

DOI:10.12403/j.1001-1498.20220611

遮光对茶秆竹笋外观形态及不同部位间营养成分含量的影响

郭 杨, 余学军*

(浙江农林大学竹子研究院, 浙江 杭州 311300)

摘要: [目的] 探究不同光照强度对茶秆竹笋的外观形态和各部位间营养成分含量的影响, 为茶秆竹笋品质调控和科学培育提供指导。[方法] 用套袋的方式对竹笋遮光, 设置 CK (自然光照)、L1 (50% 自然光照) 和 L2 (完全遮光) 3 种光照处理, 采样后测定分析竹笋外观形态指标和各部位间营养成分含量的变化。[结果] 遮光后茶秆竹笋的基径、长度和笋个体质量下降, 中度遮光下可食率降低, 完全遮光后可食率升高; 笋箨与笋肉的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值均上升, 笋箨叶绿素含量减少, 花青素含量增加, 色素含量与色泽指标间存在显著相关性。随着光照强度减弱, 笋尖部的蛋白质和脂肪含量增加, 笋中部的氨基酸总量与必需氨基酸比例先升高后降低, 笋基部的甜味、苦味和芳香类氨基酸比例先下降后上升, 各部位的灰分含量先增多后减少, 可溶性糖含量先降低后升高, 维生素 C、纤维素和酚类物质的含量减少。[结论] 遮光后茶秆竹笋的外观品质更佳, 苦味物质含量减少, 口感明显提升, 不同光照强度下各部位营养成分含量的变化存在差异。

关键词: 遮光; 茶秆竹笋; 外观形态; 营养成分

中图分类号: S795.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2023)04-0090-09

茶秆竹 (*Pseudosasa amabilis* (McClure) Keng f.) 属禾本科 (Gramineae) 竹亚科 (Bambusoideae) 茶秆竹属 (*Pseudosasa* Makino), 是一种经济价值极高的苦笋类竹种。其竹秆通直, 材质坚韧, 抗压强度高, 是制作各种运动器材、家具和钓竿的优质原料^[1]; 竹笋则是天然的健康食品, 鲜笋洁白细腻, 散发着一股独特的香味, 笋味清苦, 但回甘爽口, 营养价值高^[2], 具有清热解毒、增强食欲的功效, 在华南地区形成了一定的市场与规模。茶秆竹原产于广东、广西、福建等地, 浙江、江苏均有引种栽培, 且生长良好, 笋期 4~5 月。

光照作为植物生长发育的能量来源, 不仅参与植物的形态建成, 还影响着光合产物积累与次生物质分配^[3]。笋芽积累到足够的能量后, 在温度适宜

时破土而出, 初期生长缓慢, 随后节间长度迅速增长, 进入高生长阶段^[4]。在此期间, 竹笋对光照的需求不高, 即使在弱光条件下也能正常生长^[5]。之后随着枝条的萌发, 竹笋的生长速度放缓, 逐渐完成向幼竹的过渡。此时如果没有足够的光照, 那么幼竹便会因为缺少阳光而死亡。然而, 研究发现, 竹笋在出土见光后苦涩味加重, 苦味物质增多, 导致食味品质下降^[6]。遮光能有效降低苦涩味强度, 提高竹笋适口性^[7], 并使竹笋色泽变浅, 可食率增加, 明显改善竹笋外观形态品质^[8]。目前, 针对茶秆竹的研究主要集中在造林育种、丰产培育和材性分析等方面, 对茶秆竹笋外观和营养品质的研究还未见报。因此, 本研究以茶秆竹笋为试验对象, 采取套袋的方式进行遮光处理, 分析茶秆竹笋在不同光照强度下外观形态以及不同部位间营养成分含量

收稿日期: 2022-12-20 修回日期: 2023-01-19

基金项目: 浙江省科技厅重大项目 (2021C02017)

* 通讯作者: 余学军, 教授级高工。主要研究方向: 竹笋营养品质调控。电话: 13968021163。Email: yuxj@zafu.edu.cn

的变化,揭示光照对竹笋品质的影响,为茶秆竹笋品质调控和科学培育提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料取自浙江农林大学东湖校区翠竹园,该地属中亚热带季风气候,温暖湿润,光照充足,雨水丰沛。年均降水量 1 600 mm 左右,降水日 158 d,年均气温 16.4 ℃,无霜期 237 d,年均日照时数达 1 847 h。土层深厚,结构疏松,茶秆竹生长良好。

2021 年 3 月,在竹园内选择生长健康、无病虫害、胸径 2~4 cm 的 1~2 年生茶秆竹进行移植,挖取时保留来鞭和去鞭 20 cm 左右,留枝 4~5 盘后截干以减少水分蒸发,搬运过程中注意不损伤笋芽,带土球移植到直径 45 cm、高 35 cm 的无纺布袋中,填土压实使竹秆直立,每袋装土 30 kg。移植完成后立即浇灌 1 次透水,之后定期浇水、除草、灭虫,保证移植成活。

1.2 试验设计

设置 3 种光照处理:CK(自然光照)、L1(50%自然光照)、L2(完全遮光),每个处理 12 袋。2022 年 3 月底使用宽 30 cm、高 40 cm 的无纺布袋与双层纸袋进行遮光处理,经照度计检测,无纺布袋的透光率为(50±5)%,双层纸袋的透光率为 0,符合试验要求。套袋前先将 4 根长度 50 cm 的竹签插入土中,套袋后用土将底部压实,再依次进行套袋直到覆盖整个移植袋表面。

1.3 样品采集

从 2022 年 4 月开始出笋后进行采样,4 袋为 1 个重复,每个重复取 12 株笋,每个处理取 36 株笋,待竹笋出土约 30 cm 时挖取,洗净后依次测量基径、长度、个体质量和笋箨色度值,剥壳计算可食率(笋肉质量/笋个体质量),笋箨剪碎后保存于-20 ℃冰箱。笋肉首先测量色度值,然后从上往下等切为 3 份,分别代表尖部、中部和基部,切块后取部分于鼓风干燥箱中烘干,经磨机粉碎后放入干燥器内,其余鲜样放入-80 ℃冰箱保存。

1.4 测定方法

1.4.1 色泽指标 竹笋的色度值使用色度仪进行测量^[9],开机校准后测定竹笋的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值和 ΔE 值,重复测量 5 次。 L^* 值表示亮度,0 代表

黑色,100 代表白色。 a^* 值表示红绿度,正值表示显红色,值越大代表红色程度越深;负值表示显绿色,值越小代表绿色程度越深。 b^* 值表示黄蓝色,正值表示显黄色,值越大代表黄色程度越深;负值表示显蓝色,值越小代表蓝色程度越深。 ΔE 值为色差值^[10],表示样品色泽与对照的差异程度,值越大代表色泽变化的程度大。

1.4.2 色素指标 笋箨叶绿素和类胡萝卜素含量采用乙醇浸提法测定,花青素含量采用盐酸浸提法测定^[11]。

1.4.3 营养成分 灰分含量采用高温灼烧法测定^[12],蛋白质含量采用凯氏定氮法测定^[13],维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[14],可溶性糖含量采用铜还原碘量法测定^[15],脂肪含量采用酸水解法测定^[16],纤维素、木质素含量采用浓硫酸水解法测定^[17],总酚含量采用福林酚比色法测定^[18],总黄酮和单宁含量采用分光光度法测定^[19-20],游离氨基酸含量采用氨基酸分析仪法测定^[21]。

1.5 数据处理

使用 Excel 2016 整理数据和制作图表,在 SPSS 25.0 中进行单因素方差分析和相关性分析,试验数据均为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 遮光后茶秆竹笋外观形态的变化

2.1.1 遮光后茶秆竹笋表型及可食率的变化 由表 1 可知:经遮光处理后,茶秆竹笋的基径和长度均显著低于 CK,竹笋基径随光照强度的降低而减小,但 L2 处理的竹笋长度大于 L1 处理,2 种遮光处理间差异不显著。与 CK 相比,L1 和 L2 处理后的笋个体质量分别降低 10.02% 和 11.44%,但 3 种处理间差异不显著。在 2 种遮光处理下,竹笋的可食率表现出相反的变化;L2 处理的竹笋可食率比 CK 提高 10.57%,而 L1 处理的竹笋可食率比 CK 降低 7.34%,2 种处理间差异显著。总体而言,遮光抑制了竹笋的生长,但完全遮光后可以提高竹笋的可食率。

2.1.2 遮光后茶秆竹笋色泽的变化 遮光后,笋箨的 L^* 值与 b^* 值均比 CK 显著提高(表 2),L1 处理的笋箨 L^* 值与 b^* 值分别比 CK 显著增大 13.64% 和 51.27%,L2 处理的笋箨 L^* 值与 b^* 值分别比 CK 显著增大 20.26% 和 51.43%,3 种遮

表1 不同光照强度下茶秆竹笋的表型特征及可食率

Table 1 Phenotypic characteristics and edible rate of *Ps. amabilis* shoots under different light intensities

处理 Treatment	基径 Diameter/mm	长度 Length/cm	笋个体质量 Individual weight/g	可食率 Edible rate/%
CK	2.40±0.32 a	34.99±1.50 a	80.26±17.81 a	49.02±7.19 ab
L1	2.09±0.27 b	31.51±2.77 b	72.22±10.17 a	45.42±5.13 b
L2	1.98±0.36 b	32.01±2.09 b	71.08±12.28 a	54.20±8.66 a

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

光处理间差异不显著。L1处理的笋箨 a^* 值比CK有所提高，但差异不显著，L2处理的笋箨 a^* 值比CK显著增加30.07%，说明遮光后笋箨的红色加深。L2处理的笋箨 ΔE 值大于L1处理，表明L2处理比L1处理对笋箨色泽的影响更大。笋肉的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值在遮光处理后均呈增大趋势，在L2处理下 L^* 值达到最高值，比CK显著提

高6.26%；3种处理下笋肉的 a^* 值与 b^* 值间差异不显著。表2表明：笋肉的 L^* 值和 b^* 值大于笋箨的，说明笋肉比笋箨更白和更黄；笋箨的 a^* 值大于笋肉，说明笋箨比笋肉红色的程度更深。L2处理下笋箨和笋肉的 ΔE 值大于L1处理，遮光对笋箨色泽的影响比笋肉更大。

表2 不同光照强度下茶秆竹笋的色泽变化

Table 2 Color changes of *Ps.amabilis* shoots under different light intensities

器官 Organ	处理 Treatment	L^*	a^*	b^*	ΔE
笋箨 Sheath	CK	27.79±1.62 b	11.04±1.46 b	12.23±2.16 b	\
	L1	31.58±1.86 a	12.36±1.69 b	18.50±1.41 a	7.57±3.97 a
	L2	33.42±1.42 a	14.36±0.37 a	18.52±2.06 a	9.21±2.27 a
笋肉 Pulp	CK	68.86±3.10 b	4.68±0.39 a	22.35±0.77 a	\
	L1	70.21±2.27 ab	4.81±0.25 a	22.38±2.68 a	3.22±1.88 a
	L2	73.17±0.84 a	4.87±0.26 a	24.49±2.01 a	5.19±1.68 a

2.1.3 遮光后茶秆竹笋箨色素含量的变化 由表3可知：随着光照强度的降低，叶绿素含量呈明显的下降趋势。L1处理的叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量分别比CK显著降低了57.01%、50.76%和54.41%，而L2处理的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量分别比CK显著降低了87.22%、75.23%和82.23%。类胡萝卜素受光照的影响较小，L1

与L2处理的类胡萝卜素含量比CK分别减少5.18%和14.05%，3种处理间差异不显著。与叶绿素和类胡萝卜素不同，花青素的含量随光照强度的降低反而有所上升；与CK相比，L1处理的花青素含量增加5.73%，但与对照差异不显著；L2处理的花青素含量比CK显著增加58.15%，增幅是L1处理的10.15倍。

表3 不同光照强度下茶秆竹笋箨色素含量的变化

Table 3 Changes of pigment content in *Ps.amabilis* shoot sheath under different light intensities

处理 Treatment	叶绿素a Cha/ (mg·kg ⁻¹)	叶绿素b Chb/ (mg·kg ⁻¹)	总叶绿素 Ch/ (mg·kg ⁻¹)	类胡萝卜素 Car/ (mg·kg ⁻¹)	花青素 An/ (mg·kg ⁻¹)
CK	55.17±4.96 a	39.28±4.83 a	94.45±9.78 a	10.82±0.79 a	2.27±0.34 b
L1	23.72±7.23 b	19.34±5.50 b	43.06±12.73 b	10.26±1.84 a	2.40±0.51 b
L2	7.05±0.26 c	9.73±1.03 c	16.78±1.26 c	9.30±1.30 a	3.59±0.47 a

2.1.4 茶秆竹笋箨色度值与色素含量相关性分析 由表4可知： L^* 值与叶绿素a、叶绿素b和总叶

绿素含量呈负相关，其中，与叶绿素a和总叶绿素含量呈显著负相关，即叶绿素含量越低，笋箨的亮

度越高。 a^* 值与叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量呈不显著负相关。 b^* 值与叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量呈显著负相关, 叶绿素含量的减少, 使得笋箨黄色加深。类胡萝卜素含量与 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值均呈负相关, 但相关性较弱, 说明类

胡萝卜素对笋箨色泽的影响较小。花青素含量与 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值均呈正相关, 其中, 与 a^* 值呈极显著正相关, 相关系数为 0.848, 说明花青素含量的上升明显提高了笋箨的红度值。

表 4 茶秆竹笋箨色度值与色素含量相关性分析

Table 4 Correlation analysis between color value and pigment content of *Ps.amabilis* shoot sheath

色度值 Color value	叶绿素a Cha	叶绿素b Chb	总叶绿素 Ch	类胡萝卜素 Car	花青素 An
L^*	-0.688*	-0.657	-0.677*	-0.204	0.634
a^*	-0.613	-0.605	-0.611	-0.187	0.848**
b^*	-0.770*	-0.750*	-0.763*	-0.062	0.450

注: *表示差异显著 ($P < 0.05$), **表示差异极显著 ($P < 0.01$)。
Notes: * Significance is 0.05, ** Significance is 0.01.

2.2 遮光后茶秆竹笋营养物质的变化

由表 5 可知: L1 处理后竹笋各部位的灰分含量相比 CK 均显著上升, 其中, 基部的增幅最大, 达 45.83%。L2 处理后, 竹笋各部位灰分含量相比 CK 均有所降低, 基部灰分含量显著减少 31.30%。3 种处理下, 竹笋蛋白质含量均从尖部向基部逐渐降低, L2 处理下尖部蛋白质含量最高, 中部和基部蛋白质含量均 CK 处理的最多, 遮光处理下各部位间蛋白质含量差异显著。随着光照强度的降低, 竹笋各部位的维生素 C 含量呈下降趋势, L1 处理下相比 CK 同一部位间维生素 C 含

量差异不显著, 而 L2 处理后相比 CK 同一部位间维生素 C 含量分别显著减少 53.44%、54.00% 和 47.90%。CK 处理下竹笋基部的可溶性糖含量显著高于其它处理后各部位的可溶性糖含量, L1 处理下竹笋尖部的可溶性糖含量最低, 3 种处理下基部可溶性糖含量均最多。CK 处理下竹笋尖部的脂肪含量低于中部和基部, 而遮光处理后竹笋尖部的脂肪含量增加, 高于中部和基部。L1 处理下竹笋尖部的脂肪含量最多, 比 CK 处理下尖部脂肪含量提高 67.72%; 基部的脂肪含量最少, 比 CK 处理下基部脂肪含量降低 31.27%。

表 5 不同光照强度下茶秆竹笋各部位营养物质含量的变化

Table 5 Changes of nutrient content in different parts of *Ps.amabilis* shoots under different light intensities

处理 Treatment	部位 Part	灰分 Ash/ ($g \cdot (100 g)^{-1}$)	蛋白质 Protein/ ($mg \cdot g^{-1}$)	维生素 C Vitamin C/ ($mg \cdot (100 g)^{-1}$)	可溶性糖 Soluble sugar/ ($g \cdot (100 g)^{-1}$)	脂肪 Fat/ ($g \cdot (100 g)^{-1}$)
CK	尖部 Tip	10.31±1.99 bc	227.77±7.02 ab	9.60±0.55 a	3.33±0.21 b	9.14±0.83 bc
	中部 Middle	10.33±1.53 bc	210.56±16.29 bc	8.37±0.25 ab	3.32±0.63 b	12.42±2.10 ab
	基部 Base	10.67±2.31 b	156.63±28.98 d	6.43±1.02 b	4.19±0.35 a	12.12±2.62 ab
L1	尖部 Tip	13.81±1.63 a	247.42±4.52 a	7.95±1.11 ab	1.95±0.55 d	15.33±0.58 a
	中部 Middle	14.64±2.34 a	208.46±17.29 bc	7.19±2.85 b	2.54±0.52 cd	10.91±1.57 bc
	基部 Base	15.56±1.39 a	154.85±24.36 d	6.59±0.43 b	2.83±0.12 bc	8.33±2.89 c
L2	尖部 Tip	10.07±1.43 bc	249.65±14.99 a	4.47±0.23 c	2.63±0.24 bcd	11.74±2.37 bc
	中部 Middle	8.49±1.44 bc	189.06±8.93 c	3.85±0.69 c	2.64±0.27 bcd	9.14±0.83 bc
	基部 Base	7.33±1.15 c	140.00±17.47 d	3.35±0.18 c	3.08±0.10 bc	9.44±0.96 bc

在茶秆竹笋各部位中均检测出 16 种氨基酸 (表 6), 其中, 包括 7 种人体所必需的氨基酸 (苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸)。自然光照下, 竹笋中丝氨

酸、丙氨酸、亮氨酸、赖氨酸和精氨酸的含量相对较多, 除丝氨酸外, 其余 4 种氨基酸在笋尖部和中部的含量均显著高于基部; 胱氨酸含量最少, 各部位间差异不显著。与 CK 相比, L1 处理提高了竹

笋各部位的天冬氨酸和组氨酸含量,降低了各部位的酪氨酸和精氨酸含量,其余氨基酸在笋中部的含量增加,笋基部的含量减少;L2处理下只有竹笋尖部的胱氨酸含量有所提高,其余各部位的氨基酸含量均呈下降趋势,笋尖部的氨基酸含量显著高于

中部和基部。L1处理下笋中部的氨基酸总量和必需氨基酸含量显著高于尖部与基部,L2处理后竹笋各部位的氨基酸总量相比CK均显著降低,但笋尖部必需氨基酸的占比最高。

表6 不同光照强度下茶秆竹笋各部位氨基酸含量的变化

Table 6 Changes of amino acid content in different parts of *Ps.amabilis* shoots under different light intensities

氨基酸种类 Amino acids	CK			L1			L2		
	尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base	尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base	尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base
天冬氨酸 Asp/ (mg·kg ⁻¹)	265.49± 20.17 bc	275.57± 21.56 bc	285.87± 27.54 bc	353.63± 14.58 a	338.15± 11.85 a	300.53± 35.27 b	249.82± 9.58 c	182.80± 10.74 d	207.23± 9.01 d
苏氨酸 Thr/ (mg·kg ⁻¹)	163.76± 26.00 abc	180.16± 34.15 abc	159.59± 11.05 bc	192.50± 26.73 ab	201.63± 29.58 a	139.44± 13.02 cd	138.92± 11.82 cd	91.95± 13.52 e	104.79± 16.14 de
丝氨酸 Ser/ (mg·kg ⁻¹)	335.79± 18.73 bc	328.33± 18.77 bc	299.37± 20.56 cd	355.93± 27.24 ab	375.99± 29.61 a	259.03± 28.51 e	263.44± 16.03 de	183.64± 14.63 f	193.58± 18.03 f
谷氨酸 Glu/ (mg·kg ⁻¹)	100.20± 13.12 ab	96.14± 10.00 ab	83.22± 19.25 bc	108.14± 17.70 a	103.50± 6.73 ab	59.35± 15.68 de	68.82± 8.52 cd	42.69± 11.59 e	46.69± 4.71 de
丙氨酸 Ala/ (mg·kg ⁻¹)	382.83± 14.68 c	418.52± 12.27 b	274.35± 17.38 e	340.51± 24.14 d	452.93± 11.50 a	200.78± 24.09 f	269.91± 16.73 e	163.26± 6.14 g	165.55± 10.86 g
缬氨酸 Val/ (mg·kg ⁻¹)	218.87± 27.54 a	215.17± 31.58 a	163.52± 26.72 b	218.99± 16.83 a	249.82± 24.51 a	145.71± 10.95 b	152.96± 5.00 b	92.64± 13.04 c	104.38± 20.42 c
胱氨酸 Cys/ (mg·kg ⁻¹)	5.67± 0.58 cd	8.07± 1.67 bc	6.74± 0.26 bcd	15.12± 2.79 a	8.43± 1.50 b	4.22± 0.70 d	7.58± 1.51 bc	4.53± 0.50 d	5.66± 0.57 cd
蛋氨酸 Met/ (mg·kg ⁻¹)	107.09± 16.73 abc	114.63± 16.01 ab	87.10± 9.03 c	103.74± 15.10 abc	121.84± 14.14 a	58.59± 3.08 d	93.87± 11.84 bc	50.44± 6.50 d	42.34± 3.23 d
异亮氨酸 Ile/ (mg·kg ⁻¹)	148.65± 25.11 ab	143.31± 14.57 b	103.22± 17.94 c	139.33± 7.02 b	171.27± 5.51 a	89.54± 8.66 c	107.66± 19.86 c	57.04± 10.53 d	55.04± 12.78 d
亮氨酸 Leu/ (mg·kg ⁻¹)	363.04± 15.90 ab	369.68± 32.50 ab	267.84± 10.51 c	338.68± 26.54 b	396.86± 17.51 a	211.80± 22.53 d	286.17± 8.52 c	171.40± 13.04 e	164.93± 6.54 e
酪氨酸 Tyr/ (mg·kg ⁻¹)	214.24± 14.33 a	209.29± 23.01 a	151.84± 7.84 bc	171.28± 24.59 b	203.77± 23.20 a	91.31± 11.68 d	133.31± 18.01 c	83.66± 15.57 d	76.05± 8.17 d
苯丙氨酸 Phe/ (mg·kg ⁻¹)	246.79± 28.53 a	258.98± 16.10 a	203.23± 32.36 b	208.01± 34.05 b	268.97± 12.53 a	139.17± 8.01 c	201.64± 13.05 b	124.68± 15.63 c	115.79± 5.52 c
赖氨酸 Lys/ (mg·kg ⁻¹)	406.76± 30.65 a	367.43± 32.10 ab	257.49± 19.02 d	332.69± 22.01 bc	408.89± 29.60 a	203.01± 15.52 e	304.44± 28.13 c	172.67± 16.04 ef	147.94± 9.61 f
组氨酸 His/ (mg·kg ⁻¹)	83.27± 15.30 ab	74.83± 12.17 b	40.33± 5.69 c	97.10± 14.13 a	86.75± 8.51 ab	73.35± 16.64 b	46.49± 9.36 c	15.67± 6.03 d	11.33± 4.04 d
精氨酸 Arg/ (mg·kg ⁻¹)	315.99± 21.52 a	319.70± 25.10 a	219.60± 18.50 c	261.24± 11.71 b	268.31± 15.64 b	161.68± 12.22 d	245.97± 18.08 bc	130.85± 17.00 e	70.68± 7.02 f
脯氨酸 Pro/ (mg·kg ⁻¹)	241.56± 16.60 a	268.70± 19.50 a	197.41± 25.76 b	201.26± 22.20 b	270.51± 24.74 a	126.84± 11.10 c	172.36± 24.01 b	101.90± 18.71 cd	86.46± 9.05 d
氨基酸总量 Total amino acid/ (mg·kg ⁻¹)	3 600.01± 300.78 ab	3 648.52± 319.20 ab	2 800.71± 264.22 c	3 438.15± 299.39 b	3 927.61± 263.51 a	2 264.37± 227.94 d	2 743.35± 207.87 c	1 669.81± 177.81 e	1 598.45± 136.51 e
必需氨基酸总量 Essential amino acid/ (mg·kg ⁻¹)	1 654.96± 168.56 ab	1 649.37± 176.11 ab	1 241.98± 123.49 c	1 533.94± 146.17 b	1 819.27± 132.62 a	987.26± 75.15 d	1 285.65± 87.56 c	760.82± 87.69 e	735.23± 71.11 e
必需氨基酸比例 Proportion of essential amino acid/%	45.92± 0.85 ab	45.16± 0.87 bc	44.33± 0.24 cd	44.59± 0.40 cd	46.31± 0.30 ab	43.67± 1.07 d	46.88± 0.51 a	45.53± 0.59 bc	45.97± 0.90 ab

注:同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same line indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

2.3 遮光后茶秆竹笋呈味物质和粗糙度物质的变化

由表7可知:遮光处理后茶秆竹笋的纤维素、

总酚、黄酮和单宁含量呈下降趋势,木质素含量无明显变化。L1处理下竹笋尖部的纤维素含量最低,比CK显著减少39.70%,竹笋中部和基部的

纤维素含量随光照强度的降低而减少; L2 处理下竹笋中部和基部的纤维素含量分别比 CK 显著减少 31.08% 和 36.82%。3 种处理下, 均为笋尖部的木质素含量最低, 且各部位间差异不显著。随着光照强度降低, 竹笋尖部和基部的木质素含量减少, 中部的木质素含量增加。与 CK 相比, L1 处理后竹笋各部位总酚与单宁含量有所减少, 但差异

并不显著; L2 处理后各部位总酚含量显著降低 23.75%、24.53% 和 22.19%, 单宁含量显著减少 22.57%、23.61% 和 25.94%。各部位黄酮含量随光照强度降低而减少, L1 处理下竹笋尖部黄酮含量比 CK 显著减少 18.27%, L2 处理下笋中部和基部黄酮含量分别比 CK 显著减少 33.87% 和 38.37%。

表 7 不同光照强度下茶秆竹笋各部位粗糙度物质和酚类物质含量的变化

Table 7 Changes of roughness and phenolic contents in different parts of *Ps.amabilis* shoots under different light intensities

处理 Treatment	部位 Part	纤维素 Cellulose/(g·(100g) ⁻¹)	木质素 Lignose/(g·(100g) ⁻¹)	总酚 Total phenolics/(mg·g ⁻¹)	黄酮 Flavonoids/(mg·g ⁻¹)	单宁 Tannin/(mg·kg ⁻¹)
CK	尖部 Tip	14.13±0.62 cd	6.86±1.58 ab	7.58±1.07 a	3.94±0.41 a	634.59±36.47 a
	中部 Middle	17.57±0.12 ab	7.84±1.38 ab	6.97±0.82 ab	3.75±0.34 ab	611.26±22.58 a
	基部 Base	19.88±1.77 a	9.91±2.29 a	6.31±0.45 abc	3.31±0.17 bcd	554.77±25.65 bc
L1	尖部 Tip	8.52±1.12 f	6.46±1.57 b	6.95±0.67 ab	3.22±0.31 cd	602.65±32.74 ab
	中部 Middle	15.40±1.58 bc	8.03±1.76 ab	6.72±0.75 ab	3.55±0.18 abc	586.04±18.60 ab
	基部 Base	14.68±1.95 cd	8.80±0.72 ab	6.26±0.91 abc	3.03±0.20 d	513.66±31.03 cd
L2	尖部 Tip	9.71±1.45 ef	5.83±1.78 b	5.78±0.48 bcd	3.04±0.22 d	491.38±22.75 d
	中部 Middle	12.11±1.43 de	8.23±1.60 ab	5.26±0.41 cd	2.48±0.15 e	466.95±25.12 d
	基部 Base	12.56±2.18 d	8.54±1.30 ab	4.91±0.70 d	2.04±0.24 e	410.87±28.85 e

由表 8 可知: L1 处理下, 茶秆竹笋尖部的鲜味氨基酸含量比 CK 显著增加 26.28%, 芳香类氨基酸含量比 CK 显著降低 17.73%; 笋中部的呈味氨基酸含量相比 CK 均有所上升, 鲜味氨基酸含量显著提高 18.82%; 笋基部的呈味氨基酸含量相较 CK 均有所下降, 芳香类氨基酸含量显著降低 35.09%。L2 处理下, 笋尖部的鲜味氨基酸含量与 CK 差异不显著, 其余各部位的呈味氨基酸含量均显著低于 CK, 笋尖部的呈味氨基酸含量显著高于中部和基部, 笋基部的甜味和鲜味氨基酸比例最高。2 种遮光处理均显著降低笋尖部的苦味氨基酸比例。

3 讨论

3.1 遮光对茶秆竹笋外观形态的影响

遮光后茶秆竹笋的基径、长度和笋个体质量均出现一定程度的下降, 但在完全遮光的条件下, 竹笋的可食率上升。Chang 等^[22]研究发现, 遮光处理后火龙果 (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britt. & Rose) 的果皮变薄, 植物能够根据光照强

度调节自身结构。竹笋对光照的变化非常敏感, 不同光照强度下, 笋箨和笋肉的生长发育可能存在差异, 二者间具体的生长机制还需更深入的研究。遮光后竹笋的色素含量和色泽发生了显著变化, 叶绿素的合成受到光照的直接影响, 遮光条件下叶绿素的含量减少, 一定程度上促进了花青素的合成^[23]。笋箨与笋肉的色泽存在一致性, 竹笋颜色越浅, 外观品质越高^[24]。遮光后茶秆竹笋的 L^* 值和 a^* 值和 b^* 值均有不同程度的提高, 叶绿素 a 和总叶绿素含量与 L^* 值和 b^* 值呈显著负相关, 花青素含量和 a^* 值呈极显著正相关。

3.2 遮光对茶秆竹笋营养物质的影响

竹笋作为一种天然的保健食品, 富含营养物质和生物活性成分。矿物质能够维持机体功能和骨骼正常发育, 是人体所必需的营养素^[25], 通常用灰分来表示食品中矿物质的含量。竹笋中脂肪含量较低, 是肥胖人群和脂肪肝患者的理想食品^[26]。维生素 C 可以预防坏血病, 促进胶原蛋白合成, 增强人体免疫功能^[27]。植物光合作用的产物以可溶性糖的形式被运输到各个器官, 参与各种不同的代谢反

表 8 不同光照强度下茶秆竹笋各部位呈味氨基酸含量的变化

Table 8 Changes of flavor amino acid content in different parts of *Ps.amabilis* shoots under different light intensities

氨基酸种类 Amino acids	CK			L1			L2		
	尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base	尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base	尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base
甜味氨基酸 Sweet amino acid/ (mg·kg ⁻¹)	1 123.95± 74.62 b	1 195.71± 84.03 ab	930.72± 73.79 c	1 090.20± 99.66 b	1 301.06± 94.06 a	726.10± 76.51 d	844.62± 68.25 cd	540.75± 52.52 e	550.38± 53.37 e
苦味氨基酸 Bitter amino acid/ (mg·kg ⁻¹)	1 191.58± 109.71 ab	1 196.44± 117.08 ab	889.64± 94.91 c	1 076.29± 108.19 b	1 290.68± 82.68 a	677.53± 61.49 d	881.74± 53.71 c	529.42± 67.05 de	516.20± 52.89 e
鲜味氨基酸 Delicious amino acid/ (mg·kg ⁻¹)	365.69± 33.16 b	371.71± 31.53 b	369.09± 46.78 b	461.78± 32.15 a	441.65± 18.04 a	359.89± 50.00 b	318.64± 18.01 b	225.49± 22.02 c	253.92± 13.54 c
芳香类氨基酸 Aromatic amino acid/ (mg·kg ⁻¹)	461.03± 42.72a	468.27± 38.69a	355.07± 40.03b	379.29± 58.50b	472.73± 35.32a	230.48± 19.58c	334.95± 31.04b	208.34± 31.01c	191.84± 13.55c
甜味氨基酸比例 Proportion of Sweet amino acid/%	31.25± 0.57 ef	32.81± 0.56 bc	33.26± 0.50 b	31.70± 0.15 de	33.12± 0.19 bc	32.06± 0.31 d	30.78± 0.16 f	32.41± 0.32 cd	34.41± 0.54 a
苦味氨基酸比例 Proportion of bitter amino acid/%	33.08± 0.28 a	32.77± 0.34 ab	31.74± 0.39 cd	31.28± 0.43 d	32.87± 0.16 ab	29.94± 0.37 e	32.17± 0.49 bc	31.66± 0.69 cd	32.26± 0.68 abc
鲜味氨基酸比例 Proportion of delicious amino acid/%	10.16± 0.15 d	10.19± 0.03 d	13.15± 0.42 b	13.45± 0.28 b	11.26± 0.30 c	15.85± 0.63 a	11.63± 0.22 c	13.51± 0.13 b	15.91± 0.53 a
芳香类氨基酸比例 Proportion of aromatic amino acid/%	12.80± 0.13 a	12.84± 0.10 a	12.66± 0.24 ab	10.99± 0.76 c	12.03± 0.15 b	10.19± 0.17 d	12.20± 0.25 ab	12.44± 0.54 ab	12.01± 0.21 b

应^[28]。竹笋含有丰富的蛋白质和人体所必需的氨基酸，精氨酸在糖蛋白的合成中发挥着关键作用，缬氨酸可以保持肌肉活力^[29]。除了有益于身体健康，氨基酸还决定了竹笋的食味品质，根据不同的风味，可以分成甜味、苦味、鲜味和芳香类氨基酸。本研究发现，遮光降低了茶秆竹笋各部位的可溶性糖与维生素 C 含量，提高了竹笋尖部的蛋白质与脂肪含量，中度遮光使竹笋各部位灰分含量上升，而完全遮光使竹笋各部位灰分含量下降。光照不仅影响光合产物的合成，还决定物质的运输与分配^[30]。光照强度降低导致竹笋生长放缓，光合产物向竹笋的运输减少，完全遮光下笋内光合产物的消耗比中度遮光要少，更有利于光合产物的积累，因此，L2 处理下可溶性糖含量高于 L1 处理。相比于基部，笋尖部与中部的生长显然更加活跃，需要消耗更多能量，所以可溶性糖含量更低。竹笋出土生长后，开始消耗地下阶段积累的蛋白质^[4]。遮光后茶秆竹笋各部位的蛋白质含量与 CK 相比变化并不显著，但笋尖部含量呈上升趋势，中下部含量减少，说明降低光照强度促进了笋尖部蛋白质的积累，消耗主要来源于中部和基部。笋内自下而上蛋白质含量越来越高，这与袁金玲等^[31]的研究结果

一致。自然光照下，笋尖部脂肪含量最低，光照强度减弱后，脂肪在笋尖部的积累增加，超过中部和基部，中度遮光对笋尖部脂肪的积累影响最大。何春雨等^[32]研究发现，随着光照强度降低，刺梨（*Rosa roxburghii* Tratt.）果实中维生素 C 含量明显减少，原因是遮光后维生素 C 合成所需的光合产物减少，积累过程中关键酶活性降低，可见弱光条件下不利于维生素 C 的积累。本研究中，完全遮光导致茶秆竹笋各部位的维生素 C 含量显著降低。

3.3 遮光对茶秆竹笋呈味物质和粗糙度物质的影响

纤维素和木质素是竹子细胞壁的主要成分，可以增强植株的机械强度^[33]，其含量随着竹笋生长不断增多，严重影响竹笋口感。酚类化合物具有很强的抗氧化性，能够抗炎杀菌，有效抑制癌细胞增长^[34]。竹笋中的酚类化合物包括酚酸、黄酮和单宁，这些物质被认为是竹笋苦涩味的主要来源，其中，单宁在人体内会形成大型复合物，从而影响蛋白质的代谢，因此，在食品中含量不宜过多^[35]。试验结果表明，遮光可以减少茶秆竹笋各部位的纤维素含量，笋尖部和基部的纤维素含量显著降低。遮光后竹笋各部位的木质素含量无显著变化，可能是

因为竹笋处于发育早期,笋内木质素含量较低的缘故^[33]。光照可以调控酚类物质的合成与积累^[36],遮光会降低酚类物质合成途径中相关基因表达和酶活性^[37],抑制酚类物质积累。茶秆竹笋自下而上酚类物质逐渐增加,遮光后黄酮、单宁含量明显减少。遮光显著降低茶秆竹笋尖部苦味氨基酸比例,中度遮光下笋中部氨基酸总量与呈味氨基酸含量最高,完全遮光后竹笋各部位必需氨基酸比例上升,鲜味氨基酸比例显著提高,可见,光照强度明显影响笋内氨基酸的合成与分布^[38]。

4 结论

本研究发现,遮光后茶秆竹笋的生长变慢,但外观品质明显提升,叶绿素、花青素的含量与竹笋色泽存在显著的相关性。随着光照强度减弱,笋尖部的蛋白质和脂肪含量增加,笋中部的氨基酸总量与必需氨基酸比例先升高后降低,笋基部的甜味、苦味和芳香类氨基酸比例先下降后上升,各部位的灰分含量先增多后减少,可溶性糖含量先降低后升高,维生素C、纤维素和酚类物质的含量减少,不同光照强度下各部位物质含量的变化趋势存在差异。

参考文献:

[1] 潘雁红,吴良如,高贵宾,等.茶秆竹研究与利用[J].竹子研究汇刊,2012,31(4):46-51.

[2] 代全林.茶秆竹生物学特性与丰产技术研究[D].福州:福建农林大学,2002.

[3] 徐森,杨丽婷,陈双林,等.竹笋适口性形成及其主要影响因素研究综述[J].浙江农林大学学报,2021,38(2):403-411.

[4] 陶贵耘,傅鹰,周明兵.竹类植物快速生长的机理研究进展[J].农业生物技术学报,2018,26(5):871-887.

[5] 方飞燕,白尚斌,周国模,等.光照强度对毛竹竹笋到幼竹生长过程的影响[J].东北林业大学学报,2012,40(3):11-13.

[6] 王晓娟,马光良,陈洪,等.不同覆盖措施对梁山慈竹出笋和竹笋适口性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(2):143-149.

[7] 章志远,丁兴萃,崔逢欣,等.遮光对麻竹笋苦涩味及单宁含量、形态与分布的影响[J].林业科学研究,2016,29(5):770-777.

[8] 郭子武,江志标,陈双林,等.覆土栽培对高节竹笋品质的影响[J].广西植物,2015,35(4):515-519.

[9] 杨金来,高贵宾,张甫生,等.5种彩色笋壳的金佛山方竹笋品质分析与评价[J].食品科学,2022,43(6):303-308.

[10] 代昌雨,吕朝燕,马秀倩,等.不同干燥方式对方竹笋品质的影响[J].江苏农业科学,2021,49(22):175-179.

[11] 韩培培.3种杉科植物秋季叶色变化的生理生化研究[D].杭州:浙

江农林大学,2014.

[12] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.

[13] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.5-2016 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.

[14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.86-2016 食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.

[15] 中华人民共和国农业部.NY/T 1278-2007 蔬菜及其制品中可溶性糖的测定[S].北京:中国标准出版社,2007.

[16] 嵯林娜,刘石雪,汪凤玲,等.酸水解法测定脂肪的研究及方法优化[J].现代食品,2020(21):180-183.

[17] 贾玲.玉米芯木质纤维素组分分离研究[D].天津:天津大学,2013.

[18] 任旺,叶秀娟,李婷婷,等.麻竹笋中多酚类化合物的提取及挥发性成分分析[J].食品科学,2014,35(16):120-123.

[19] 孙小青.雷竹笋主要有效成分分析及其活性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2014.

[20] 中华人民共和国卫生部.NY/T 1600-2008 水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定[S].北京:中国标准出版社,2008.

[21] 莫润宏,汤富彬,丁明,等.氨基酸分析法测定竹笋中游离氨基酸[J].化学通报,2012,75(12):1126-1131.

[22] CHANG P, HSIEH C, JIANG Y. Responses of 'Shih Huo Chuan' pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britt. & Rose) to different degrees of shading nets[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 198: 154-162.

[23] 徐森,谷瑞,陈双林,等.覆盖下雷竹笋笋叶性状和食味品质的变化及其相关性[J].林业科学,2021,57(9):34-41.

[24] 何玉友,陈双林,郭子武,等.覆盖雷竹笋色泽与品质相关性分析[J].林业科学研究,2021,34(6):157-167.

[25] CHONGTHAM N, BISHT M S, SANTOSH O, et al. Mineral elements in bamboo shoots and potential role in food fortification[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 95: 103662.

[26] WANG Y, CHEN J, WANG D, et al. A systematic review on the composition, storage, processing of bamboo shoots: Focusing the nutritional and functional benefits[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 71: 104015.

[27] 曾翔云.维生素C的生理功能与膳食保障[J].中国食物与营养,2005(4):52-54.

[28] SLEWINSKI T L, BRAUN D M. Current perspectives on the regulation of whole-plant carbohydrate partitioning[J]. Plant Science, 2010, 178(4): 341-349.

[29] NIRMALA C, BISHT M S, BAJWA H K, et al. Bamboo: A rich source of natural antioxidants and its applications in the food and pharmaceutical industry[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 77: 91-99.

[30] 倪志婧,马文平,宋长冰,等.光照强度对“梅鹿辄”葡萄品质的影响[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2020,43(10):1422-

- 1425.
- [31] 袁金玲, 熊登高, 胡炳堂, 等. 珍稀保护竹种箨竹笋营养成分的研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21 (6): 773-777.
- [32] 何春丽, 樊卫国. 遮光对刺梨果实和叶片中维生素C与糖含量以及相关酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40 (12): 2081-2092.
- [33] 徐有明, 郝培应, 费本华. 竹笋形态发育构建过程中解剖结构及化学成分的动态变化[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36 (4): 8-11.
- [34] WU Y, YANG H, YANG H, *et al.* A physiological and metabolomic analysis reveals the effect of shading intensity on blueberry fruit quality[J]. Food Chemistry:X, 2022, 15: 100367.
- [35] CHONGTHAM N, BISHT M S, PREMLATA T, *et al.* Quality improvement of bamboo shoots by removal of antinutrients using different processing techniques: A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 59(1): 1-11.
- [36] 付 博, 梁俊阳, 韩龙洋, 等. 光照对植物多酚类物质代谢调控的研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56 (3): 355-363.
- [37] 陆胜波, 陈 静, 张文娥, 等. 遮光对铁核桃青皮多酚物质及相关酶活性和基因表达的影响[J]. 植物生理学报, 2020, 56 (6): 1231-1242.
- [38] 李雪蕾, 丁兴萃, 张闪闪, 等. 不同光强下麻竹笋不同部位苦涩味物质含量的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39 (3): 161-166.

Effect of Shading on Appearance and Nutrient Content in Different Parts of *Pseudosasa amabilis* Shoots

GUO Yang, YU Xue-jun

(Bamboo Industry Institute, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] The effects of different light intensities on appearance and nutritional components in different parts of *Pseudosasa amabilis* shoots were studied to provide guidance for the quality control and scientific cultivation of bamboo shoots. [Method] Bamboo shoots were shaded by bagging. After harvesting, the changes of appearance indexes and nutrient contents in different parts of bamboo shoots were measured and analyzed. [Result] After shading, the base diameter, length, individual weight of *Pseudosasa amabilis* shoots, and chlorophyll content decreased, by contrast, L^* value, a^* value, b^* value, and anthocyanin content increased. There was a significant correlation between pigment content and color index. With the decrease of light intensity, the content of protein and fat in the tip of bamboo shoots increased, and total amino acids and the proportion of essential amino acids in the middle of bamboo shoots increased first and then decreased. The proportion of sweet, bitter and aromatic amino acids in the base of bamboo shoots decreased first and then increased. The ash content of each part increased first and then decreased, the content of soluble sugar decreased first and then increased, and the content of vitamin C, cellulose and phenols decreased. [Conclusion] After shading, the appearance quality of *Pseudosasa amabilis* shoots is better than that of no-shading, the content of bitter compounds reduce, and the taste is significantly improved. There are differences in the nutritional components of each part under different light intensities.

Keywords: shading; *Pseudosasa amabilis* shoots; appearance; nutrient contents

(责任编辑: 徐玉秀)