

灌溉对毛竹冬笋品质的影响

荣俊冬¹, 凡莉莉¹, 吴 君¹, 李士坤², 陈礼光¹, 温伟庆², 郑郁善^{1*}

(1 福建农林大学 林学院, 福州 350002; 2 漳平市林业局, 福建漳平 364400)

摘 要:选取同一地形、长势一致的毛竹林为材料, 分析比较灌溉与不灌溉毛竹林冬笋外观品质(个体重量、最大直径、长度、可食率)、营养品质(淀粉、蛋白质、脂肪、可溶性糖、维生素 C)、呈味物质(单宁、草酸)、纤维素类物质(纤维素、木质素)以及不同类氨基酸含量的差异, 研究灌溉对毛竹冬笋品质的影响, 为冬笋的科学培育提供依据。结果表明: (1) 灌溉显著提高了毛竹冬笋的个体重量、最大直径、长度以及可食率($P < 0.05$)。 (2) 灌溉显著提高了毛竹冬笋的淀粉和维生素 C 含量, 并显著降低了单宁、草酸、纤维素以及木质素含量($P < 0.05$), 但对蛋白质、脂肪、可溶性糖等指标含量影响不显著。 (3) 灌溉显著提升了毛竹冬笋中必需氨基酸、半必需氨基酸、鲜味氨基酸的含量以及占比($P < 0.05$), 但对甜味和苦味氨基酸总含量影响不显著。研究发现, 灌溉改善了毛竹冬笋生长和外观品质, 以及呈味物质、纤维素类物质、必需氨基酸、半必需氨基酸和鲜味氨基酸含量等营养品质指标, 从而显著提升了冬笋品质。

关键词: 冬笋; 灌溉; 外观形态; 营养物质; 氨基酸

中图分类号: Q945.79; S644.2 **文献标志码:** A

Effect of Irrigation on the Shoot Quality of *Phyllostachys edulis* in Winter

RONG Jundong¹, FAN Lili¹, WU Jun¹, LI Shikun², CHEN Liguang¹,
WEN Weiqing², ZHENG Yushan^{1*}

(1 College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2 Zhangping Forestry Bureau, Zhangping, Fujian 364400, China)

Abstract: In the current study, *Phyllostachys edulis* with uniform growth characteristics, which grew in consistent geographical environment, as the materials, we measured the difference of bamboo appearance quality (individual weight, maximum diameter, length, and edible rate), nutritional quality (starch, protein, fat, soluble sugar, and vitamin C), flavor substances (tannins and oxalic acid), cellulosic substances (cellulose and lignin), and different amino acids of winter bamboo shoots under irrigated and non-irrigated treatments. We aimed to explore the effect of irrigation on the shoot quality of *P. edulis* in winter, which provided the theoretical basis for the scientific cultivation of winter bamboo shoots. The results showed that: (1) the treatment of irrigation significantly increased the individual weight, maximum diameter, length, and edible rate of winter bamboo shoots ($P < 0.05$). (2) The treatment of irrigation significantly increased the contents of starch, vitamin C, and reduced the contents of tannin, oxalic acid, cellulose, and lignin ($P < 0.05$). The treatment of irrigation had no significant impact on the contents of protein, fat, and soluble sugar etc. (3) The treatment of irrigation significantly increased the contents and proportion of

收稿日期: 2021-03-25; 修改稿收到日期: 2021-08-19

基金项目: “十三五”国家重点研发课题(2018YFD0600104)

作者简介: 荣俊冬(1979—), 男, 助理研究员, 从事竹林培育研究。E-mail: rongjd@126.com

* 通信作者: 郑郁善, 教授, 博士生导师, 主要从事森林培育研究。E-mail: zys1960@163.com

essential amino acids, semi-essential amino acids, and umami amino acids ($P<0.05$). In contrast, it had no significant effect on the total contents of sweet and bitter amino acids. The treatment of irrigation had a significant effect on the shoot quality of winter bamboo. Irrigation can improve the appearance, flavor substances, cellulose substances, essential amino acids, semi-essential amino acids, umami amino acids, and other indicators of winter bamboo shoots, to improve the shoot quality of winter bamboo.

Key words: winter bamboo shoots; irrigation; appearance; nutrients; amino acid

毛竹(*Phyllostachys edulis*)为竹亚科(Bambu-soideae)刚竹属(*Phyllostachys*)大型散生竹,笋材两用,是中国栽培面积最大、经济效益最高的竹种,也是中国南方地区重要的林业资源,毛竹笋中富含膳食纤维、氨基酸、蛋白质、维生素等营养元素^[1-2]和甾醇、多酚、类黄酮^[3]等活性物质,具有良好的营养价值和药用价值^[4-5],是深受人们喜爱的绿色健康食品^[6]。毛竹笋分为春笋和冬笋两种类型,冬笋味道鲜美、营养丰富、品质好、价格高,是竹林经济收益的重要来源之一^[7]。水分和养分管理是毛竹林集约经营重要措施^[8-9],水分对毛竹笋的快速生长发育至关重要^[10-11],合理灌溉可使毛竹林的冬笋产量提高9倍以上,能够大幅度提升竹林经营效益^[12],适当施肥则能有效提高林分冬笋产量^[13],增加冬笋中氨基酸、多糖、蛋白质含量^[14]。

影响竹笋品质的因素有很多,除了海拔^[15]、土壤类型^[16]等环境影响因素外,人工栽培措施也是影响竹笋品质的重要因素,如覆土能明显改善麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)^[17]、绿竹(*Bambusa oldhamii*)^[18]、高节竹(*Phyllostachys prominens*)^[19]等竹笋外观形态质量,增加香味和甜味,减少酸涩味和粗糙度,竹笋品质和适口性明显提高;施肥也能提高笋的营养成分和氨基酸含量,改善笋营养品质^[20]。但目前关于灌溉对毛竹冬笋品质的影响还未见报道。本研究以灌溉与不灌溉两种方式培育的毛竹冬笋为研究对象,分析冬笋外观品质、营养物质、呈味物质、纤维素类物质及氨基酸等指标的变化,探究灌溉对毛竹冬笋品质的影响,为毛竹冬笋的科学培育提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省漳平市桂林街道石板坑村,地处25°21′33″N,117°24′43″E,属亚热带季风气候,温热湿润,雨水充足,年平均降水量1750 mm左右,年平均气温20.7℃,1月为最冷月,平均为7.3~11.2℃,7月为最热月,平均为24.6~28.5℃,年均日照时数可达1853 h,年均无霜期317 d。海拔

约为670 m,山地红壤土,土层深厚,地理环境优越,适宜毛竹林生长。竹林立竹度为2700株·hm⁻²,平均胸径为9.3 cm,平均竹高为13.5 m。试验期间气候干旱,未发生有效降雨。

1.2 试验设计

2019年12月10日选取同一地形、长势一致的毛竹林为试验用林,进行灌溉和不灌溉两种处理,每个处理样地面积20 m×20 m,3次重复,灌溉水源为山泉水,抽水机引水到试验地后采用摇臂旋转式喷头进行喷灌。试验期间每3 d喷灌一次,每次达到田间持水量(65±5)%时停止灌溉。

1.3 样品采集

于2020年1月10日从灌溉和不灌溉处理的毛竹林中各随机挖取30个冬笋,置于冰盒保温箱中带回实验室后,逐个测量个体重量(g)、最大直径(cm)、长度(cm),然后去掉笋箨、竹兜等不可食用部分,称重计算可食率(%)。将新鲜笋肉用组培刀切下200 g供维生素C含量测定分析,其余部分切成碎块,置于鼓风干燥箱内(103±2)℃杀青15 min后,70℃烘干至恒重,粉碎过60目筛后置于干燥器中,用于冬笋的营养物质等指标含量的测定。

1.4 营养指标测定

脂肪含量的测定采用GB 5009.6-2016中的索氏抽提法;蛋白质含量的测定采用GB 5009.5-2016中的凯氏定氮法;游离氨基酸含量的测定采用GB 5009.124-2016中的氨基酸分析仪法;淀粉含量的测定采用GB/T5009.9-2016中的酸水解法;维生素C含量的测定采用GB/T 6195-1986中的2,6-二氯靛酚滴定法;可溶性糖含量的测定采用NY/T 1278-2007中的铜还原碘量法;单宁含量的测定采用NY/T 1600-2008中的Folin-Ciocalteu法;草酸含量的测定采用比色法^[21];纤维素和木质素含量的测定采用浓硫酸水解法^[22]。

1.5 数据处理

试验数据用Excel 2016进行整理,用SPSS 19.0进行数据的单因素方差分析,试验数据均为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 灌溉对毛竹冬笋外观品质的影响

表 1 显示,灌溉和不灌溉两种方式培育的毛竹冬笋的个体重量、最大直径、长度、可食率等外观品质指标均存在显著性差异($P<0.05$)。与不灌溉冬笋相比,灌溉培育的毛竹冬笋个体重量、最大直径、长度以及可食率均有显著提高,增幅分别达 186.61%、52.47%、50.72%和 7.98%。因此可知,灌溉培育后毛竹冬笋个体更大、可食率更高,其外观形态质量得到明显改善。

2.2 灌溉对毛竹冬笋营养品质的影响

灌溉与不灌溉处理毛竹冬笋的蛋白质、脂肪、可溶性糖等指标含量差异不显著(表 2),而灌溉处理毛竹冬笋体内的淀粉、维生素 C 的含量分别比不灌溉处理显著提高了 13.97%、17.29% ($P<0.05$)。灌溉在一定程度上提高毛竹冬笋的营养品质。

2.3 灌溉对毛竹冬笋呈味物质及纤维素类物质含量的影响

毛竹冬笋的各呈味物质含量在不同灌溉处理间存在着显著差异($P<0.05$)。其中,灌溉处理毛竹

冬笋体内的单宁、草酸含量较不灌溉处理显著下降,降幅分别为 21.12%、25.42%;同时,灌溉处理还显著降低了毛竹冬笋纤维素、木质素等纤维素类物质含量,较不灌溉处理分别下降了 15.22%、8.69% (表 3)。灌溉处理可以改善冬笋苦涩味品质和冬笋的粗糙度,使竹笋口感更细腻。

2.4 灌溉对毛竹冬笋氨基酸含量的影响

在灌溉和不灌溉处理的毛竹冬笋中共检测出苏氨酸(Thr)等 7 种必需氨基酸以及酪氨酸(Tyr)等 2 种半必需氨基酸(表 4),且必需氨基酸和半必需氨基酸含量在两种处理间差异均达到显著水平($P<0.05$)。

2.4.1 必需氨基酸及半必需氨基酸含量 灌溉处理毛竹冬笋中苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、亮氨酸(Leu)、赖氨酸(Lys)等 5 种必需氨基酸含量和酪氨酸(Tyr)、半胱氨酸(Cys)等 2 种半必需氨基酸含量均显著高于不灌溉处理,而异亮氨酸(Ile)、苯丙氨酸(Phe)等 2 种必需氨基酸则显著低于不灌溉处理。灌溉处理的毛竹冬笋中必需氨基酸的总量为 $4.868\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,占冬笋氨基酸总量($11.216\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)的 43.40%,半必需氨基酸含量为 $0.319\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,占冬笋氨基酸总量的 2.84%;而

表 1 不同处理的毛竹冬笋外观品质指标

Table 1 Appearance quality indexes of winter bamboo shoots under different treatments

处理 Treatment	个体重量 Individual weight/(g·plant ⁻¹)	最大直径 Maximum diameter/cm	长度 Shoot length/cm	可食率 Edible rate/%
灌溉 Irrigation	626.74±86.23 [*]	8.63±1.12 [*]	29.33±0.57 [*]	53.47±2.13 [*]
不灌溉 Non-irrigation	218.67±43.23	5.66±0.95	19.46±0.59	49.52±1.61

注: * 表示处理间在 0.05 水平上差异性显著;下同
Note: * indicates that the difference between treatments is significant at the 0.05 level. The same as below

表 2 不同处理的毛竹冬笋营养品质指标

Table 2 Nutrition quality of winter bamboo shoots under different treatments/(mg·g⁻¹)

处理 Treatment	淀粉 Amylum	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	可溶性糖 Soluble sugar	维生素 C Ascorbic acid
灌溉 Irrigation	13.79±1.01 [*]	22.94±1.58	6.79±0.57	38.59±3.07	48.64±4.87 [*]
不灌溉 Non-irrigation	12.10±0.91	23.87±1.79	6.25±0.59	38.74±2.65	41.47±8.81

表 3 不同处理毛竹冬笋呈味物质及纤维素类物质指标

Table 3 Indexes of flavor substances and cellulose substances in winter bamboo shoots under different treatments/(mg·g⁻¹)

处理 Treatment	单宁 Tannin	草酸 Oxalate	纤维素 Latiflorus cellulose	木质素 Lignin
灌溉 Irrigation	1.27±0.09	2.64±0.03	445.90±41.11	177.63±8.93
不灌溉 Non-irrigation	1.61±0.07 [*]	3.54±0.04 [*]	525.93±13.75 [*]	194.54±3.91 [*]

表 4 不同处理毛竹冬笋中各类氨基酸含量
Table 4 Amino acid contents of winter bamboo shoots
under different treatments/(mg · g⁻¹)

氨基酸种类 Kinds of amino acid	灌溉 Irrigation	未灌溉 Non-irrigation	呈味类别 Taste category
天冬氨酸 Asp	1.694±0.019 *	1.045±0.024	鲜味 Flavor
谷氨酸 Glu	0.322±0.014	0.392±0.012 *	
丝氨酸 Ser	1.171±0.043 *	0.852±0.035	
甘氨酸 Gly	0.759±0.022	1.097±0.028 *	甜味 Sweetness
丙氨酸 Ala	0.539±0.025 *	0.368±0.010	
脯氨酸 Pro	1.067±0.201	1.510±0.396 *	
苏氨酸 Thr●	0.325±0.018 *	0.205±0.015	苦味 Bitterness
酪氨酸 Tyr▲	0.052±0.003 *	0.025±0.002	
缬氨酸 Val●	0.549±0.020 *	0.540±0.009	
异亮氨酸 Ile●	0.456±0.020	0.517±0.008 *	其他 Others
亮氨酸 Leu●	1.022±0.012 *	0.842±0.020	
苯丙氨酸 Phe●	0.856±0.018	0.954±0.010 *	
蛋氨酸 Met●	1.063±0.005 *	0.245±0.016	
赖氨酸 Lys●	0.597±0.002 *	0.462±0.021	
半胱氨酸 Cys▲	0.267±0.007 *	0.122±0.006	
组氨酸 His	0.034±0.002	0.114±0.012 *	
精氨酸 Arg	0.444±0.022 *	0.167±0.019	
氨基酸总量	11.217±0.145 *	9.457±0.172	

注:●为必需氨基酸;▲为半必需氨基酸;*为灌溉与未灌溉间同一指标差异显著($P<0.05$)
Note: ● Essential amino acid; ▲ Semiessential amino acids; * means significant difference with the same index between irrigation and non-irrigation at 0.05 level

不灌溉处理的毛竹冬笋中必需氨基酸的总量为 3.765 mg · g⁻¹,占冬笋氨基酸总量(9.459 mg · g⁻¹)的 16.33%,半必需氨基酸含量为 0.147 mg · g⁻¹,占冬笋氨基酸总量的 1.55%。由此可见,灌溉处理能够提升毛竹冬笋中必需氨基酸和半必需氨基酸的含量以及占比。

2.4.2 呈味氨基酸含量 首先,灌溉处理下毛竹冬笋中天冬氨酸、谷氨酸等鲜味类氨基酸含量的表现不一,其中天冬氨酸含量提高了 62.11%,而谷氨酸则降低了 17.86%,含量差异均达到显著水平;灌溉和不灌溉处理毛竹冬笋鲜味氨基酸总含量分别为 2.016 和 1.437 mg · g⁻¹,分别占氨基酸总量的 17.97%和 15.19%,且两种处理鲜味氨基酸总含量差异显著($P<0.05$)。

其次,灌溉处理毛竹冬笋丝氨酸、丙氨酸、苏氨酸等 3 种甜味类氨基酸含量分别提高了 37.44%、

46.47%和 58.54%,而甘氨酸、脯氨酸则降低了 30.81%和 29.34%,含量差异均达到显著水平($P<0.05$);灌溉和不灌溉处理毛竹冬笋甜味类氨基酸总含量分别为 3.861 和 4.032 mg · g⁻¹,分别占氨基酸总量的 34.42%和 42.63%,但两种处理甜味氨基酸总含量差异不显著($P>0.05$)。

再次,灌溉处理后毛竹冬笋酪氨酸、缬氨酸、亮氨酸等 3 种苦味类氨基酸含量分别提高了 108.00%、1.67%、21.38%,异亮氨酸、苯丙氨酸含量则降低了 11.80%和 10.27%,且含量差异均达到显著水平($P<0.05$);灌溉和不灌溉处理毛竹冬笋苦味类氨基酸总含量分别为 2.935 和 2.878 mg · g⁻¹,分别占氨基酸总量的 26.17%和 30.43%,两种处理苦味氨基酸总含量差异也不显著($P>0.05$)。因此,灌溉处理能够显著提升毛竹冬笋鲜味类氨基酸的含量以及占比,但对甜味类氨基酸和苦味类氨基酸的含量没有显著影响。

3 讨 论

本研究表明水分对冬笋生长影响明显,灌溉后毛竹冬笋的个体重量、最大直径、长度及可食率等指标均不同程度的增加,且这些外观指标与不灌溉相比差异性显著($P<0.05$),说明灌溉可改善毛竹冬笋的外观形态质量,这与周建青等^[23]研究结果一致。

竹笋营养成分含量是衡量竹笋品质的重要指标,维生素 C 具有增强人体的免疫、预防贫血等功能,通常只存在于植物性食物中^[24];淀粉是植物体内贮藏的高分子碳水化合物,可以分解成葡萄糖、麦芽糖等成分;竹笋中的蛋白质容易被人体吸收利用,属于优质蛋白^[25-26];可溶性糖、脂肪是人体能源物质的重要组成部分,也是评价竹笋品质的重要指标^[27]。这些营养成分除了决定于竹种的遗传特性外^[28-29],还受到人工经营措施的影响。本研究发现灌溉后毛竹冬笋的蛋白质、脂肪、可溶性糖等指标变化不明显,维生素 C 和淀粉含量则显著升高,这与代顺冬等^[30]、李文美等^[31]的研究结果一致。

单宁是一类广泛存在于植物体内的多元酚化合物,易与口腔唾液中的蛋白结合并生成沉淀,产生苦涩味^[32];草酸影响人体金属离子代谢活动,食用过多可能破坏人体的酸碱平衡^[33]。有相关报道表明单宁和草酸是竹笋苦涩味的主要来源^[34-35],其含量与光照强度密切相关^[36],覆土栽培可以显著降低这两类物质的含量,改善竹笋品质^[17-18, 37]。本研究表

明灌溉后毛竹冬笋的单宁、草酸含量显著降低,呈味物质总含量呈下降趋势,改善了冬笋的苦涩味。植物体内单宁等次生代谢产物的浓度往往在水分亏缺时下较高^[38],本研究结论与之相同。植物草酸的积累受品种、化肥种类、种植季节和溶液 pH 值等的影响^[39],本研究发现灌溉可降低毛竹冬笋草酸的积累。纤维素、木质素与竹笋的粗糙度密切相关,对竹笋的适口性有重要影响^[40],本研究中灌溉后毛竹冬笋的纤维素、木质素含量显著下降,从而使竹笋的适口性也得到明显改善。

竹笋呈味氨基酸种类复杂,包括鲜味、甜味、苦味等,对竹笋风味品质有重要影响^[41],光照是影响竹笋氨基酸品质的重要因素^[42],已有研究表明,麻竹培土栽培后竹笋氨基酸总量显著提高,苦味、芳香和鲜味类氨基酸含量占比均下降,甜味氨基酸占比

显著上升^[17];而培土栽培绿竹则表现为苦味、鲜味、甜味和芳香类氨基酸含量均升高,苦味氨基酸占比则显著降低^[18];培土栽培高节竹笋鲜味、甜味和芳香类氨基酸比例提高,苦味氨基酸比例下降^[37],均能达到降低竹笋苦涩物质比例,改善竹笋口感的目的。本研究发现,灌溉处理能显著提升毛竹冬笋必需氨基酸、半必需氨基酸、鲜味类氨基酸的含量及占比,对甜味类和苦味类氨基酸总含量影响不显著,表明灌溉处理在一定程度上改善了毛竹冬笋的氨基酸营养品质。

综上所述,灌溉既改善了毛竹冬笋的个体重量、最大直径、长度及可食率等外观品质,同时改善了其呈味物质、纤维素类物质以及必需氨基酸、半必需氨基酸和鲜味氨基酸含量和占比等指标,显著提升了冬笋产量和品质。

参考文献:

[1] ZHENG J, LI S, ALI M, *et al.* Effects of UV-B treatment on controlling lignification and quality of bamboo (*Phyllostachys prominens*) shoots without sheaths during cold storage[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, **19**(5): 1 387-1 395.

[2] ZHENG J, LI S, XU Y, *et al.* Effect of oxalic acid on edible quality of bamboo shoots (*Phyllostachys prominens*) without sheaths during cold storage[J]. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie*, 2019, 109: 194-200.

[3] CHOUDHURY D, SAHU J K, SHARMA G D. Value addition to bamboo shoots: a review[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2012, **49**(4): 407-414.

[4] NIRMALA C, SINGH B M, OINAM S, *et al.* Mineral elements in bamboo shoots and potential role in food fortification [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 95: 103 662.

[5] WU W, HU J, GAO H, *et al.* The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics[J]. *Food Chemistry*, 2020, 332: 127 372.

[6] 黄伟素,陆柏益. 竹笋深加工利用技术现状及趋势[J]. 林业科学, 2008, **44**(8): 118-123.

HUANG W S, LU B Y. Advances in deep-processing technology of bamboo shoots[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, **44**(8): 118-123.

[7] LIU T. Surveys of harvest technology of winter bamboo shoots[J]. *Journal of Forestry Research*, 2011, **22**(3): 487-490.

[8] 苏文会,许庆标,范少辉,等. 毛竹冬笋生长与生物量积累规律研究[J]. 西北林学院学报, 2013, **28**(2): 32-36.

SU W H, XU Q B, FAN S H, *et al.* Winter shoot growth and biomass accumulation of *Phyllostachys edulis* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, **28**(2): 32-36.

[9] 苏文会,封焕英,范少辉,等. 毛竹冬笋中氮磷钾含量的动态变化与积累规律[J]. 林业科学研究, 2013, **26**(2): 252-256.

SU W H, FENG H Y, FAN S H, *et al.* Dynamic changes and accumulation rules of N, P and K contents in winter shoot of *Phyllostachys edulis* [J]. *Forest Research*, 2013, **26**(2): 252-256.

[10] ZHANG M, CHEN S, JIANG H, *et al.* The water transport profile of *Phyllostachys edulis* during the explosive growth phase of bamboo shoots[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 24: e01251.

[11] WU X, LIU S, LUAN J, *et al.* Responses of water use in Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) culms of different developmental stages to manipulative drought [J]. *Forest Ecosystems*, 2019, **6**(1): 31-45.

[12] 林海青. 毛竹冬笋型笋用林水分管理设施建设与实施效果分析[J]. 竹子学报, 2017, **36**(2): 65-68.

LIN H Q. The construction of water management facilities and their effects on the winter bamboo shoots oriented forests of *Phyllostachys edulis* [J]. *Journal of Bamboo Research*, 2017, **36**(2): 65-68.

[13] 王海霞,曾庆南,杨 军,等. 不同措施对毛竹冬笋笋期和产量的影响研究[J]. 竹子学报, 2017, **36**(1): 30-35.

WANG H X, ZENG Q N, YANG J, *et al.* Effects of different forestry measures on shooting period and yield of winter shoots in *Phyllostachy edulis* [J]. *Journal of Bamboo Research*, 2017, **36**(1): 30-35.

[14] 邱永华, 金爱武, 张四海, 等. 不同施肥方式对竹笋品质的影响[J]. 竹子学报, 2017, **36**(1): 41-48.

QIU Y H, JIN A W, ZHANG S H, *et al.* Effect of different fertilization methods on quality of bamboo shoots[J]. *Journal of Bamboo Research*, 2017, **36**(1): 41-48.

[15] 时俊帅, 陈双林, 郭子武, 等. 3 个海拔梯度对高节竹笋品质的影响[J]. 林业科学研究, 2018, **31**(4): 113-117.

SHI J S, CHEN S L, GUO Z W, *et al.* Influence of altitudes on quality of *Phyllostachys prominens* shoot[J]. *Forest Research*, 2018, **31**(4): 113-117.

[16] 于增金, 殷彪, 赵婷, 等. 不同地类对麻竹竹笋品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020, **47**(1): 76-81.

YU Z J, YIN B, ZHAO T, *et al.* Effect of different land types on the quality of *Dendrocalamus latiflorus* shoots[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2020, **47**(1): 76-81.

[17] 于增金, 殷彪, 刘松, 等. 培土栽培对麻竹笋品质的影响机理研究[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(5): 817-823.

YU Z J, YIN B, LIU S, *et al.* Effect of soil cultivation on the quality of *Dendrocalamus latiflorus* shoots[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, **39**(5): 817-823.

[18] 童龙, 张磊, 李彬, 等. 覆土栽培对绿竹笋品质与适口性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, **40**(3): 487-493.

TONG L, ZHANG L, LI B, *et al.* Influence of soil-covered cultivation on quality and palatability of *Dendrocalamopsis oldhami* shoot[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* (Natural Sciences Edition), 2018, **40**(3): 487-493.

[19] 江志标, 陈双林, 郭子武, 等. 覆土控鞭高品质竹笋栽培对高节竹叶片形态和养分化学计量特征的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(6): 1 155-1 160.

JIANG Z B, CHEN S L, GUO Z W, *et al.* Leaf morphology and C, N, and P stoichiometry of *Phyllostachys prominens* under soil cover with rhizome controlling cultivation [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2017, **34**(6): 1 155-1 160.

[20] 张晗, 李全, 郭子武, 等. 施氮对毛竹笋营养成分的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2021, **38**(1): 112-119.

ZHANG H, LI Q, GUO Z W, *et al.* Effects of nitrogen application on nutritional components of *Phyllostachys edulis* shoot[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2021, **38**(1): 112-119.

[21] 段立珍, 汪建飞, 赵建荣. 比色法测定菠菜中草酸含量的条件研究[J]. 安徽农业科学, 2007, (3): 632-633.

DUAN L Z, WANG J F, ZHAO J R. Study on the determining conditions of oxalate content in spinach with coloration method[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, (3): 632-633.

[22] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素的测定[J]. 粮食与饲料工业, 2005, (8): 40-41.

XIONG S M, ZUO X F, ZHU Y Y. Determination of cellulose, hemi-cellulose and lignin in rice hull[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2005, (8): 40-41.

[23] 周建青, 张少华, 林建荣. 干旱冬季喷灌对毛竹冬笋生长影响试验[J]. 林业科技情报, 2011, **43**(3): 14-15.

ZHOU J Q, ZHANG S H, LIN J R. Effect of drought winter sprinkling irrigation on winter bamboo shoot growth[J]. *Forestry Science and Technology Information*, 2011, **43**(3): 14-15.

[24] 安华明, 陈力耕, 樊卫国, 等. 高等植物中维生素 C 的功能、合成及代谢研究进展[J]. 植物学通报, 2004, (5): 608-617.

AN H M, CHEN L G, FAN W G, *et al.* Advances in research on function, biosynthesis and metabolism of ascorbic acid in higher plants[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2004, (5): 608-617.

[25] WAIKHOM S D, BENGYYELLA L, ROY P, *et al.* Insights on predominant edible bamboo shoot proteins[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2015, **14**(17): 1 511-1 518.

[26] 时俊帅, 谷瑞, 陈双林, 等. 不同海拔的高节竹笋蛋白质营养成分差异分析[J]. 江西农业大学学报, 2019, **41**(2): 308-315.

SHI J S, GU R, CHEN S L, *et al.* The effect of altitude on the protein nutritional value of *Phyllostachys prominens* bamboo shoots[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* (Natural Sciences Edition), 2019, **41**(2): 308-315.

[27] 王裕霞, 张光楚, 李兴伟. 优良丛生笋用竹及杂种竹竹笋品质评价的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2005, (4): 39-44.

WANG Y X, ZHANG G C, LI X W. An evaluation on shoot quality of sympodial bamboo species and their hybrids[J]. *Journal of Bamboo Research*, 2005, (4): 39-44.

[28] 李鹏程, 裴佳龙, 彭霄鹏, 等. 不同地理种源人面竹的竹笋营养成分比较[J]. 湖北农业科学, 2018, **57**(8): 81-86.

LI P C, PEI J L, PENG X P, *et al.* Comparison of the nutritional components of *Phyllostachys aurea* bamboo shoots from different geographical provenances[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, **57**(8): 81-86.

[29] 裴佳龙, 李鹏程, 王茜, 等. 云南不同地理种源勃氏甜龙竹竹笋营养成分比较[J]. 西北林学院学报, 2018, **33**(1): 156-161.

PEI J L, LI P C, WANG Q, *et al.* Comparison of bamboo shoot nutrients of *Dendrocalamus brandisii* among different provenances[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, **33**(1): 156-161.

[30] 代顺冬, 胡田田, 陈思, 等. 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实 Vc 含量的影响[J]. 中国土壤与肥料,

2013,(2): 26-31.

DAI S D, HU T T, CHEN S, *et al.* Effects of water and fertilizers on vitamin C content in tomato under alternate partial root-zone irrigation[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2013,(2): 26-31.

[31] 李文美,王亚军,谢忠奎,等. 不同灌溉量对兰州百合生长发育及产量的影响[J]. 北方园艺, 2020,(11): 54-63.

LI W M, WANG Y J, XIE Z K, *et al.* Effects of different irrigation amount on growth and yield of Lanzhou lily[J]. *Northern Horticulture*, 2020,(11): 54-63.

[32] MUIR A D, GRUBER M Y, HINKS C F, *et al.* Effect of condensed tannins in the diets of major crop insect [M]// CROSS G G, HEMINGWAY R W, YOSHIDA T. Plant Polyphenols 2 Chemistry, Biology, Pharmacology, Ecology. New York: Kluwer Academic Publishers, 1999: 867-881.

[33] 徐 森,谷 瑞,陈双林,等. 毛竹春笋营养、食味和基于重金属的安全品质的海拔效应[J]. 江西农业大学学报, 2021, **43** (1): 144-152.

XU S, GU R, CHEN S L, *et al.* Altitude effect on nutrition, taste and safety quality based on heavy metals of *Phyllostachys edulis* spring shoots[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* (Natural Sciences Edition), 2021, **43** (1): 144-152.

[34] 崔逢欣,丁兴萃,李露双,等. 毛竹笋呈味物质种类、含量与辛辣味强度的关系[J]. 林业科学研究, 2017, **30**(6): 1 041-1 049.

CUI F X, DING X C, LI L S, *et al.* Relationship between types and contents of flavour substances and spicy intensity in moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) shoots[J]. *Forest Research*, 2017, **30**(6): 1 041-1 049.

[35] 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 Z Y, DING X C, CUI F X, *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.

[36] 李雪蕾. 光照强度对三种竹笋不同部位苦涩味物质的影响[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2014.

[37] 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.

GUO Z W, JIANG Z B, CHEN S L, *et al.* Influence of soil covered cultivation on shoot quality of *Phyllostachys prominens*[J]. *Guihaia*, 2015, **35**(4): 515-519.

[38] ALONSO-AMELOT M E, OLIVEROS-BASTIDAS A, CALCAGNO-PISARELLI M P. Phenolics and condensed tannins of high altitude *Pteridium arachnoideum* in relation to sunlight exposure, elevation, and rain regime[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2007, **35**(1): 1-10.

[39] 蔡晓锋,徐晨曦,王小丽,等. 植物中的草酸:合成、降解及其积累调控[J]. 植物生理学报, 2015, **51**(3): 267-272.

CAI X F, XU C X, WANG X L, *et al.* The oxalic acid in plants: Biosynthesis, degradation and its accumulation regulation[J]. *Plant Physiology Communications*, 2015, **51**(3): 267-272.

[40] 郭子武,江志标,陈双林,等. 高节竹与毛竹鞭笋品质和适口性比较[J]. 林业科学研究, 2015, **28**(3): 447-450.

GUO Z W, JIANG Z B, CHEN S L, *et al.* Comparative study on quality and palatability of rhizome shoot of *Phyllostachys prominens* and *Phyllostachys edulis*[J]. *Forest Research*, 2015, **28**(3): 447-450.

[41] 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 S, YANG L T, CHEN S L, *et al.* Review on the formation of bamboo shoots palatability and its main influencing factors[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2021, **38** (2): 403-411.

[42] 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.

LI X L, DING X C, ZHANG S S, *et al.* The distributions of bitter and astringent taste compounds in the bamboo shoot of *Dendrocalamus latiflorus* under different light intensities[J]. *Journal of Nanjing Forestry University* (Natural Science Edition), 2015, **39**(3): 161-166.

(编辑:裴阿卫)