华锦欣,田楠,胡俊靖,等.覆土年限调控高节竹笋外观和营养品质的效应[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(5):70-77.
Hua J X, Tian N, Hu J J, et al. Effects of soil mulching duration on the appearance and nutritional quality of *Phyllostachys prominens* shoots[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(5):70-77.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202506024

覆土年限调控高节竹笋外观和营养品质的效应

华锦欣,田楠,胡俊靖,陈丽华,李志红,雷亦晨,何奇江*

(杭州市林业和湿地科学研究院,浙江 杭州 30022)

摘　要:[目的]高节竹(*Phyllostachys prominens*)是我国南方丘陵地区重要的笋用竹种之一,覆盖栽培是高节竹普遍应用的经营措施,但长期覆盖会导致竹林土壤退化。探究不同覆土年限梯度下高节竹笋外观、呈味品质和营养成分的差异性变化,可为高节竹笋覆土经营提供参考。[方法]本研究采集已覆土1、3、5 a和未覆土(CK)竹林的高节竹笋,分析对比其外观品质、营养成分和氨基酸含量差异。[结果]覆土栽培1、3 a可显著增加高节竹笋的长度、单笋重($P<0.05$),使笋箨色泽更加鲜亮嫩黄,对竹笋蛋白质、粗脂肪和淀粉含量有正向提升作用,降低木质素和纤维素的含量,降低竹笋口感粗糙度,但随着覆土年限增加,竹笋外观和营养品质呈下降趋势,竹笋纤维化程度增加。覆土栽培后高节竹笋总氨基酸和必需氨基酸含量显著降低($P<0.05$),其中鲜味氨基酸、芳香味氨基酸占比提升3.17%~26.91%和5.49%~87.31%,甜味氨基酸含量占比下降12.49%~29.53%。[结论]覆土栽培显著改善竹笋外观和风味品质,且随覆土年限长短呈动态变化,覆土1、3 a可协同提升竹笋外观、营养和适口性,而覆土5 a因养分竞争和代谢失衡,部分竹笋品质指标下降。综合考量生产和覆土成本,3 a是实现高节竹笋优质高产的最佳周期。

关键词:高节竹; 覆土栽培; 年限; 色泽; 纤维素; 氨基酸
中图分类号:S795.7　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)05-0070-08

Effects of soil mulching duration on the appearance and nutritional quality of *Phyllostachys prominens* shoots

Hua Jinxin, Tian Nan, Hu Junjing, Chen Lihua, Li Zhihong, Lei Yichen, He Qijiang*

(*Hangzhou Forest and Wetland Science Research Institute, Hangzhou 310022, China*)

Abstract: [Objective] *Phyllostachys prominens* is an important shoot-producing bamboo species in the hilly regions of southern China. Soil mulching cultivation is a widely adopted management practice for this species. However, long-term soil mulching may lead to degradation of bamboo forest soil. This study investigated the differential changes in appearance, flavor quality, and nutritional components of *P. prominens* shoots under different soil mulching duration gradients, aiming to provide a reference for optimizing soil mulching cultivation practices. [Methods] Shoots were collected from bamboo forests subjected to 1-, 3-, and 5- year mulching treatments, as well as from a control (unmulched) forest. Their appearance quality, nutritional composition, and amino acid content were analyzed and compared. [Results] Mulching for one and three years significantly increased shoot length and individual shoot weight ($P<0.05$), enhanced the bright yellow coloration of sheaths, increased the content of protein, crude fat, and starch, and reduced the levels of lignin and cellulose, thereby mitigating shoot texture coarseness. However, with prolonged mulching duration, shoot appearance and nutritional quality gradually diminished, accompanied by increased fiber content. Total amino acid and essential amino acid contents decreased significantly under mulching ($P<0.05$). Nevertheless, the proportions of umami and aromatic amino acids increased by 3.17%~26.91% and 5.49%~

收稿日期:2025-06-16　　**修回日期**:2025-08-21
基金项目:中央财政林草科技推广示范项目(〔2023〕TS07)
作者简介:华锦欣(ORCID:0000-0002-3311-7606),工程师,硕士,研究方向:森林培育与生态保护
*通信作者:何奇江,研究员,博士,研究方向:竹林培育研究与推广,E-mail:heqijiang@21cn.com

87.31%, respectively, while the proportions of sweet amino acids decreased by 12.49%～29.53%. [Conclusion]Soil mulching cultivation significantly improved the appearance and flavor quality of bamboo shoots, but these effects vary dynamically with mulching duration. Mulching for one and three years synergistically enhanced shoot appearance, nutritional quality, and palatability, whereas mulching for five years led to nutrient competition and metabolic imbalance, causing a decline in certain shoot quality indicators. Taking production and mulching costs into comprehensive consideration, a 3-year mulching cycle is optimal for achieving high quality and yield in *P. prominens* shoots.

Keywords: *Phyllostachys prominens*, Soil mulching, Durations, Color parameter, Cellulose, Amino acid

高节竹(*Phyllostachys prominens*)属禾本科竹亚科刚竹属,是我国南方丘陵地区重要的笋用竹种之一,因其笋期长、产量高、味鲜美、营养丰富,深受消费者喜爱[1]。近年来,随着消费者对竹笋品质要求的提升和竹产业的转型升级,覆盖栽培技术因能有效调控出笋时间、改善笋体商品性状,已成为高节竹产区普遍应用的经营措施,也是当前竹笋产业研究中的重要课题[2-4]。已有研究表明,林地覆盖不仅能改善土壤结构,调节土壤水热环境,还能提高土壤有机质含量和养分水平,有利于竹笋的生长和品质提升。如邱盛媛[5]对雷竹(*P. violascens*)开展不同发热物覆盖研究,发现土壤有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、锌和钙含量对竹笋蛋白质、总糖和氨基酸营养成分含量动态变化的影响显著;武红燕等[6]利用谷壳和枯饼混合物覆盖厚竹(*P. edulis* 'Pachyloen'),发现覆盖后竹笋的笋径、个体重量有显著提升,且竹笋中蛋白质、可溶性糖、粗脂肪含量更高;孙慧等[7-8]在对毛竹(*P. edulis*)的覆盖研究中,发现覆盖措施短期内能有效提高土壤有机质、全氮和碱解氮含量、出笋产量及竹笋中淀粉、脂肪等养分含量。

长期覆盖会导致竹林土壤化学、物理和生物性劣变,生境异质性程度提高[9-11],而且不同竹种因其生物学特性差异,对光温水肥等环境因子的生态响应性存在差异[12],需进行系统性研究与分析。目前,针对高节竹覆盖栽培的研究主要集中在海拔、产地等因素对覆盖后竹笋外观和营养品质、竹鞭养分及抗性生理性特征的影响机制等方面。如时俊帅等[3]发现海拔高度对竹笋营养和食味品质具有显著影响,其中对外观品质的作用尤为突出;徐小博等[13]揭示了土壤微生物特征与高节竹竹叶次生代谢产物积累的内在关联。然而,对不同覆土年限下竹笋外观形态特征及营养品质的研究相对较少,虽然李明良等[14]、郭子武等[15]也进行了覆土年限的研究,但仅开展了1 a、2 a短期覆土试验,缺乏对长覆土年限下多指标变化规律的解析。基于此,本研究通过探讨不同覆土年限对高节竹笋外观和品质的影响,以期为其栽培技术的优化提供科学支撑,同时也为竹笋品质形成的土壤微生态调控机制研究提供新视角。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地位于杭州市桐庐县中部的莪山乡新丰村(29°48′7" N,119°32′9" E),属亚热带季风气候,年内呈明显季节性变化,年均气温16.6 ℃,全年≥10 ℃的积温为5 262.0 ℃,年均降雨量1 552 mm并且70%集中在4-9月的梅雨和台风雨季,年均无霜期252 d,年均蒸发量1385 mm,年均相对湿度81%。土壤主要为红壤,土层厚度80 cm以上,全村现有竹林种植面积300 hm^2。

1.2　试验设计

在试验地内选择林分结构、经营水平基本一致且集中连片的高节竹林4片,海拔(390±10) m。选择N1(覆土1 a)、N2(覆土3 a)、N3(覆土5 a)这3个不同覆土年限的样地,以不覆土为对照(CK),每样地面积不小于0.2 hm^2。2020年2月在样地中均匀覆盖30 cm厚的客土,所用客土为样地周边的红壤与黄壤(黏粒占比50%～70%,pH为5.2～5.5,有机质含量10.71～12.53 g/kg,全氮含量1.37～1.66 g/kg,全磷含量0.839～0.967 g/kg,全钾含量8.93～10.22 g/kg),覆土时清除客土中的石块、树根等杂物。试验小区覆土前均匀撒施底肥,即施肥量为2400 kg/hm^2的竹笋专用肥(N:P_2O_5:K_2O为17:7:17),覆土后每年6-7月林地复垦控鞭时施加追肥,施肥量为2400 kg /hm^2。覆土前调查样地的林分结构,样地立竹密度分别为(9467±582)、(8990±486)、(10 481±237)、(7833±338)株/hm^2,立竹胸径分别为(5.21±0.21)、(5.78±0.72)、(5.13±0.16)、(4.89±

0.57) cm,立竹年龄结构1 a:2 a:3 a及以上分别为0.58:0.57:1.00、0.36:0.35:1.00、0.35:0.28:1.00、0.43:0.55:1.00。在每个年限的样地内设10 m×10 m样方3个。出笋期(4月中下旬至5月中旬左右)在每个样方内随机挖取刚出土的完整竹笋各10株,测量竹笋外观指标及笋箨色泽度(明度值L、红绿色值a和黄蓝色值b),并计算色差值△E;不可食用部分去除前后称重,计算可食率(%);再选取笋肉样品置于冰盒带回实验室备用。

1.3 指标测定

取部分样品经植物组织捣碎机匀浆后测定蛋白质、淀粉、脂肪、可溶性糖、草酸、单宁、总酸和氨基酸共8个指标;取部分样品自然风干后,磨碎保存用于水分、灰分测定,其余样品60 ℃烘干研磨过40目筛后用于纤维素、木质素含量测定。淀粉含量参考《GB 5009.9-2023 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》,采用酸水解法测定;蛋白质含量参考《GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》,采用凯氏定氮法测定;可溶性糖含量测定参考《NY/T 1278-2007 蔬菜及其制品中可溶性糖的测定 铜还原碘量法》;脂肪含量参考《GB 5009.6-2025 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》,采用索氏抽提法测定;粗纤维、木质素含量参考《GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定》,采用酸碱法测定;单宁含量参考《NY/T 1600-2008 水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定 分光光度法》;总酸含量参考《GB 12456-2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定》,采用酸水解法测定;氨基酸含量测定参考《GB 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,使用茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪测定;草酸含量测定采用反相高效液相色谱法[16];色泽度(明度值L、红绿色值a和黄蓝色值b)采用色彩色差仪(CR-400,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司)测定。各指标重复3次。

1.4 数据处理

本研究采用Excel 2020进行数据整理与制图,运用SPSS 21.0软件开展单因素方差分析,结合LSD法(α=0.05)进行多重比较,以评估不同覆土年限对高节竹林笋外观和营养品质的影响。试验数据均表示为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 不同覆土年限下高节竹笋外观品质差异

由表1可见,随着覆土年限的增加,高节竹笋的基径、长度、单笋重及可食率均呈不同程度的先降后升的趋势。在基径方面,N1、N3处理基径显著大于CK与N2($P<0.05$),在N3时基径达到最大,N2基径与CK无显著差异。在长度方面,N2、N3处理显著小于N1($P<0.05$),N1、N2和N3处理与CK无显著差异。在单笋重方面,N1、N2、N3处理之间差异显著($P<0.05$),其中N1处理较CK显著增加26.16%,N2处理显著小于N1、N3和CK($P<0.05$),N3处理与CK无显著差异。在可食率方面,各覆土年限处理的高节竹笋可食率与对照无明显差异。

表1 不同覆土年限高节竹外观品质

Table 1 Appearance quality of *P. prominens* shoots at different soil mulching ages

处理 Treatments	基径/mm Shoot diameter	长度/mm Shoot length	单笋重/g Individual weight	可食率/% Edible ratios	笋箨色泽 Color parameter			
					L	a	b	△E
CK	43.70±0.51b	33.33±2.47ab	301.98±27.48b	70.63±2.70a	32.96±3.12b	6.28±0.59b	13.67±1.27b	
N1	47.23±7.15a	38.97±2.19a	380.97±111.39a	74.21±1.96a	44.19±2.71a	7.29±0.32a	18.14±2.70a	12.51±2.88a
N2	43.82±5.11b	29.96±4.53b	221.85±54.52c	68.37±1.56a	41.48±0.99a	7.49±0.38a	18.60±0.58a	10.14±1.14a
N3	48.53±5.08a	35.33±1.91a	293.81±15.10b	69.28±5.10a	37.98±2.81ab	6.96±0.61ab	14.82±0.73b	2.30±1.29b

注:CK为不覆土,N1为覆土1 a,N2为覆土3 a,N3为覆土5 a;表2~表4同。同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: CK: unmulching, N1: mulching for one year; N2: mulching for three years; N3: mulching for five years; The same as in Table 2 to Table 4. Different lowercase letters in the same column denoted significant differences between different treatments ($P<0.05$).

笋箨色泽是评价竹笋外观品质的关键指标,与CK相比,N1、N2处理的笋箨L值、a值和b值均有显著增加($P<0.05$),N3处理虽也略有增加,但相较于CK无显著差异。N1处理的笋箨L值、a值

和b值分别比CK显著增加34.07%、16.08%和32.70%,N2处理的笋箨L值、a值和b值分别比CK显著增加25.85%、19.27%和36.06%,但这2种覆土处理间无显著差异,这说明覆土1~3 a后,高节竹笋箨色泽更加鲜亮、嫩黄。N1、N2处理的笋箨△E值显著大于N3处理,但N1与N2之间差异不显著,表明短期覆土对笋箨颜色影响最强,随着覆土年限增加影响减弱。总体而言,竹林覆土处理对高节竹笋可食率影响不明显,短期覆土可以增加高节竹笋的基径、长度、单笋重,使笋箨色泽更加鲜亮、嫩黄,覆土时间越长对竹笋外观影响越小。

2.2　不同覆土年限下高节竹竹笋营养品质差异

由表2可见,各覆土处理的高节竹笋中蛋白质、粗脂肪、淀粉含量与CK均无显著差异;淀粉含量随覆土年限增加呈先增后减的趋势,N2相比CK增加最多为13.37%,显著高于CK,但3个覆土处理间差异不显著。木质素与纤维素含量随覆土年限的增长呈先降后升的趋势,N1、N2处理的木质素和纤维素含量均显著低于CK,N1的木质素和纤维素含量降幅最大为18.43%和17.37%;N3处理的木质素含量相较于CK显著增加了7.02%,纤维素含量与CK差异不显著。可见,短期覆土处理可显著提升高节竹淀粉含量,同时显著降低木质素与纤维素含量,从而改善竹笋口感粗糙度,但覆土年限过长可能因木质素等物质积累导致竹笋粗糙度增加。

表2　不同覆土年限高节竹竹笋营养物质

Table 2　Nutritional quality of *P. prominens* shoots at different soil mulching ages　　mg/g

处理 Treatments	蛋白质 Protein	粗脂肪 Fat	淀粉 Starch	木质素 Lignose	纤维素 Cellulose
CK	29.45±1.51a	1.82±0.07a	22.67±1.37b	67.50±1.33b	71.52±6.02a
N1	30.06±1.37a	1.79±0.05a	25.40±0.95a	55.06±1.85c	59.10±1.89c
N2	31.40±0.68a	1.95±0.10a	25.70±1.19a	58.11±3.75c	62.44±4.87b
N3	31.44±0.80a	1.87±0.10a	24.09±1.04ab	72.24±3.56a	75.43±3.08a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column denoted significant differences between different treatments ($P<0.05$).

2.3　不同覆土年限下高节竹竹笋呈味物质差异

由表3可见,覆土处理对高节竹笋可溶性糖含量有显著的提升作用,N1、N2处理的可溶性糖含量分别较CK提高51.18%和46.45%,N3处理与CK无显著差异;单宁、草酸与总酸含量在N1处理下均比CK有显著的提升($P<0.05$),之后随着覆土年限的增长呈逐渐减少的趋势,N2、N3处理与CK之间差异不显著;糖酸比值随着覆土年限增长呈先升后减的趋势,各覆土处理间差异显著($P<0.05$),N1处理显著低于CK($P<0.05$),N2处理则显著高于CK($P<0.05$),N3处理与CK无显著差异。说明适当延长覆土年限能促进高节竹可溶性糖的积累,抑制酸涩味物质的产生,提高竹笋甜味,覆土年限过短或过长则影响不明显。

表3　不同覆土年限高节竹竹笋呈味物质

Table 3　Contents of taste substances in *P. prominens* shoots at different soil mulching ages

处理 Treatments	可溶性糖/(mg/g) Soluble sugar	单宁/(mg/g) Tannin	草酸/(mg/g) Oxalic	总酸/(mg/g) Total acid	糖酸比/% Sugar−acid ratio
CK	15.20±1.15b	0.42±0.06b	0.08±0.03b	6.69±0.13b	2.27±1.15b
N1	22.98±2.53a	0.79±0.05a	0.15±0.03a	13.59±0.48a	1.69±0.16c
N2	22.26±2.44a	0.50±0.10b	0.06±0.03b	6.73±0.71b	3.31±0.12a
N3	14.47±1.14b	0.56±0.06b	0.07±0.02b	6.39±0.80b	2.29±0.34b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column denoted significant differences between different treatments ($P<0.05$).

2.4 不同覆土年限下高节竹笋氨基酸含量差异

本研究从高节竹笋中共检测到17种氨基酸(表4),包括6种必需氨基酸(EAA)和11种非必需氨基酸。覆土处理显著影响氨基酸组成,各处理的总氨基酸(TAA)和6种必需氨基酸(EAA)含量均显著低于CK($P<0.05$);N3处理的TAA显著低于N1、N2,除苏氨酸外的5种EAA含量各处理间差异不显著。各覆土处理除天冬氨酸、胱氨酸、蛋氨酸、络氨酸外的7种非必需氨基酸含量均显著低于CK($P<0.05$),N3处理的丙氨酸、甘氨酸、蛋

表4 不同覆土年限高节竹竹笋氨基酸成分

Table 4 Amino acid composition in *P. prominens* shoots at different soil mulching ages

指标 Indices	处理 Treatments			
	CK	N1	N2	N3
▲异亮氨酸含量/(mg/g) Isoleucine content	0.76±0.12a	0.26±0.05b	0.27±0.06b	0.20±0.06b
▲亮氨酸含量/(mg/g) Leucine content	1.27±0.14a	0.63±0.11b	0.60±0.18b	0.43±0.14b
▲赖氨酸含量/(mg/g) Lysine content	6.87±0.58a	3.08±0.54b	3.98±0.51b	3.22±0.96b
▲苯丙氨酸含量/(mg/g) Phenylalanine content	0.31±0.06a	0.14±0.04b	0.13±0.04b	0.10±0.04b
▲苏氨酸含量/(mg/g) Threonine content	0.54±0.05a	0.26±0.03bc	0.33±0.04b	0.18±0.08c
▲缬氨酸含量/(mg/g) Valine content	0.80±0.11a	0.32±0.07b	0.38±0.13b	0.22±0.07b
丙氨酸含量/(mg/g) Alanine content	1.95±0.18a	1.16±0.23b	0.92±0.21bc	0.74±0.21c
天冬氨酸含量/(mg/g) Aspartic acid content	9.26±1.45a	7.11±1.74ab	6.81±1.41ab	5.02±1.40b
精氨酸含量/(mg/g) Arginine content	1.00±0.10a	0.64±0.10b	0.64±0.09b	0.66±0.04b
胱氨酸含量/(mg/g) Cysteine content	0.02±0.02a	0.01±0.03a	0.02±0.09a	0.01±0.01a
甘氨酸含量/(mg/g) Glycine content	0.61±0.05a	0.28±0.06bc	0.34±0.03b	0.20±0.06c
谷氨酸含量/(mg/g) Glutamic acid content	5.92±0.60a	3.10±0.58b	3.31±0.34b	2.50±0.61b
组氨酸含量/(mg/g) Histidine content	0.44±0.04a	0.21±0.04b	0.17±0.05b	0.15±0.06b
蛋氨酸含量/(mg/g) Methionine content	0.06±0.01a	0.06±0.02a	0.03±0.01b	0.03±0.01b
脯氨酸含量/(mg/g) Proline content	0.32±0.02a	0.13±0.02b	0.15±0.27b	0.05±0.01c
丝氨酸含量/(mg/g) Serine content	0.43±0.04a	0.19±0.05b	0.19±0.04b	0.14±0.05b
络氨酸含量/(mg/g) Tyrosine content	3.88±0.51a	2.87±0.75a	2.93±0.23a	3.34±0.92a
总氨基酸含量/(mg/g) Total amino acid content (TAA)	34.42±3.78a	20.37±4.33b	20.52±2.23b	16.53±3.64c
必需氨基酸含量/(mg/g) Essential amino acid content (EAA)	10.60±0.98a	4.75±0.84b	5.72±0.86b	4.38±1.32b
非必需氨基酸含量/(mg/g) Nonessential amino acid content (NEAA)	22.38±2.76a	14.82±3.32b	14.62±2.04b	11.99±2.49c
鲜味氨基酸含量/(mg/g) Delicious amino acid content	15.18±2.02a	10.21±2.32b	10.12±1.75b	7.52±1.65b
鲜味氨基酸占TAA比例/% Delicious amino acid proportion in TAA	44.10±6.68b	50.13±14.20a	49.32±8.87a	45.50±12.93b
苦味氨基酸含量/(mg/g) Bitter amino acid content	7.01±0.78a	4.22±1.00b	4.31±0.32b	4.29±1.22b
苦味氨基酸占TAA比例/% Bitter amino acid proportion in TAA	20.37±2.79b	20.72±6.00b	20.99±2.53b	25.96±8.52a
甜味氨基酸含量/(mg/g) Sweet amino acid content	3.86±0.33a	2.01±0.36b	1.90±0.23bc	1.31±0.40c
甜味氨基酸占TAA比例/% Sweet amino acid proportion in TAA	11.21±1.37a	9.81±2.50b	9.24±1.32b	7.90±2.72c
芳香味氨基酸含量/(mg/g) Aromatic amino acid content	4.19±0.56a	3.01±0.79a	3.06±0.21a	3.44±0.96a
芳香味氨基酸占TAA比例/% Aromatic amino acid proportion in TAA	12.17±1.85c	14.79±4.54b	14.91±1.68b	20.81±6.76a

注:▲表示该氨基酸为必需氨基酸;同行不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note:▲ indicated that the amino acid is an essential amino acid. Different lowercase letters in the same row denoted significant differences between different treatments ($P<0.05$).

氨酸、脯氨酸含量显著低于N1或N2,另外7种非必需氨基酸在各覆土处理间差异不显著。各覆土年限下高节竹笋所含呈味氨基酸含量由高到低为鲜味>苦味>芳香味>甜味。N1、N2处理鲜味和芳香氨基酸含量占TAA比例显著高于N3,相比CK显著增加12.71%~26.91%、3.17%~20.77%和5.49%~87.31%、21.53%~60.76%;N3处理苦味氨基酸含量占TAA比例显著高于CK,N1、N2则与CK差异不显著;各覆土处理甜味氨基酸含量占TAA比例低于CK,下降12.49%~29.53%,N3处理下降最为明显($P<0.05$)。该结果表明,覆土栽培会引起高节竹氨基酸总量降低和组分变化,但短期覆土后可提高竹笋口感的鲜味、甜味氨基酸占比有所升高,不利于口感的苦味氨基酸占比下降;而长期覆土的TAA与部分氨基酸含量以及鲜味、甜味氨基酸占比显著低于短期覆土,苦味氨基酸占比显著高于短期覆土,意味着覆土时间过长可能不利于竹笋口感提升。

3　讨论

竹笋的基径、长度、单笋重、可食率和笋箨色泽是反映竹笋外观品质的关键指标。本研究发现,高节竹在覆土栽培后,各外观指标随覆土年限增加呈现"先促进后抑制"规律。覆土1、3 a可使竹笋的长度较未覆土的竹笋提升5.93%~12.18%、单笋重增幅55.27%~82.15%、可食率提高5.20%~13.67%。这与郭子武等[15]、陈丽华等[17]、时俊帅[18]的研究结论一致,即短期覆土可显著增加竹笋长度、单笋重。但随着覆土年限增加,各外观指标数值虽有部分增长但整体水平回落至自然笋水平,这可能与土壤养分释放周期相关。笋箨色泽不仅是竹笋外部特征的体现,也是其生长、发育阶段内在本质变化的反映,本研究中竹笋笋箨色泽L值、a值、b值在1、3 a的短期覆土处理下分别提升25.85%~34.07%、16.08%~19.27%和32.70%~36.06%,形成亮白嫩黄的优质外观特征,这与厚竹[6]、茶秆竹[19]和雷竹[20-21]覆盖研究结果一致,可能是短期覆土通过调控苯丙烷代谢通路关键酶(PAL、CHS)活性,促进类黄酮、花青素等色素合成,而长期覆土导致光照条件或氧化酶活性变化,从而影响植物色素合成过程。

竹笋营养与食味品质是受遗传特性、环境因素和栽培措施协同调控的,是综合评价其质量的核心指标[22-24]。本研究结果表明,覆土处理对高节竹笋蛋白质、淀粉含量有正向作用,体现出碳氮代谢协同作用,可能是覆土形成的微环境提高了微生物活性,促进氮磷钾等养分释放;但在长期覆土处理时增幅收窄,可能因为长期覆土引发竹鞭系统养分竞争或吸收效率下降。从纤维化进程来看,木质素含量在覆土初期降低13.91%~18.43%,同时纤维素减少12.70%~17.37%,这可能与覆土处理后土壤水分相对充裕、温度降低、笋芽处于"暗形态建成"等影响竹笋碳水化合物代谢有关,一定程度上抑制纤维素、木质素的合成。但长期覆土时,二者含量分别高于未覆土的竹笋7.02%和5.46%,可能因土壤紧实度增加,导致竹笋机械组织发育增强。从代谢物动态来看,可溶性糖含量在短期覆土处理中大幅增加了46.45%~51.18%,可能与覆土促进光合产物积累或抑制糖代谢消耗有关[25],覆土初期单宁、草酸、总酸含量增加可能是植物对覆土胁迫的响应,后期这些指标含量下降可能与养分稀释有关[3,18]。

本研究发现,覆土处理后高节竹笋总氨基酸(TAA)和必需氨基酸(EAA)含量显著降低,这一结果与李明良[14]、郭子武[15]等结论一致,其机制可能是覆土处理后竹鞭分布加深,地下鞭系分布区温度相对较低,导致鞭根氮素吸收量下降,同时覆土栽培引起笋体增大导致氮素消耗与养分稀释[26-28]。尽管覆土处理后总氨基酸含量减少,但显著改变了各呈味氨基酸的占比,其中,N1、N2处理的鲜味和芳香味氨基酸含量占TAA比例分别较CK提升了12.71%~26.91%、3.17%~20.77%和5.49%~87.31%、21.53%~60.76%;N3处理的鲜味、甜味氨基酸含量占TAA比例较N1、N2则降低了13.57%~57.92%和7.75%~44.03%,且N3处理的纤维素和木质素含量较N1、N2处理也分别提升了11.02%~42.45%和7.49%~37.23%,即覆土5 a更不利于竹笋的口感和营养等品质提升。

结合糖酸比的波动分析表明,覆土3年在平衡甜涩味方面效果最佳,覆土年限过长可能因代谢失衡,进而引起风味下降,具体影响机制有待结合代谢组学方法进行深入研究。

4 结论

本研究通过不同覆土年限对高节竹笋品质影响进行系统分析,得出以下结论:外观品质方面,覆土1、3 a可提升竹笋长度和单笋重,同时显著改善笋箨色泽($P<0.05$),但随着覆土年限增长效果减弱。营养品质方面,覆土1、3 a处理可显著提升淀粉含量,同时降低木质素与纤维素含量,从而改善竹笋口感粗糙度。风味形成方面,覆土1、3 a处理显著提升可溶性糖含量,并抑制单宁、草酸等酸涩物质积累,糖酸比在覆土3 a时达到峰值,表明短期覆土可优化甜酸平衡,但覆土时间延长后因酸涩物质回升导致风味下降。氨基酸组成显示,覆土处理使总氨基酸(TAA)和必需氨基酸(EAA)含量总体下降,但覆土处理后鲜味氨基酸含量占TAA的比例可提升3.17%~26.91%,芳香味氨基酸占比提升5.49%~87.31%,苦味氨基酸占比虽略有提升,但变化不明显,而甜味氨基酸比例则下降了12.49%~29.53%,表明覆土处理通过调节氨基酸代谢影响风味层次。综上,覆土栽培显著改善了竹笋外观和风味品质,但随覆土年限长短呈动态变化。综合考量生产与覆土成本,本研究认为覆土3 a为高节竹笋实现优质高产的最佳周期,兼顾经济效益和生态可持续。

参 考 文 献

[1]汤华勤.富阳竹类植物图鉴[M].杭州:浙江大学出版社,2021:41-43.
Tang H Q. Handbook of bamboos in Fuyang district [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2021:41-43.

[2]郭子武,王为宇,杨清平,等.林地覆盖对雷竹林土壤碳氮磷化学计量特征的影响[J].广西植物,2013, 33(5):627-632.
Guo Z W, Wang W Y, Yang Q P, et al. Effects of mulching management on stoichiometry of soil C, N and P in *Phyllostachys praecox* plantations [J]. Guihaia, 2013, 33(5): 627-632.

[3]时俊帅,章超,陈双林,等.覆土控鞭栽培对高节竹鞭根养分和抗性生理特征的影响[J].浙江农林大学学报,2019, 36(5):902-907.
Shi J S, Zhang C, Chen S L, et al. Soil cover with rhizome controlling cultivation of nutrients and physiological resistance for a *Phyllostachys prominens* rhizome system [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2019, 36(5):902-907.

[4]白瑞华,丁兴萃,杜旭华,等.套袋栽培对高节竹笋品质的影响[J].浙江林业科技,2011,31(1): 64-67.
Bai R H, Ding X C, Du X H, et al. Influence of covering black film-bags on quality of *Phyllostachys prominens* shoot [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2011, 31(1):64-67.

[5]邱盛媛.发热物质对雷竹林覆盖期内土壤性状和竹笋营养成分的影响[D].南昌:江西农业大学, 2023.
Qiu S Y. Effects of fever substances on soil traits and nutrients of bamboo shoots during the mulch period of *Phyllostachys violascens* [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2023.

[6]武红燕,张振烨,苏田,等.覆盖栽培对国家良种厚竹的竹笋形态与品质影响[J].南方林业科学, 2022,50(3): 32-36.
Wu H Y, Zhang Z Y, Su T, et al. Effects of mulching cultivation on shoot morphology and quality of *Phyllostachys edulis* 'Pachyloen'[J]. South China Forestry Science, 2022, 50(3): 32-36.

[7]孙慧,曹志华,吴中能,等.覆盖对毛竹林土壤养分、酶活性及微生物群落的影响[J].经济林研究, 2023, 41(2):223-233.
Sun H, Cao Z H, Wu Z N, et al. Effects of mulching on soil nutrients, enzyme activities and microbial community in *Phyllostachys edulis* forest [J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(2): 223-233.

[8]董国鑫,黄雪蔓,王一,等.两种芒萁覆盖度下毛竹林土壤酶活性及生态化学计量特征比较研究[J].林业科学研究,2024, 37(1):183-193.
Dong G X, Huang X M, Wang Y, et al. Soil enzyme activities and ecological stoichiometric characteristics under two coverage of *Dicranopteris dichoyoma* in *Phyllostachys edulis* forest [J]. Forest Research, 2024, 37(1): 183-193.

[9]陈双林,杨伟真.我国毛竹人工林地力衰退成因分析[J].林业科技开发, 2002(5):3-6.
Chen S L, Yang W Z. Causes of land fertility deterioration in artificial forest of *Phyllostachys* pubescens in China [J]. China Forestry Science and Technology, 2002(5):3-6.

[10]陈双林,萧江华.现代竹业栽培的土壤生态管理[J].林业科学研究,2005, 18(3):351-355.
Chen S L, Xiao J H. Soil ecological management of cultivated bamboo stand[J]. Forest Research, 2005,18(3): 351-355.

[11]郑仁红.覆盖栽培对雷竹林衰退的化感效应研究[D].北京:中国林业科学研究院,2006.
Zheng R H. Allelopathy of cover planting on decline of *Phyllostachys praecox* stand[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2006.

[12]陈双林.毛竹林地覆盖竹笋早出技术应用的问题思考[J].浙江农林大学学报, 2011, 28(5):799-804.
Chen S L. Thoughts on related problems of mulched technique with organic materials in moso bamboo forest for early shooting [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2011, 28(5): 799-804.

[13]徐小博,王选年,徐萍,等.不同产地高节竹竹叶次生代谢物与土壤微生物的关系分析[J].西南林业大学学报(自然科学),2021,41(4):18-24.
Xu X B, Wang X N, Xu P, et al. Secondary metabolites of bamboo leaves from *Phyllostachys prominens* and their relationship with soil microorganism in different producing areas

[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2021, 41(4): 18-24.

[14]李明良,陈双林,郭子武,等. 覆土栽培对高节竹笋呈味氨基酸的影响[J]. 浙江林业科技, 2015, 35(2):54-57.
Li M L, Chen S L, Guo Z W, et al. Influence of soil sealing on flavor amino acid in shoot from *Phyllostachys prominens* stand [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2015, 35(2): 54-57.

[15]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.

[16]李永庆. 食品中草酸的测定[J]. 广东化工, 2007, 34(10): 117-118,114.
Li Y Q. Detection of oxalic acid in foods [J]. Guangdong Chemical Industry, 2007, 34(10): 117-118,114.

[17]陈丽华,胡俊靖,胡德胜,等. 覆土厚度对高节竹笋产量和品质的影响[J]. 竹子学报, 2021, 40(3):75-80.
Chen L H, Hu J J, Hu D S, et al. Effects of soil-covering thickness on yield and quality of bamboo (*Phyllostachys prominens*) shoots[J]. Journal of Bamboo Research, 2021, 40(3): 75-80.

[18]时俊帅. 高节竹笋品质形成的环境效应与改良初步研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2019.
Shi J S. Preliminary study on the environmental effect and improvement of *Phyllostachvs Prominens* bamboo shoot quality formation[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2019.

[19]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 Y, Yu X J. Effect of shading on appearance and nutrient content in different parts of *Pseudosasa amabilis* shoots [J]. Forest Research, 2023, 36(4): 90-98.

[20]杨丽婷,谢燕燕,俞文仙,等. 长期林地覆盖经营对雷竹林自然笋外观、营养和食味品质的影响[J]. 竹子学报, 2021, 40(3):7-12.
Yang L T, Xie Y Y, Yu W X, et al. Effects of long-term mulching on appearance, nutrition and taste of bamboo shoots of *Phyllostachys violascens*[J]. Journal of Bamboo Research, 2021, 40(3): 7-12.

[21]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.
He Y Y, Chen S L, Guo Z W, et al. Correlation between external color and quality of mulched *Phyllostachys violascens* shoots[J]. Forest Research, 2021, 34(6): 157-167.

[22]李建伟,覃万玲,辉朝茂,等. 甜龙竹笋品质的地理变异及其与立地环境的关系[J]. 林业科学, 2024,60(11):75-83.
Li J W, Qin W L, Hui C M, et al. Geographical variation in quality of *Dendrocalamus brandisii* bamboo shoots and its relationship with site conditions [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2024,60(11): 75-83.

[23]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, 2018, 40(3): 487-493.

[24]倪惠菁,赵建诚,仲建平,等. 蚕沙有机肥对雷竹笋产量和品质的影响[J]. 浙江林业科技,2024,44(5): 80-85.
Ni H J, Zhao J C, Zhong J P, et al. Effects of silkworm excrement organic fertilizer on the yield and quality of *Phyllostachys violascens* 'Prevernalis' shoots [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2024, 44(5): 80-85.

[25]刘佩,邬玉芬,王肖峰,等. 荫蔽环境下植物生理形态及光响应机制研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2024, 41(6): 1313-1322.
Liu P, Wu Y F, Wang X F, et al. Research progress on plant physiological morphology and light response mechanism in shaded environments[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2024, 41(6): 1313-1322.

[26]代春艳. 基于氮钾协同策略的三七光系统适应阴生环境机理研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2022.
Dai C Y. Study on the mechanism of Panax notoginseng photosystem adapting to shade environment based on the synergistic strategy of nitrogen and potassium [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2022.

[27]元晓春,曾泉鑫,周茜,等. 氮添加对亚热带毛竹林土壤硝化潜势和氨氧化微生物的影响季节差异[J]. 生态学报, 2024, 44(23): 10734-10744.
Yuan X C, Zeng Q X, Zhou Q, et al. Differential seasonal effects of nitrogen addition on nitrification potential and ammonia-oxidizing microorganisms in soil of subtropical moso bamboo forest [J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(23): 10734-10744.

[28]林美霞,苏建霖,朱芃锴,等. 不同施氮量对麻竹光合特性和氮代谢关键酶活性的影响[J]. 山东农业科学, 2024, 56(4): 87-91.
Lin M X, Su J L, Zhu P K, et al. Effects of different nitrogen application levels on photosynthetic characteristics and key enzymes activities in nitrogen metabolism of *Dendrocalamus latiflorus*[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2024, 56(4): 87-91.

(编辑:郭玥微)