

引用格式: 杨力帆, 袁金玲, 赵丹丹, 等. 合江方竹 3 个栽培品种笋品质与口味评价[J]. 浙江农林大学学报, 2026, 43(1): 116–124. YANG Lifan, YUAN Jinling, ZHAO Dandan, *et al.* Quality and flavor evaluation of bamboo shoots of 3 *Chimonobambusa hejiangensis* cultivars[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2026, 43(1): 116–124.

合江方竹 3 个栽培品种笋品质与口味评价

杨力帆^{1,2}, 袁金玲^{1,2}, 赵丹丹³, 王继业^{1,2}, 薛兴富⁴, 周 祥⁴, 于 磊^{1,2}, 岳晋军^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所 全省林木育种重点实验室, 浙江 杭州 311400; 3. 安吉竹子博览园有限责任公司, 浙江 安吉 313300; 4. 四川省叙永县林业和竹业局, 四川 叙永 646499)

摘要: 【目的】合江方竹 *Chimonobambusa hejiangensis* 是一种优良的笋用竹种。研究合江方竹不同栽培品种的笋品质与口味差异, 能为优良品种定向培育提供重要参考。【方法】以合江方竹 3 个栽培品种‘俏白雪’ *Ch. hejiangensis* ‘Qiaobaixue’、‘满天星’ *Ch. hejiangensis* ‘Mantianxing’、‘大乌金’ *Ch. hejiangensis* ‘Dawujin’ 竹笋为研究对象, 以毛竹 *Phyllostachys edulis*、雷竹 *Ph. violascens* 和摆竹 *Indosasa shibataeoides* 竹笋为对照, 依据国标测定营养成分、氨基酸和口味指标, 通过差异性分析、相关性分析来进行品质与口味评价。【结果】合江方竹笋的可溶性蛋白质量分数、必需氨基酸与总氨基酸比值(EAA/TAA)高于对照, 总酸、单宁、总氨基酸和苦味氨基酸质量分数低于对照竹笋, 3 个栽培品种的笋品质存在较大差异, ‘满天星’的总酸与单宁质量分数分别为 0.85 g·kg⁻¹ 和 364.67 mg·kg⁻¹, 低于‘俏白雪’和‘大乌金’; ‘俏白雪’的总氨基酸质量分数和必需氨基酸质量分数最高, 分别为 2 288.4 和 785.8 mg·kg⁻¹, ‘满天星’EAA/TAA 值最高(0.36); ‘俏白雪’苦味氨基酸比例最高(26.67%), ‘满天星’的鲜味氨基酸(14.25%)、甜味氨基酸(25.66%)和芳香氨基酸(11.08%)比例最高; 在口味上, ‘俏白雪’的苦味和涩味最大, 鲜味最小, ‘满天星’涩味最小, 鲜味和鲜味回味最大; 相关性分析发现: 涩味、苦味与酪氨酸正相关性最显著(相关系数分别为 0.964 和 0.955), 并与单宁具有较高正相关性。【结论】合江方竹竹笋营养品质优异, 3 个品种中, ‘满天星’的 EAA/TAA 最符合人体对氨基酸的需求模式, 与合江方竹整体涩味较重的特点不同, 涩味很轻, 同时鲜味更为浓郁, 营养价值和口味优于其余 2 个品种竹笋, 更适合作为笋用品种选育。图 1 表 4 参 25

关键词: 合江方竹; 竹笋; 营养成分; 氨基酸组成; 电子舌

中图分类号: S795 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2026)01-0116-09

Quality and flavor evaluation of bamboo shoots of 3 *Chimonobambusa hejiangensis* cultivars

YANG Lifan^{1,2}, YUAN Jinling^{1,2}, ZHAO Dandan³, WANG Jiye^{1,2}, XUE Xingfu⁴,
ZHOU Xiang⁴, YU Lei^{1,2}, YUE Jinjun^{1,2}

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Forest Genetics and Breeding, Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 3. Anji Bamboo Exposition Garden Co., Ltd., Anji 313300, Zhejiang, China; 4. Forestry and Bamboo Bureau of Xuyong County, Xuyong 646499, Sichuan, China)

Abstract: [Objective] *Chimonobambusa hejiangensis* is an excellent bamboo species for bamboo shoots. Studying the differences in quality and flavor of bamboo shoots among different cultivars can provide significant references for targeted breeding of superior cultivars. [Method] The 3 *Ch. hejiangensis* cultivars

收稿日期: 2025-03-24; 修回日期: 2025-09-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD2200505)

作者简介: 杨力帆(ORCID: 0009-0007-9840-7587), 从事竹种质资源及其培育研究。E-mail: 1324264340@qq.com。

通信作者: 岳晋军(ORCID: 0000-0001-9606-6394), 从事竹种质资源及其培育研究。E-mail: yuejinjun@163.com

were selected as research objects, with *Phyllostachys edulis*, *Ph. violascens*, and *Bambusa multiplex* as controls. Nutritional components, amino acids, and taste indicators were measured according to national standards. Quality and taste evaluations were conducted through difference analysis and correlation analysis. [Result] *Ch. hejiangensis* shoots exhibited higher soluble protein content and EAA/TAA ratio compared to control bamboo shoots, while total acid, tannin, total amino acids, and bitter amino acid contents were lower. Significant differences existed among the 3 cultivars: *Ch. hejiangensis* ‘Mantianxing’ showed the lowest total acid ($0.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and tannin ($364.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), lower than *Ch. hejiangensis* ‘Qiaobaixue’ and *Ch. hejiangensis* ‘Dawujin’. *Ch. hejiangensis* ‘Qiaobaixue’ had the highest total amino acids ($2\,288.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) and essential amino acids ($785.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), while *Ch. hejiangensis* ‘Mantianxing’ achieved the highest EAA/TAA ratio (0.36). *Ch. hejiangensis* ‘Qiaobaixue’ had the highest proportion of bitter amino acids (26.67%), whereas *Ch. hejiangensis* ‘Mantianxing’ showed the highest proportions of umami (14.25%), sweet (25.66%), and aromatic amino acids (11.08%). In taste evaluation, *Ch. hejiangensis* ‘Qiaobaixue’ exhibited the strongest bitterness and astringency with the weakest umami, while *Ch. hejiangensis* ‘Mantianxing’ had minimal astringency and the strongest umami with umami aftertaste. Correlation analysis revealed that tyrosine were most positively correlated with astringency ($r=0.964$) and bitterness ($r=0.955$) and moderately correlated with tannin. [Conclusion] *Ch. hejiangensis* shoots possess superior nutritional quality. *Ch. hejiangensis* ‘Qiaobaixue’ excels in nutrient and amino acid content, its strong bitterness limits palatability. *Ch. hejiangensis* ‘Mantianxing’, with enhanced umami, reduced bitterness, minimal astringency, and optimal amino acid composition, demonstrates superior taste and nutritional value, making it the most suitable cultivar for shoot-oriented breeding. [Ch, 1 fig. 4 tab. 25 ref.]

Key words: *Chimonobambusa hejiangensis*; shoots; nutritional compositions; amino acid composition; electronic tongue

合江方竹 *Chimonobambusa hejiangensis* 是禾本科 Gramineae 寒竹属 *Chimonobambusa* 的优良笋用竹种，为四川与贵州交界处山地独有竹种，自然生长范围狭小，主要分布于四川叙永县、合江县与贵州赤水市、习水县^[1]。合江方竹笋营养成分全面、口感清新、质地脆嫩，适合多种烹饪方法，口味出众，在市场上有广泛的销路^[2]。本研究在调查中发现，合江方竹适应性强，在海拔 600 m 的山地依然可以获得较好的产量。对合江方竹与不同竹种笋的品质比较已有较多研究。刘跃钧等^[3]成功将合江方竹引种至浙江丽水，并对竹笋氨基酸组成进行了检测，发现合江方竹笋的鲜味氨基酸含量远高于常见食用笋。朱潇等^[4]对合江方竹与雷山方竹 *Ch. leishanensis* 和金佛山方竹 *Ch. utilis* 的营养成分进行了比较，发现合江方竹笋必需氨基酸含量及占比远高于其他方竹笋，但膳食纤维含量相对较低。目前关于合江方竹种内的品质差异，尚未见研究报道。

作为一种优良的笋用品种，起初合江方竹产区的竹笋开发利用主要依赖野生资源，随着竹笋价格上升，野生资源远远不能满足市场需要，近些年该竹种的产业发展由野生资源采集阶段进入人工栽培阶段。2007—2009 年，在丽水引种合江方竹进行人工栽培，并掌握其发笋规律后，第 3 年产量可达 $3\,750 \sim 7\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。产量得到保障后，要提升人工栽培植株品质，需优良品种资源支撑^[3]。在调查野生资源过程中，发现合江方竹存在不同变异类型，仅笋箨颜色就可以分为黄色笋箨、花斑笋箨和黑色笋箨等 3 种。笋箨颜色的差异可能与竹笋品质相关^[5]，有研究发现不同笋壳颜色品种的金佛山方竹营养成分含量与比例存在较大差异^[6]，研究笋箨颜色与竹笋品质关系对于选育优良品种具有重要意义^[7]。

为了实现合江方竹笋资源的优化开发与高效利用，本研究将 3 种笋箨颜色的合江方竹笋，与毛竹 *Phyllostachys edulis*、雷竹 *Ph. violascens* 和摆竹 *Indosasa shibataeoides* 的竹笋进行了营养成分、氨基酸构成与口味的比较研究。对不同类型的合江方竹进行竹笋品质评价，有助于选育优良笋用品种，促进合江方竹人工栽培产业的健康发展，助力竹区农民巩固脱贫攻坚成果，为市场提供优质竹笋产品。

1 材料与方法

1.1 样地概况

样地1位于四川省叙永县水尾镇飞龙村(28°16'19"N, 105°32'28"E)。地形以丘陵地带为主, 南部地势显著高于北部, 土壤多为疏松黄壤。该区属亚热带湿润季风气候, 海拔为1 300 m, 年平均气温约为12.2℃, 7月平均气温为22.0℃, 1月平均气温为0.9℃, 年平均日照时长为1 239.4 h, 年降水量为1 385.0 mm, 年平均相对湿度为90%, 无霜期为296 d。全年气温适中, 受于季风的作用, 雨热同季, 降水充沛, 昼夜温差大, 属于暖湿低山类型气候。

样地2位于广西桂林市龙胜县龙脊镇(25°35'~26°17'N, 109°32'~110°14'E), 属于亚热带季风气候区, 海拔为726 m, 年平均气温为15.4℃, 5—9月平均气温为18.0~26.0℃, 7—8月平均气温为25.0~26.0℃, ≥ 10.0 ℃天数为239 d, 极端低温为-7.4℃, 无霜期为302 d, 年均积温为4 749.5℃, 年均降水量为1 675.0 mm, 平均相对湿度为81%, 降水量较为充沛, 主要集中在夏季和秋季, 夏季高温多雨, 冬季温和少雨, 四季分明, 雨热同期, 这种气候对竹笋生产有利。

1.2 材料

测定所用3个栽培品种的合江方竹笋于2023年10月15日在样地1中采集, 分别为黄色笋箨的‘俏白雪’*Ch. hejiangensis* ‘Qiaobaixue’, 花斑笋箨的‘满天星’*Ch. hejiangensis* ‘Mantianxing’, 黑色笋箨的‘大乌金’*Ch. hejiangensis* ‘Dawujin’。

3种对照竹笋: 雷竹笋和摆竹笋于2023年3月10日在样地2采集。毛竹笋于2023年3月25日在样地2采集。

所采笋皆为刚出土的鲜笋, 生长状况良好, 无病虫害。雷竹、摆竹、合江方竹等3个竹种笋高为20~30 cm, 直径为2~4 cm, 毛竹笋高为30~40 cm, 直径为8~12 cm。各品种竹笋均采集30株, 10株为1次重复, 将采集的竹笋放入清水中, 用软毛刷轻轻刷去表面的泥土和杂质, 然后用清水冲洗干净。用刀具小心剥去竹笋的外壳, 去除木质化高的不可食用部分后将竹笋切成适当大小的小块, 将处理好的竹笋样品放入密封袋, 置于-20℃冷冻室保存备用。

1.3 测定方法

可溶性蛋白采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[8]; 可溶性糖采用铜还原碘量法^[9], 参照NY/T 1278—2007《蔬菜及其制品中可溶性糖的测定》; 总酸参照GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的方法测定^[10]; 草酸采用离子排斥色谱法测定^[11]; 单宁采用分光光度法, 参照NY/T 1600—2008《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定》。竹笋中各游离氨基酸采用全自动氨基酸分析仪法^[12], 参照GB/T 30987—2020《植物中游离氨基酸的测定》。

电子舌是对生物味觉识别机制的模仿, 通过待测液与标准液的对比, 将口味转化为数值形式^[13]。样品解冻后取12 g加120 mL纯净水, 打浆30 s后4 000 r·min⁻¹离心10 min后过滤, 取清液加入电子舌(electronic tongue, TS-5000Z)中, 检测各种口味的物质和人工脂膜之间的静电作用或疏水性相互作用产生的膜电势的变化, 实现对5种基本味(酸、甜、苦、咸、鲜)和涩味的评价^[14]。

1.4 数据处理

所有实验进行3次重复, 使用Excel 2019和进行数据整理分析, 使用SPSS 27.0进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和邓肯(Duncan)多重比较。

2 结果与分析

2.1 竹笋营养成分质量分数

由表1可知: 除毛竹笋外, 其余竹种间可溶性蛋白质量分数差异不显著, 且均显著高于毛竹笋($P<0.05$)。其中, 合江方竹‘大乌金’笋可溶性蛋白质量分数最高, 为1.73 mg·g⁻¹, 毛竹笋最低, 为0.77 mg·g⁻¹。

毛竹笋的可溶性糖质量分数最高, 为21.03 mg·g⁻¹, 摆竹笋的可溶性糖质量分数最低, 为11.77 mg·g⁻¹, 显著低于其他竹种($P<0.05$), 其他竹种间无显著差异。合江方竹笋的可溶性糖质量分数均值

表 1 竹笋营养成分质量分数

Table 1 Nutrient content of bamboo shoots					
竹笋类型	可溶性蛋白/(mg·g ⁻¹)	可溶性糖/(mg·g ⁻¹)	总酸/(g·kg ⁻¹)	草酸/(mg·g ⁻¹)	单宁/(mg·kg ⁻¹)
‘俏白雪’	1.67±0.10 a	19.07±1.07 a	1.13±0.24 c	4.15±0.24 a	482.67±23.03 c
‘满天星’	1.67±0.03 a	18.80±1.00 a	0.85±0.07 d	4.05±0.36 a	364.67±14.01 c
‘大乌金’	1.73±0.04 a	17.70±1.12 a	1.00±0.09 cd	4.13±0.45 a	426.00±55.65 c
毛竹	0.77±0.23 b	21.03±4.49 a	1.46±0.21 ab	2.68±0.71 b	2 884.67±901.89 a
雷竹	1.56±0.03 a	16.43±0.25 a	1.61±0.01 a	0.49±0.08 c	1 353.33±318.90 b
摆竹	1.66±0.10 a	11.77±0.82 b	1.25±0.08 bc	0.24±0.07 c	1 539.33±145.41 b
均值	1.69	18.52	0.99	4.11	424.44
变异系数/ %	3.46	6.59	16.99	7.20	13.27

说明：数据为平均值±标准差；同一性状不同小写字母表示不同竹笋类型间差异显著 ($P<0.05$)；均值指 3 个合江方竹的算术均值；变异系数指合江方竹的变异系数。

为 18.52 mg·g⁻¹，高于雷竹笋和摆竹笋，但低于毛竹笋，其中‘俏白雪’的可溶性糖质量分数最高，为 19.07 mg·g⁻¹，其次是‘满天星’和‘大乌金’。

不同竹种间总酸质量分数差异显著 ($P<0.05$)，雷竹笋总酸质量分数最高，为 1.61 g·kg⁻¹，‘满天星’的总酸质量分数最低，仅有 0.85 g·kg⁻¹。合江方竹笋的总酸均值为 0.99 g·kg⁻¹，低于毛竹笋、雷竹笋和摆竹笋，其中‘俏白雪’的总酸质量分数最高，为 1.13 g·kg⁻¹。

合江方竹 3 个品种的草酸质量分数显著高于对照竹种 ($P<0.05$)，3 个品种间差异不显著，均值为 4.11 mg·g⁻¹，其中，‘俏白雪’草酸质量分数最高，为 4.15 mg·g⁻¹。

毛竹笋单宁质量分数显著高于其余竹种 ($P<0.05$)，为 2 884.67 mg·kg⁻¹，‘满天星’单宁质量分数最低，仅有 364.67 mg·kg⁻¹。合江方竹笋的单宁质量分数均值为 424.44 mg·kg⁻¹，合江方竹 3 个品种的单宁质量分数差异不显著，但均显著低于毛竹笋、雷竹笋和摆竹笋 ($P<0.05$)，其中‘俏白雪’的单宁质量分数最高，为 482.67 mg·kg⁻¹，其次是‘大乌金’和‘满天星’。

变异系数分析表明：3 种合江方竹笋总酸的变异系数最高，为 16.99%，其次为单宁，为 13.27%，可溶性蛋白、可溶性糖和草酸的变异系数均在 10% 以下，3 种栽培品种的合江方竹笋在营养成分上的变异主要体现在总酸和单宁上，其他成分差异相对较小。

2.2 竹笋氨基酸质量分数

表 2 显示：每组样品都检测到 18 种氨基酸。人体必需的 8 种氨基酸中，除色氨酸外，其余 7 种在 6 组样品里均有检出。毛竹笋的总氨基酸质量分数最高，为 3 090.0 mg·kg⁻¹，‘满天星’总氨基酸质量分数最低，为 1 529.6 mg·kg⁻¹。3 个栽培品种合江方竹笋的总氨基酸质量分数差异不显著，但显著低于对照竹笋 ($P<0.05$)。‘俏白雪’的必需氨基酸质量分数最高，达到 785.8 mg·kg⁻¹，‘满天星’的必需氨基酸质量分数最低，为 547.2 mg·kg⁻¹。‘俏白雪’和‘大乌金’的总必需氨基酸 (7 种) 质量分数均显著高于毛竹 ($P<0.05$)，但‘满天星’的必需氨基酸质量分数显著低于雷竹和摆竹 ($P<0.05$)。合江方竹 3 个品种笋的必需氨基酸 (EAA)/总氨基酸 (TAA) 差异不显著，都显著高于毛竹笋、雷竹笋和摆竹笋 ($P<0.05$)，其中‘满天星’最高，达 0.36。

表 3 结果表明：毛竹笋的苦味氨基酸质量分数和占比最高，‘满天星’的苦味氨基酸质量分数最低，仅有 384.7 mg·kg⁻¹，‘大乌金’占比最低，为 24.44%，合江方竹 3 个品种竹笋的苦味氨基酸质量分数与占比差异不显著，均显著低于毛竹和摆竹 ($P<0.05$)；毛竹笋的鲜味氨基酸质量分数最高，为 324.2 mg·kg⁻¹，‘满天星’的鲜味氨基酸占比最高，为 14.25%；‘俏白雪’的甜味氨基酸质量分数最高，为 558.1 mg·kg⁻¹，‘俏白雪’‘大乌金’和摆竹笋之间差异不显著，但均显著高于其余竹笋 ($P<0.05$)；合江方竹 3 个品种竹笋的芳香类氨基酸质量分数均显著低于其余毛竹和摆竹 ($P<0.05$)。

2.3 合江方竹和对照竹种口味评价

从表 4 可见：苦味值从大到小依次为‘俏白雪’、‘大乌金’、‘满天星’、毛竹、摆竹、雷竹；涩味值从大到小依次为‘俏白雪’、‘大乌金’、雷竹、摆竹、毛竹、‘满天星’，其中，‘俏白雪’

表 2 竹笋氨基酸组成与质量分数

Table 2 Amino acid composition and content of bamboo shoots

竹笋类型	氨基酸质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
	天冬氨酸(Asp)	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)	胱氨酸(Cys)	酪氨酸(Tyr)
‘俏白雪’	214.0±23.6 ab	213.0±51.0 a	42.3±15.9 ab	54.8±3.8 a	93.9±3.5 a	15.1±4.1 ab	140.3±6.4 c
‘满天星’	181.3±24.9 abc	153.0±29.1 ab	36.7±16.1 b	41.5±13.2 abc	57.6±10.7 b	10.8±2.3 bc	78.4±1.6 c
‘大乌金’	222.0±21.7 ab	204.7±34.7 a	45.8±11.3 ab	52.4±2.5 ab	75.0±13.7 ab	13.4±5.7 abc	96.8±10.6 c
毛竹	256.3±51.1 a	121.2±35.8 b	67.8±7.4 a	19.4±10.8 d	64.7±39.8 ab	4.7±2.6 d	1 770.0±752.9 a
雷竹	148.4±79.9 bc	135.0±23.5 b	64.9±22.9 a	28.5±4.8 cd	24.6±2.4 c	8.8±5.5 cd	581.7±197.2 bc
摆竹	121.0±18.5 c	136.0±12.8 b	26.6±2.1 b	38.9±1.1 bc	66.4±11.6 ab	18.2±7.8 a	932.0±214.5 b
均值	205.8	190.2	41.6	49.6	75.5	131.0	105.2
变异系数/%	12.64	21.92	30.01	17.66	22.55	29.77	25.30

竹笋类型	氨基酸质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
	γ-氨基丁酸(GABA)	组氨酸(His)	精氨酸(Arg)	脯氨酸(Pro)	Δ苏氨酸(Thr)	Δ缬氨酸(Val)	Δ蛋氨酸(Met)
‘俏白雪’	317.0±84.1 b	176.0±4.4 a	149.0±12.5 a	87.1±5.7 b	109.4±9.0 ab	112.0±5.0 ab	58.2±3.4 ab
‘满天星’	222.7±34.5 c	67.1±23.9 c	88.0±30.7 bc	45.3±7.4 b	95.0±19.1 bc	74.9±15.3 b	43.4±4.0 bc
‘大乌金’	384.7±26.1 b	161.0±24.0 a	121.7±18.9 ab	56.0±8.2 b	133.0±17.4 a	116.3±8.6 a	59.1±4.3 ab
毛竹	104.6±27.2 d	79.6±29.4 bc	46.9±4.7 d	63.3±16.0 b	46.1±14.0 e	78.7±30.7 ab	27.5±13.9 c
雷竹	502.3±43.2 a	94.5±38.9 bc	116.9±25.5 ab	54.0±9.9 b	64.7±5.1 de	114.1±31.3 ab	53.9±19.1 ab
摆竹	188.0±37.5 c	125.6±29.2 ab	63.4±9.9 cd	230.7±83.3 a	80.8±12.5 cd	105.0±16.5 ab	72.5±14.1 a
均值	308.1	134.7	119.6	62.8	112.5	101.1	53.6
变异系数/%	25.97	37.71	25.74	29.68	18.04	20.26	14.65

竹笋类型	氨基酸质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
	Δ异亮氨酸(Ile)	Δ亮氨酸(Leu)	Δ苯基丙氨酸(Phe)	Δ赖氨酸(Lys)	TAA	EAA	EAA/TAA
‘俏白雪’	82.6±5.6 ab	164.3±21.6 a	111.0±12.1 c	148.3±5.0 a	2 288.4±140.0 ab	785.8±33.7 a	3.4±0.3 a
‘满天星’	56.7±4.2 b	83.5±7.7 cd	91.1±3.4 c	102.4±30.1 bc	1 529.6±182.5 b	547.2±70.6 b	3.6±0.1 a
‘大乌金’	77.3±4.4 ab	120.7±9.3 bc	130.7±11.9 bc	146.3±21.2 a	2 216.9±187.2 ab	783.4±71.1 a	3.5±0.1 a
毛竹	71.3±28.7 ab	76.9±31.5 d	90.0±21.7 c	101.0±32.6 bc	3 090.0±1 013.1 a	491.5±162.9 b	1.6±0.2 c
雷竹	92.1±20.8 a	129.3±29.9 ab	161.0±33.0 b	130.0±17.3 ab	2 504.8±530.5 a	745.2±153.4 a	3.0±0.1 b
摆竹	91.1±7.9 a	151.3±21.1 ab	209.0±47.1 a	69.5±7.1 c	2 725.7±335.5 a	779.3±52.1 a	2.9±0.2 b
均值	72.2	122.8	110.9	132.3	2 011.6	705.5	3.5
变异系数/%	16.38	28.52	16.32	20.77	18.37	17.37	4.36

说明：Δ, 必需氨基酸；EAA 人体必需氨基酸；TAA, 总氨基酸。数据均为平均值±标准差；同一性状不同小写字母表示不同竹笋间差异显著 ($P<0.05$)；均值指 3 个合江方竹的算术平均值，变异系数指合江方竹的变异系数。

表 3 笋呈味氨基酸质量分数和占比

Table 3 Contents of flavor amino acids of bamboo shoots

竹笋类型	苦味氨基酸		鲜味氨基酸		甜味氨基酸		芳香氨基酸	
	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%
‘俏白雪’	610.3±30.7 c	26.67	256.3±27.3 ab	11.20	558.1±64.0 a	24.39	251.3±5.9 c	10.98
‘满天星’	384.7±29.2 c	25.15	218.0±40.9 bc	14.25	392.5±63.2 b	25.66	169.5±4.0 c	11.08
‘大乌金’	541.8±40.4 c	24.44	267.8±14.6 ab	12.08	521.1±49.9 a	23.51	227.5±22.5 c	10.26
毛竹	2 086.9±846.5 a	67.54	324.2±54.4 a	10.49	314.6±112.8 b	10.18	1 860.0±760.7 a	60.19
雷竹	1 078.2±308.0 bc	43.05	213.3±102.5 bc	8.52	306.8±35.2 b	12.25	742.7±229.3 bc	29.65
摆竹	1 488.5±298.7 ab	54.60	147.6±18.6 c	5.41	552.8±61.5 a	20.28	1 141.0±260.5 b	41.85
均值	512.3	25.24	247.4	12.51	490.6	24.52	216.1	10.78

说明：数据均为平均值±标准差；同一性状不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)；均值指 3 个合江方竹品种的算术平均值。

笋的涩味远大于其他样品；鲜味值从大到小依次为雷竹、摆竹、‘满天星’、‘大乌金’、‘俏白雪’、毛竹，其中，雷竹笋的鲜味最大，‘俏白雪’笋低于满天星和大乌金；鲜味回味值从大到小依次为摆竹、雷竹、‘满天星’、‘俏白雪’、‘大乌金’、毛竹，其中，摆竹笋的鲜味回味最大；甜味从大到小依次为毛竹、‘俏白雪’、‘满天星’、‘大乌金’、雷竹、摆竹，其中，毛竹笋的甜味最大，合江方竹 3 个品种竹笋差异较小。6 种竹笋酸味和咸味皆低于无味点，苦味涩味回味接近无味点。

表 4 合江方竹及对照竹种笋口味电子舌评分

Table 4 Electronic tongue scoring of bamboo shoot flavor of <i>Ch. hejiangensis</i> and control bamboo species									
竹笋类型	苦味	涩味	甜味	鲜味	咸味	酸味	苦味回味	涩味回味	鲜味回味
‘俏白雪’	11.92	6.02	3.87	8.55	-11.47	-27.24	0.48	0.38	2.33
‘满天星’	9.38	0.37	3.75	9.07	-14.29	-27.99	-0.18	-0.11	2.58
‘大乌金’	9.93	2.62	3.69	9.03	-13.38	-28.11	-0.10	0.11	2.15
毛竹	8.60	0.52	4.12	7.38	-15.89	-24.55	0.02	0.18	2.14
雷竹	6.99	2.30	3.53	10.30	-11.10	-28.41	-0.33	0.14	4.10
摆竹	7.05	1.86	0.49	9.78	-9.75	-27.67	-0.36	0.01	4.42

2.4 合江方竹笋各指标与口味的相关性

图 1 显示：5 种营养成分与口味存在 5 对显著相关关系，其中，单宁与竹笋口味具有较高的相关性，与涩味、苦味正相关，相关系数分别为 0.833、0.775。21 项氨基酸指标与合江方竹笋口味，存在 33 对显著相关性关系。与涩味呈正显著相关的氨基酸指标最多，达 11 项，其中，涩味与酪氨酸正相关性最显著，相关系数为 0.964。与苦味显著相关的氨基酸指标有 7 项，且均为正相关，其中苦味与酪氨酸正相关性最显著，相关系数为 0.955。酪氨酸、组氨酸、脯氨酸和异亮氨酸均与 3 项口味指标存在显著关系，其中，酪氨酸与苦味、涩味均具有最显著的正相关性。综上所述，在 5 种营养成分中，单宁对合江方竹笋口味的影响最大，单宁高会增加苦味和涩味，同时会削弱鲜味和鲜味回味；氨基酸含量与口味之间具有更多的相关性，对口味的影响更大，其中，酪氨酸的影响最大，酪氨酸含量过高会增加苦味和涩味，同时削弱鲜味。

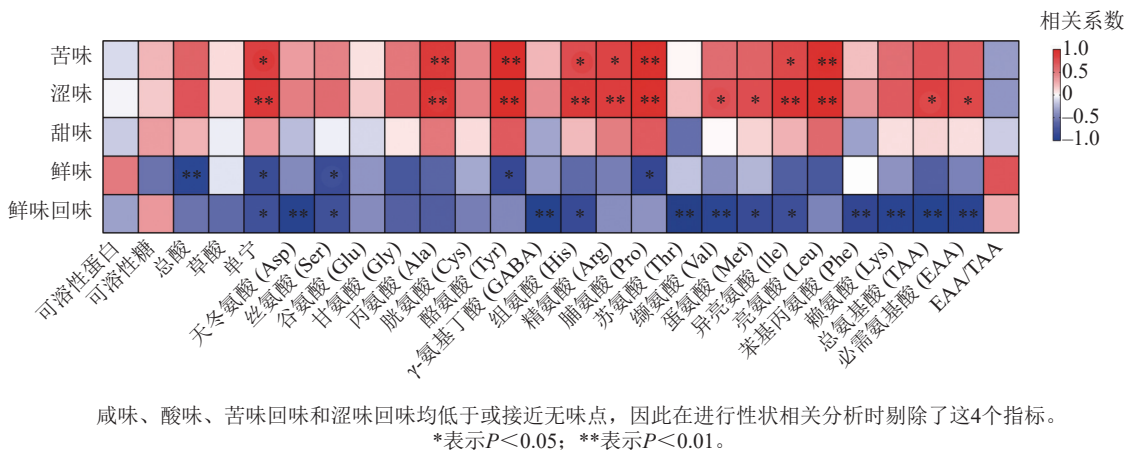


图 1 合江方竹笋口味与营养成分及氨基酸指标相关性分析
Figure 1 Correlation analysis of flavor, nutritional components, and amino acid indicators of *Ch. hejiangensis* shoots

3 讨论

竹笋在市场上的竞争优势主要依赖其营养价值与口感体验，而不同产地及竹种间的遗传差异往往导致营养价值和口感差异^[15]。本研究对合江方竹 3 个品种竹笋及 3 种对照竹笋的营养成分与电子舌特征进行系统分析，揭示了不同竹笋品种在营养组成、风味特征及其内在关联性方面的显著差异。合江方竹‘满天星’表现出优异的综合品质，其竹笋营养组成与适口性指标均优于‘俏白雪’‘大乌金’，具有作为优质食用笋种的潜力。

从营养学角度分析，可溶性蛋白、氨基酸组成及必需氨基酸比例是评价竹笋营养价值的重要指

标^[16]。方竹笋具有优异的营养品质,陈中爱等^[17]检测了方竹 *Ch. quadrangularis*、绿竹 *Bambusa oldhamii* 和麻竹 *Dendrocalamus latiflorus* 等竹笋的营养成分,发现方竹笋的蛋白质质量分数最高 ($37.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), EAA/TAA 最高 (0.44), 具有更高的营养价值。本研究发现:合江方竹笋的可溶性蛋白质量分数高于对照,且合江方竹 3 个品种的 EAA/TAA 均值 (0.35) 远超金佛山方竹 (0.23) 和雷山方竹 (0.21), 蛋白质更优质^[4]。其中‘满天星’的总氨基酸 (TAA) 质量分数较其他 2 个合江方竹栽培品种低,但其 EAA/TAA 达 0.36, 接近世界卫生组织和联合国粮食及农业组织 (WHO/FAO) 推荐的理想蛋白标准 (0.40)^[18], 表明其氨基酸组成更符合人体营养需求。

风味特征分析显示:竹笋适口性主要受苦味、涩味和鲜味等味觉要素的协同作用影响^[19], 可溶性糖、草酸、单宁等含量与组成同竹笋口味关系密切^[20]。合江方竹笋的单宁质量分数低于毛竹、雷竹和摆竹笋, 其中‘满天星’的单宁质量分数最低 ($364.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 与其电子舌检测中最低的涩味 (0.37) 形成对应。这与章志远等^[21]关于单宁作为麻竹笋主要涩味物质的研究结论相印证。本研究相关性分析进一步表明:单宁质量分数与涩味呈极显著正相关, 与苦味呈显著正相关。这解释了‘满天星’低苦涩味的生化基础。但是‘满天星’苦味仍高于对照, 这可能与类黄酮等次生代谢物的积累有关, YU 等^[22]通过代谢组学研究发现类黄酮对竹笋苦味的形成存在影响。

游离氨基酸在生物体内的许多生理过程中扮演着重要角色, 是评价食品品质的重要指标^[23]。氨基酸组成对风味形成具有关键调控作用, 不同竹种的呈味氨基酸存在差异^[19]。金佛山方竹笋甜味氨基酸质量分数较高 ($4.19 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)^[6], 紫竹 *Ph. nigra* 和高节竹 *Ph. prominens* 笋中氨基酸质量分数最高的为苦味氨基酸, 占比分别为 63% 和 74%^[24]。本研究检测的 6 种笋中质量分数最高的氨基酸均为苦味氨基酸, 其中毛竹笋的苦味氨基酸占比达到了 67.54%。苦味氨基酸是竹笋苦味的主要来源之一, 其质量分数和种类直接影响竹笋的口感和风味^[25]。本研究相关性分析显示:酪氨酸、异亮氨酸、亮氨酸等 3 种苦味氨基酸与苦味呈显著正相关, 表明它们在合江方竹笋苦味形成中具有重要作用。‘满天星’的苦味氨基酸总量较其余 2 个合江方竹品种低, 其中酪氨酸质量分数仅为 $78.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 这一结果与上述分析一致。

4 结论

与毛竹、雷竹、摆竹等 3 种对照竹种相比, 3 个合江方竹品种笋的可溶性蛋白与可溶性糖质量分数较高, 总酸与单宁质量分数较低, 单宁质量分数均值约为毛竹笋的 0.15 倍, 必需氨基酸质量分数与 EAA/TAA 较高, 均值分别为 $705.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 0.35, 是一种优良笋用竹种。合江方竹笋的氨基酸指标与口味之间具有较强的相关性, 其中酪氨酸对口味影响最大。合江方竹是一种营养丰富的竹笋种类, 选育具有优良口味的栽培品种对于提升其经济价值和消费者满意度具有重要意义。区别于合江方竹整体涩味较重的情况, ‘满天星’的涩味仅为 0.37, 约是‘俏白雪’的 1/16, 且具有较浓郁的鲜味和较小的苦味, 其氨基酸组成也十分出色, 整体口感和营养价值优于其他品种, 因此‘满天星’适合作为笋用竹种进行选育与推广。

5 参考文献

- [1] 马光良, 王光剑, 李呈翔, 等. 海拔梯度对合江方竹发笋节律的影响研究[J]. 世界竹藤通讯, 2006, 4(1): 13–17. MA Guangliang, WANG Guangjian, LI Chengxiang, et al. Study on the effect of altitudinal gradient on changes in shooting rhythm of *Chimonobambusa hejiangensis* [J]. *World Bamboo and Rattan*, 2006, 4(1): 13–17. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0431.2006.01.004.
- [2] 刘跃钧, 王立平, 傅冰, 等. 合江方竹和刺方竹 13 种不同种源方竹笋营养成分研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(4): 37–42. LIU Yuejun, WANG Liping, FU Bing, et al. Nutrition components in shoots of different provenance of *Chimonobambusa hejiangensis* and *C. pachystachys* [J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2012, 32(4): 37–42. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3776.2012.04.009.
- [3] 刘跃钧, 柳新红, 林秀明, 等. 合江方竹引种试验与评价[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(5): 26–29. LIU Yuejun, LIU Xinhong, LIN Xiuming, et al. Experiment and evaluation on introduction of *Chimonobambusa hejiangensis* [J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2012, 32(5): 26–29. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3776.2012.05.007.

- [4] 朱潇, 刘艳江, 伍明理, 等. 雷山方竹笋营养成分对比分析[J]. *经济林研究*, 2022, **40**(3): 273–280. ZHU Xiao, LIU Yanjiang, WU Mingli, *et al.* Comparative analysis of nutrients from bamboo shoots of *Chimonobambusa leishanensis*[J]. *Non-wood Forest Research*, 2022, **40**(3): 273–280. DOI: [10.14067/j.cnki.1003-8981.2022.03.030](https://doi.org/10.14067/j.cnki.1003-8981.2022.03.030).
- [5] 朱潇. 金佛山方竹不同品种的笋箨呈色机制研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022. ZHU Xiao. *Study of the Coloration Mechanism of Bamboo Shoot Sheaths in Different Varieties of Chimonobambusa utilis*[D]. Guiyang: Guizhou University, 2022. DOI: [10.27047/d.cnki.ggudu.2022.001065](https://doi.org/10.27047/d.cnki.ggudu.2022.001065).
- [6] 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. YANG Jinlai, GAO Guibin, ZHANG Fusheng, *et al.* Quality analysis and evaluation of five cultivars of *Chimonobambusa quadrangularis* shoots with color shell from Jinfoshan mountain[J]. *Food Science*, 2022, **43**(6): 303–308. DOI: [10.7506/spkx1002-6630-20210414-199](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20210414-199).
- [7] YU Lei, YUE Jinjun, DAI Yaxing, *et al.* Characterization of color variation in bamboo sheath of *Chimonobambusa hejiangensis* by UPLC-ESI-MS/MS and RNA sequencing[J]. *BMC Plant Biology*, 2023, **23**(1): 466. DOI: [10.1186/s12870-023-04494-3](https://doi.org/10.1186/s12870-023-04494-3).
- [8] 赵英永, 戴云, 崔秀明, 等. 考马斯亮蓝 G-250 染色法测定草乌中可溶性蛋白质含量[J]. *云南民族大学学报(自然科学版)*, 2006, **15**(3): 235–237. ZHAO Yingyong, DAI Yun, CUI Xiuming, *et al.* Determination of protein contents of *Radix aconiti kusnezoffii* using coomassie brilliant blue G-250 dye binding[J]. *Journal of Yunnan Nationalities University (Natural Sciences Edition)*, 2006, **15**(3): 235–237. DOI: [10.3969/j.issn.1672-8513.2006.03.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-8513.2006.03.018).
- [9] 农业部蔬菜品质监督检验测试中心. 蔬菜及其制品中可溶性糖的测定铜还原碘量法: NY/T 1278—2007[S]. 北京: 中华人民共和国农业部. Vegetable Quality Supervision and Testing Center of Ministry of Agriculture. *Determination of Soluble Sugar in Vegetables and Products Shaffer-Somogyi*: NY/T 1278—2007[S]. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China.
- [10] 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB 12456—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. State Administration for Market Regulation. *National Food Safety Standard Determination of Total Acids in Food*: GB 12456—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [11] 莫润宏, 王富民, 倪张林, 等. 离子排斥色谱-双检测器法同时测定果蔬中的糖、有机酸和维生素 C[J]. *现代食品科技*, 2016, **32**(4): 277–282, 287. MO Runhong, WANG Fumin, NI Zhanglin, *et al.* Simultaneous determination of sugar, organic acids, and vitamin C in agricultural products by ion-exclusion chromatography with refractive index and diode array detectors[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, **32**(4): 277–282, 287. DOI: [10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.4.044](https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.4.044).
- [12] 国家市场监督管理总局. 植物中游离氨基酸的测定: GB/T 30987—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020. Standardization Administration of the People's Republic of China. *Determination of Free Amino Acids in Plant*: GB/T 30987—2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [13] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 基于电子舌技术的绿茶滋味品质评价[J]. *农业工程学报*, 2011, **27**(11): 378–381. WU Ruimei, ZHAO Jiewen, CHEN Quansheng, *et al.* Quality assessment of green tea taste by using electronic tongue[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, **27**(11): 378–381. DOI: [10.3969/j.issn.1002-6819.2011.11.070](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2011.11.070).
- [14] 吴根良, 郑积荣, 李许可. 不同 LED 光源对设施越冬辣椒果实品质和产量的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2014, **31**(2): 246–253. WU Genliang, ZHENG Jirong, LI Xuke. Effect of different LED sources on the quality and yield of overwintering pepper in the greenhouse[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2014, **31**(2): 246–253. DOI: [10.11833/j.issn.2095-0756.2014.02.013](https://doi.org/10.11833/j.issn.2095-0756.2014.02.013).
- [15] 郑蓉, 郑维鹏, 方伟, 等. 绿竹笋形态性状与营养成分的产地差异分析[J]. *浙江林学院学报*, 2010, **27**(6): 845–850. ZHENG Rong, ZHENG Weipeng, FANG Wei, *et al.* Shapes and nutrients of *Dendrocalamopsis oldhami* bamboo shoots in 12 production areas[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2010, **27**(6): 845–850. DOI: [10.3969/j.issn.2095-0756.2010.06.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0756.2010.06.007).
- [16] 凡莉莉, 李余新, 陈双林, 等. 林地覆盖重度退化雷竹林竹笋品质与土壤养分关联分析[J/OL]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2024-09-27. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20240927.1018.008.html>. FAN Lili, LI Yuxin, CHEN Shuanglin, *et al.* The relationship between bamboo shoot quality and soil nutrients in severely degraded *Phyllostachys violascens* forests with mulching[J/OL]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2024-09-27.

<https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20240927.1018.008.html>.

- [17] 陈中爱, 耿阳阳, 黄珊, 等. 不同品种竹笋营养品质分析与综合评价[J]. *食品工业科技*, 2023, **44**(3): 262–268. CHEN Zhongai, GENG Yangyang, HUANG Shan, *et al.* Analysis and comprehensive evaluation of nutritional quality of different varieties of bamboo shoots[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, **44**(3): 262–268. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2022030236](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022030236).
- [18] 陈巧玲, 李忠海, 陈素琼. 5种地产食用菌氨基酸组成比较及营养评价[J]. *食品与机械*, 2014, **30**(6): 43–46, 81. CHEN Qiaoling, LI Zhonghai, CHEN Suqiong. Analysis of amino acid composition and nutritional evaluation in five local edible fungus[J]. *Food & Machinery*, 2014, **30**(6): 43–46, 81. DOI: [10.13652/j.issn.1003-5788.2014.06.011](https://doi.org/10.13652/j.issn.1003-5788.2014.06.011).
- [19] 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. XU Sen, YANG Liting, CHEN Shuanglin, *et al.* Review on the formation of bamboo shoot palatability and its main influencing factors[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2021, **38**(2): 403–411. DOI: [10.11833/j.issn.2095-0756.20200400](https://doi.org/10.11833/j.issn.2095-0756.20200400).
- [20] 郭杨, 余学军. 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[J]. *林业科学研究*, 2023, **36**(4): 90–98. GUO Yang, YU Xuejun. Effect of shading on appearance and nutrient content in different parts of *Pseudosasa amabilis* shoots[J]. *Forest Research*, 2023, **36**(4): 90–98. DOI: [10.11833/j.issn.2095-0756.2010.06.007](https://doi.org/10.11833/j.issn.2095-0756.2010.06.007).
- [21] 章志远, 丁兴萃, 崔逢欣, 等. 感官评定方法确定麻竹笋苦涩味物质成分及与口感的关系[J]. *食品科学*, 2017, **38**(5): 167–173. ZHANG Zhiyuan, DING Xingcui, CUI Fengxin, *et al.* Identification of bitter and astringent components in ma bamboo shoots and their relationship with taste by sensory evaluation[J]. *Food Science*, 2017, **38**(5): 167–173. DOI: [10.7506/spkx1002-6630-201705027](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201705027).
- [22] YU Lei, HUA Keda, CHEN Chunqing, *et al.* Metabolomic and transcriptomic analysis of bitter compounds in *Dendrocalamopsis oldhamii* shoots[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024, **130**: 106140. DOI: [10.1016/j.jfca.2024.106140](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106140).
- [23] 王小生. 必需氨基酸对人体健康的影响[J]. *中国食物与营养*, 2005, **11**(7): 48–49. WANG Xiaosheng. Effects of essential amino acids in food on human body health[J]. *Food and Nutrition in China*, 2005, **11**(7): 48–49. DOI: [10.3969/j.issn.1006-9577.2005.07.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-9577.2005.07.016).
- [24] 徐森, 谷瑞, 陈双林, 等. 竹子箨叶形态性状的种间差异及其与竹笋食味品质指标的关系[J]. *生态学杂志*, 2022, **41**(2): 270–277. XU Sen, GU Rui, CHEN Shuanglin, *et al.* Interspecific differences in morphological traits of sheath leaves and their relationships with taste quality indices of bamboo shoots[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2022, **41**(2): 270–277. DOI: [10.13292/j.1000-4890.202202.013](https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202202.013).
- [25] 章志远, 丁兴萃, 崔逢欣, 等. 避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. ZHANG Zhiyuan, DING Xingcui, CUI Fengxin, *et al.* Impact of avoiding light on bitterness and astringency, tannin content, morphology and distribution of *Dendrocalamus latiflorus*[J]. *Forest Research*, 2016, **29**(5): 770–777. DOI: [10.13275/j.cnki.lykxyj.2016.05.021](https://doi.org/10.13275/j.cnki.lykxyj.2016.05.021).