长发育均受到影响。因此,本研究在不同遮阴条件下施用不同量的钙肥,以探究遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤生长发育及品质形成的影响,以期对赤苍藤在生产实践中的栽培管理提供参考数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于2024年6月15日—9月5日在广西崇左市大新县桃城镇赤苍藤种植示范基地进行,供试材料为桂赤苍藤1号,由广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所选育,为三年生、冠幅在1.0 m左右的植株。复合肥为平衡型复合肥[氮磷钾为17-17-17,氮磷钾总含量( $w$ ,后同) $\geq 51\%$ ,美爱保集团龙灯中国],钙肥为硝酸氨钙(Ca含量 $\geq 18\%$ ,嘉利化肥有限公司)。

### 1.2 试验设计

采用双因素随机区组试验设计,采用不同遮阴度(S0-0%、S1-30%、S2-60%、S3-80%)的聚乙烯材质的遮阳网(南宁市惠民科技有限公司),定植前盖遮阴网,高2 m。以复合肥( $8 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ )为基础,配施不同用量钙肥,设置4种钙肥水平(T0-0  $\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ 、T1-1  $\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ 、T2-2  $\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ 、T3-3  $\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ ),具体组合见表1,复合肥和钙肥均分2次通过滴灌追施(6月15日第1次、6月25日第2次),每个处

表1 不同遮阴度和钙肥施用量处理试验设计  
Table 1 Experimental design of treatments under different shading intensities and calcium fertilizer application rates

处理 Treatment	遮阴度 Shading intensity/%	钙用量 Calcium fertilizer application rates/( $\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ )
S0-T0	0(S0)	0(T0)
S0-T1	0	1(T1)
S0-T2	0	2(T2)
S0-T3	0	3(T3)
S1-T0	30(S1)	0
S1-T1	30	1
S1-T2	30	2
S1-T3	30	3
S2-T0	60(S2)	0
S2-T1	60	1
S2-T2	60	2
S2-T3	60	3
S3-T0	80(S3)	0
S3-T1	80	1
S3-T2	80	2
S3-T3	80	3

理3个小区,每个小区面积20 m<sup>2</sup>,采用地膜覆盖栽培,行距100 cm,株距80 cm。

### 1.3 测定指标与方法

1.3.1 农艺性状指标统计 最后1次施肥处理10 d后(7月5日)每小区随机挑选10株长势较为一致的植株,以嫩枝长15~18 cm为采收标准(包含嫩芽和嫩叶),每5 d采摘1次,统计其所有新发侧芽的数量和长度,并称质量,3次重复。以小区为单位统计两个月的新增侧芽数量以及产量。

1.3.2 嫩芽和嫩叶理化指标的测定 7月5日,以嫩枝长15~18 cm为采收标准(包含嫩芽和嫩叶),每个小区取嫩芽和嫩叶共250 g,均匀混合后进行相关理化指标测定,3次重复。根据GB 5009.5—2016<sup>[16]</sup>测定蛋白质含量,根据GB 5009.124—2016<sup>[17]</sup>测定氨基酸总量,根据GB 5009.3—2016<sup>[18]</sup>测定水分含量,根据GB 5009.86—2016<sup>[19]</sup>测定维生素C含量,根据GB/T 5009.10—2003<sup>[20]</sup>测定粗纤维含量,根据GB 5009.87—2016<sup>[21]</sup>测定磷(P)含量,根据GB 5009.92—2016<sup>[22]</sup>测定钙(Ca)含量,根据GB 5009.90—2016<sup>[23]</sup>测定铁(Fe)含量,根据GB 5009.14—2017<sup>[24]</sup>测定锌(Zn)含量。

### 1.4 数据分析

采用Excel 2021整理试验数据,采用SPSS 24.0进行数据的差异显著性分析( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤生长的影响

由表2可知,遮阴度和钙肥施用量均对赤苍藤新增侧芽长度产生显著影响。在相同钙肥施用量下,新增侧芽长度均随着遮阴度增加呈先增加后降低趋势。各钙肥施用量下,S2处理的新增侧芽长度均达到最大值(12.3~18.3 cm),S3处理的新增侧芽长度均较S2显著降低,但均高于相应S0,说明对侧芽生长促进作用减弱,适度遮阴(30%~60%)有利于侧芽生长,而过度遮阴则会影响其促进作用。在钙肥施用量方面,在各遮阴度下,与T0相比,T1~T3处理均显著促进了新增侧芽生长,其中T2处理效果均最佳,在各遮阴度下均表现出最优的促进效果,尤其在30%(S1)和60%(S2)遮阴条件下,T2处理新增侧芽长度分别达到了16.5和18.3 cm,分别较相应T0提高了43.5%和48.8%;各遮阴度下T3处理的新增侧芽长度均较T2降低,表明钙肥施用存在最适剂量。综合比较,60%遮阴配合钙肥2 kg·667 m<sup>-2</sup>

表2 不同遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤新增侧芽长度的影响

Table 2 Effects of different shading intensities and calcium fertilizer application rates on the new lateral buds length of *Erythralum scandens*

处理 Treatment	新增侧芽长度 New lateral buds length/cm
S0-T0	10.9±1.0 h
S0-T1	12.3±0.1 g
S0-T2	13.4±0.2 def
S0-T3	12.7±0.3 fg
S1-T0	11.5±0.2 h
S1-T1	13.0±0.2 efg
S1-T2	16.5±0.7 c
S1-T3	16.1±0.2 c
S2-T0	12.3±0.2 g
S2-T1	14.1±0.2 d
S2-T2	18.3±0.5 a
S2-T3	17.3±0.2 b
S3-T0	11.4±0.1 h
S3-T1	12.4±0.1 g
S3-T2	13.9±0.2 d
S3-T3	13.7±0.2 de

注:不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

(S2-T2)处理组合表现出最佳的协同效应,较S0-T0显著提高67.9%,说明通过优化遮阴管理并配合适量钙肥施用,可有效促进赤苍藤新增侧芽的伸长生长。

由表3可知,遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤新

表3 不同遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤新增侧芽数量的影响

Table 3 Effects of different shading intensities and calcium fertilizer application rates on the number of new lateral buds of *Erythralum scandens*

处理 Treatment	新增侧芽数量 Number of new lateral buds
S0-T0	30.5±0.7 k
S0-T1	33.4±1.1 j
S0-T2	39.6±0.6 hi
S0-T3	35.4±0.6 j
S1-T0	38.2±1.5 i
S1-T1	42.1±1.4 gh
S1-T2	51.8±1.3 c
S1-T3	47.8±0.9 de
S2-T0	41.3±1.1 gh
S2-T1	46.2±2.3 ef
S2-T2	60.2±1.8 a
S2-T3	49.5±0.7 cd
S3-T0	40.1±0.9 hi
S3-T1	43.6±2.3 fg
S3-T2	58.6±1.6 a
S3-T3	55.3±2.3 b

增侧芽数量有显著影响。随着遮阴度从 0%(S0)增加到 60%(S2),各钙肥施用量下的新增侧芽数量均呈显著上升趋势,且 S2-T2 处理新增侧芽数量最多,为 60.2 个,较 S0-T2 显著增加 52.0%。然而,当遮阴度增至 80%(S3)时,除 T3 处理外,T0~T2 处理的新增侧芽数量均出现不同程度的下降,表明过度遮阴会影响促生效果。由表 3 可知,钙肥施用也可显著促进新增侧芽数量的增加,且存在剂量效应。各遮阴度下,均以 T2 处理效果最佳。在 S1~S3 遮阴度下,T2 处理较相应 T0 分别显著提高了 35.6%、45.8%和 46.1%,T3 处理的促生效果均低于 T2,特别是在 S2 遮阴度下较 T2 处理显著降低 17.8%,表明过量钙肥会减弱其促生作用。综上,60%遮阴度与钙肥 2 kg·667 m<sup>2</sup>(S2-T2)处理组合具有最佳的协同效应,其新增侧芽数量显著高于其他处理组合,较 S0-T0 显著增加了 97.3%,可显著促进赤苍藤植株侧芽的形成。

## 2.2 不同遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤产量的影响

由表 4 可知,遮阴度与钙肥施用量对小区产量具有显著影响。随着遮阴度从 0%(S0)增至 60%(S2),各钙肥施用量下的小区产量均呈递增趋势,其中 S2-T2 处理产量最高,达 10.1 kg,较 S0-T2 显著提高了 24.7%;然而当遮阴度增至 80%(S3)时,各钙肥施用量下的小区产量较 S2 下降 1.0%~5.0%,表明适度遮阴(60%)可显著提高产量,而过度遮阴(80%)可能因光合作用受限导致产量回落。各遮阴度下,小区产量均随钙肥施用量增加呈先增后降趋势,且均以 T2 处理产量最高,较相应 T0 分别显著提高 17.3%、26.7%、18.8%和 15.7%;但过量施钙(T3, 3 kg·667 m<sup>2</sup>)的增产效应减弱,S2-T3 处理较 S2-T2 降低 4.0%,表明钙肥存在剂量依赖性阈值。60%遮阴与钙肥 2 kg·667 m<sup>2</sup>(S2-T2)处理组合的小区产量最高,说明该遮阴度和钙肥施用量的协同效应最显著,其产量较其他处理组合提高 4.8%~46.4%,进一步验证了光-肥协同调控对作物产量的优化作用。综上,适度遮阴(60%)结合钙肥 2 kg·667 m<sup>2</sup>(S2-T2)处理组合可显著提高赤苍藤产量。

## 2.3 不同遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤品质的影响

由表 5 可知,遮阴度与钙肥施用量对赤苍藤营养品质具有显著影响。其中,不同遮阴度下,Ca 含量随钙肥施用量增加均呈上升趋势,S2-T3 处理最高,Fe 和 P 含量在 S2-T2 处理达到峰值

表 4 不同遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤小区产量的影响

Table 4 Effects of different shading intensities and calcium fertilizer application rates on the plot yield of *Erythralum scandens*

处理 Treatment	小区产量 Plot yield/kg
S0-T0	6.9±0.4 g
S0-T1	7.3±0.1 fg
S0-T2	8.1±0.3 e
S0-T3	7.3±0.3 fg
S1-T0	7.5±0.4 f
S1-T1	8.6±0.2 cde
S1-T2	9.5±0.2 ab
S1-T3	8.6±0.1 cde
S2-T0	8.5±0.3 cde
S2-T1	9.2±0.1 bc
S2-T2	10.1±0.1 a
S2-T3	9.7±0.2 ab
S3-T0	8.3±0.2 de
S3-T1	8.9±0.4 cd
S3-T2	9.6±0.1 ab
S3-T3	9.0±0.2 c

(10.78 mg·kg<sup>-1</sup>和 1051 mg·kg<sup>-1</sup>),而 Zn 含量为 S2-T1 处理最高(5.63 mg·kg<sup>-1</sup>),表明不同矿质元素的吸收积累受到光-钙作用的影响不同。S2-T2 处理的蛋白质、氨基酸总量和维生素 C 含量均最高,分别为 60.1 g·kg<sup>-1</sup>、41.1 g·kg<sup>-1</sup>和 1498 mg·kg<sup>-1</sup>,较 S0-T0 分别显著提高了 42.1%、36.1%和 19.1%,说明适度遮阴(S2)与适量钙肥(T2)处理有利于营养物质的积累。在各钙肥施用量下,T3 处理蛋白质含量均较 T2 显著降低,说明强遮阴会削弱作物的代谢活性。此外,各钙肥施用量下,粗纤维含量整体均随遮阴度增加而降低,可能与弱光环境下细胞壁合成减弱有关。在各钙肥施用量下,水分含量整体上随遮阴度增加呈先升后降趋势;在各遮阴度下,水分含量整体上也随钙肥施用量增加呈先升后降趋势。说明适度遮阴以及增施钙肥均能够提升水分含量。综上,60%遮阴度(S2)配合钙肥 2 kg·667 m<sup>2</sup>(T2)施用是最佳的品质优化组合。

## 3 讨论与结论

钙作为植物生长发育过程中不可或缺的中量营养元素,对作物产量形成和品质提升的积极效应已在多种农作物中得到广泛验证<sup>[25-27]</sup>。本研究通过设置不同梯度的遮阴条件和钙肥施用量,系统探讨了光-钙互作对赤苍藤生长发育、产量及营养品质特征的交互影响,揭示了光-钙协同调控在赤苍藤栽培生理中的关键作用。研究结果表明,适度遮阴(60%)结合 2 kg·667 m<sup>2</sup>钙肥(S2-T2)处理组合在促

表5 不同遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤品质的影响

Table 5 Effects of different shading intensities and calcium fertilizer application rates on the quality of *Erythralum scandens*

处理 Treatment	w(Ca)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(Zn)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(P)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(Fe)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(蛋白质) Protein content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(粗纤维) Crude fiber content/%	w(氨基酸总量) Total amino acids content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(维生素C) Vitamin C content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(水分) Moisture content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
S0-T0	683±23 i	5.26±0.16 h	894±43 i	7.62±0.32 l	42.3±1.9 j	2.1±0.1 c	30.2±1.4 i	1258±68 l	83.6±4.4 h
S0-T1	838±27 f	5.44±0.27 def	912±40 hi	8.43±0.47 i	45.6±2.3 h	2.4±0.1 a	32.6±1.9 h	1305±64 j	84.5±4.3 g
S0-T2	920±43 e	5.57±0.31 ab	980±51 ef	9.82±0.46 e	47.1±2.3 fg	2.3±0.1 b	35.3±2.2 ef	1351±59 g	84.6±3.7 g
S0-T3	1050±57 c	5.59±0.27 ab	990±51 de	9.47±0.39 g	46.3±2.6 gh	1.8±0.1 e	36.8±2.2 d	1350±64 g	83.9±4.1 h
S1-T0	780±22 g	5.12±0.24 i	930±37 gh	8.05±0.36 k	45.6±3.0 h	1.8±0.1 e	32.6±1.6 h	1283±61 k	84.9±4.1 fg
S1-T1	963±41 d	5.37±0.28 fg	1025±58 abc	9.84±0.43 e	50.1±2.3 e	1.9±0.1 d	34.1±1.9 g	1408±68 d	83.5±4.3 hi
S1-T2	1052±48 c	5.48±0.30 cde	1041±66 ab	10.58±0.48 b	56.5±2.9 c	1.9±0.1 d	39.1±2.6 b	1433±68 c	85.4±4.1 de
S1-T3	1105±58 b	5.58±0.30 ab	1032±68 abc	10.21±0.45 d	52.1±2.3 d	1.9±0.1 d	37.8±2.2 c	1430±71 c	84.5±4.3 g
S2-T0	768±30 g	5.32±0.28 gh	954±43f g	8.63±0.34 h	47.5±2.2 f	1.7±0.1 f	35.6±1.9 e	1325±64 i	85.4±4.1 de
S2-T1	950±51 de	5.63±0.26 a	1021±66 abc	10.32±0.46 cd	56.5±2.2 c	1.8±0.1 e	38.8±2.2 b	1432±67 c	85.9±4.1 bc
S2-T2	1092±46 b	5.58±0.23 ab	1051±66 a	10.78±0.48 a	60.1±3.0 a	1.8±0.1 e	41.1±2.6 a	1498±68 a	86.1±3.7 ab
S2-T3	1150±57 a	5.47±0.28 de	1048±76 ab	10.36±0.46 c	58.9±3.4 b	1.9±0.1 d	39.5±2.5 b	1450±71 b	85.6±4.4 cd
S3-T0	730±29 h	5.32±0.21 gh	902±40 hi	8.23±0.34 j	40.3±1.9 k	1.7±0.1 f	29.6±1.2 i	1237±67 m	83.1±4.4 i
S3-T1	925±50 e	5.41±0.27 ef	1010±65 cd	9.51±0.39 g	43.6±2.3 i	1.8±0.1e	30.2±1.5 i	1336±66 h	84.9±4.1 fg
S3-T2	1031±52 c	5.56±0.27 abc	1035±72 abc	9.81±0.45 e	51.5±2.9 d	1.8±0.2 e	35.6±2.1 e	1380±64 e	85.1±4.4 ef
S3-T3	1103±55 b	5.51±0.27 bcd	1018±62 bcd	9.66±0.38 f	47.8±2.6 f	1.7±0.1 f	34.5±1.8 fg	1365±64 f	86.5±4.3 a

注:同列不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level.

进侧芽生长、提高产量及优化营养品质方面均表现出显著优势。这与前人在其他作物上的研究结果相似,刘娅等<sup>[28]</sup>施用钙肥可显著提高2个白菜品种的地上部和根系的生物量,且随着钙肥施用量增加,其地上部和根系的生物量均呈先增加后降低的趋势;刘环环等<sup>[29]</sup>对高油酸花生施用不同量的钙肥,发现钙肥不足或过量均不能达到最优效果<sup>[20]</sup>。可见钙肥不足或过量均无法实现最优生长响应,本研究进一步印证了钙肥合理施用的必要性。赤苍藤在60%遮阴度下表现出最佳的生长响应,这与卢庸等<sup>[13]</sup>关于赤苍藤光合特性随光强变化的研究结果相一致,而80%遮阴度下植株生长指标相较于60%遮阴度显著下降,推测是由于重度遮阴引起光合同化产物供应不足,从而限制了生物量的形成,这与吴婷婷等<sup>[11]</sup>的报道一致,相较于不遮阴和轻度遮阴,重度遮阴会减弱对赤苍藤的促生作用。综上所述,遮阴度和钙肥施用量对赤苍藤的生长均具有一定影响,二者能参与调控植株的形态建成、产量形成与营养成分积累。合理配置遮阴强度与钙肥施用量,是实现赤苍藤高产优质栽培的重要生理基础。

本研究中,光-钙互作能够表现出明显的协同效应,以S2-T2处理组合表现最优,其产量最高,可能

有以下原因:(1)适度遮阴延长了光合作用时间,减少光呼吸消耗。这与李响<sup>[30]</sup>对大叶芹的研究结果一致,40%遮阴度下,大叶芹的净光合速率最高,且不存在“光合午休”现象,该处理下的形态指标最佳,株高、茎粗及叶面积均最大。(2)钙离子作为第二信使激活了碳同化关键酶活性。林泽彬<sup>[31]</sup>使用钙肥处理甘薯也获得了类似的结果,无钙处理组与钙处理组的转录组分析表明,许多差异表达的碳同化相关基因能够被显著富集,说明适宜的钙肥施用能够显著提升甘薯产量和品质。(3)Vanneste等<sup>[32]</sup>研究发现钙能够影响生长素运输。由此推测钙介导的源库关系优化可能促进了同化物向侧芽的转运。本研究中,钙含量随钙肥施用量增加呈上升趋势,这与赤苍藤为喜钙植物的特性相符,S0-T3处理的钙含量达1050 mg·kg<sup>-1</sup>,较S0-T0处理显著提高53.7%,但该处理的其他品质指标并未表现最优,这表明单纯的钙积累并不能完全代表其整体营养品质。S2-T2处理虽然钙含量(1092 mg·kg<sup>-1</sup>)低于S2-T3、S1-T3、S3-T3处理,但其蛋白质、氨基酸总量和维生素C含量均高于S2-T3、S1-T3和S3-T3处理,营养品质提升更均衡,说明适度遮阴改善营养品质的机制,可能在于适度遮阴可调控钙的生理活性,从而

影响其他物质的生物合成。这与在甘薯<sup>[11]</sup>、花生<sup>[33]</sup>上的研究结果相似。

综合生长指标、产量表现和品质分析,60%遮阴度搭配钙肥 2 kg·667 m<sup>2</sup>(S2-T2)是赤苍藤栽培的最佳光肥组合,该处理组合下,赤苍藤的新增侧芽长度最长,新增侧芽数最多,产量最高,且蛋白质含量、氨基酸总量、维生素 C 含量均较 S0-T0 显著提升。该方案通过调控光合效率、钙信号转导和矿质吸收等多重途径,实现赤苍藤产量与品质的协同提升。本研究为赤苍藤的标准化栽培提供了理论依据,对其产业化开发具有重要指导意义。但本研究仅是初步分析了光-钙互作对赤苍藤生长和品质的影响,今后可结合转录组学和代谢组学技术进一步挖掘更深入的生理机制,为赤苍藤的高效栽培和品质调控提供更全面的理论依据。

### 参考文献

- [1] 隆卫革,黎素平,安家成,等.森林蔬菜赤苍藤营养分析与评价[J].食品研究与开发,2017,38(24):124-127.
- [2] 潘乔丹,黄元河,莫绪秀,等.赤苍藤茎化学成分预实验及薄层色谱分析[J].中国民族民间医药,2020,29(19):16-21.
- [3] 黄诗宇,张向军,李婷,等.广西新兴药食同源蔬菜赤苍藤产业发展现状与发展对策[J].中国瓜菜,2021,34(8):109-115.
- [4] 许崇摇,韦贵云,朱丹,等.赤苍藤茎叶水提物抗痛风作用的实验研究[J].中国药房,2019,30(24):3418-3422.
- [5] 高德凤,石志棉,豆博强,等.赤苍藤化学成分及其抗炎活性研究[J].广西师范大学学报(自然科学版),2025,43(2):258-264.
- [6] 张枫叶,贺群岭,吴继华,等.外源钙对花生耐旱调控的研究进展[J].农业科技通讯,2023(11):161-163.
- [7] 谢沛宁,佟静,武占会,等.叶面喷施钙肥对生菜品质及干烧心的影响[J].山东农业科学,2024,56(8):110-116.
- [8] 陈昊晗,胡景田,王维翰,等.海洋源钙肥用量对大白菜生长与营养品质的影响[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2024,41(3):207-212.
- [9] 王芳,杨莎,郭峰,等.钙对花生幼苗生长、活性氧积累和光抑制程度的影响[J].生态学报,2015,35(5):1496-1504.
- [10] 张尚文,李婷,石前,等.药食同源蔬菜赤苍藤新品种桂赤苍藤1号和桂赤苍藤2号的选育[J].中国蔬菜,2020(10):92-95.
- [11] 吴婷婷,潘虹,梁小春,等.光氮互作对赤苍藤幼苗生长的影响[J].热带农业科学,2024,44(9):27-34.
- [12] 马道承,田湘,王凌晖,等.氮磷钾配方施肥对赤苍藤生长效应的影响[J].中国土壤与肥料,2023(3):55-64.
- [13] 卢庸,覃凌薇,李琳,等.不同光照处理对赤苍藤光合生理和生化特性的影响[J].广西林业科学,2022,51(2):223-228.
- [14] 覃凌薇.不同外源硒对赤苍藤生长、生理及营养品质的影响[D].南宁:广西大学,2023.
- [15] 黄雪梅,黄景贵,赵俊辉,等.郁闭度和施肥类型对赤苍藤叶片生长及光合生理的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2025,45(5):38-45.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中氨基酸的测定:GB 5009.124—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中水分的测定:GB 5009.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中抗坏血酸的测定:GB 5009.86—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [20] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中磷的测定:GB 5009.87—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中钙的测定:GB 5009.92—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中铁的测定:GB 5009.90—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中锌的测定:GB 5009.14—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [25] 周帅,陈恩发,叶夕苗,等.钙肥配施对马铃薯产量品质和空心的影响[J].安徽农业科学,2025,53(2):141-144.
- [26] 金玉蔓,徐鹏亮,范永胜,等.不同钙肥对花生产量和品质的影响[J].农业科技通讯,2023(11):132-135.
- [27] 王兴翠,张静,范燕山,等.不同水平钙肥对设施生姜生长、产量和根茎品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(2):112-117.
- [28] 刘娅,卢一铭,徐卫红.不同施钙水平对白菜生长发育及风味品质的影响[J].西南农业学报,2024,37(12):2683-2691.
- [29] 刘环环,陶峰,杨志兵,等.不同施钙量对高油酸花生主要农艺性状、产量和品质的影响及经济效益评价[J].四川农业大学学报,2024,42(5):999-1004.
- [30] 李响.遮阴处理对大叶芹生长发育及光合特性的影响[D].长春:吉林农业大学,2023.
- [31] 林泽彬.钙肥对甘薯产量与品质的影响及其生理机制的初步研究[D].福州:福建农林大学,2023.
- [32] VANNESTE S, FRIML J. Calcium: The missing link in auxin action[J]. Plants, 2013, 2(4): 650-675.
- [33] 路亚.施钙对山东花生土壤特性及花生生长发育的调控机制[D].长沙:湖南农业大学,2020.