

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



# 不同海拔的高节竹笋蛋白质 营养品质差异分析

时俊帅, 谷 瑞, 陈双林\*, 章 超, 郭子武

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

**摘要:**海拔是多个环境因子的综合反映,对竹子生长和竹笋品质有重要影响。为揭示海拔对高节竹笋蛋白质营养价值的影响,为高节竹高品质竹笋培育提供参考。选择了经营措施和经营水平基本一致的3个海拔高度(110, 370, 560 m)的试验高节竹林,分别采集露土10 cm左右的竹笋进行蛋白质、必需氨基酸含量的测定,对不同海拔高度竹笋蛋白质、必需氨基酸含量和必需氨基酸评分(AAS)、比值系数(RC)、化学评分(CS)及必需氨基酸指数(EAAI)、必需氨基酸比值系数分(SRC)及功能性氨基酸含量进行了比较分析。结果表明:随海拔的升高,除苯丙氨酸+酪氨酸外,高节竹笋其他种类必需氨基酸含量及EAAI、SRC、AAS、RC和CS均呈减小趋势,但对竹笋蛋白质含量并无显著影响。高节竹笋必需氨基酸含量相对不足,苏氨酸为高节竹笋第一限制氨基酸。发现不同海拔的高节竹笋蛋白质营养价值存在较明显的差异。其中,低海拔的高节竹笋在氨基酸营养价值、利用率、平衡程度以及与模式氨基酸的接近程度等方面相对较好,即蛋白质营养价值较高。

**关键词:**高节竹;竹笋品质;海拔;蛋白质

中图分类号:S644.2 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2019)02-0308-08

## The Effect of Altitude on the Protein Nutritional Value of *Phyllostachys prominens* Bamboo Shoots

SHI Jun-shuai, GU Rui, CHEN Shuang-lin\*, ZHANG Chao, GUO Zi-wu

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China)

**Abstract:** Altitude is a comprehensive reflection of many environmental factors, which has important effects on bamboo growth and bamboo shoot quality. In order to reveal the effect of altitude on the nutritional quality of *Phyllostachys prominens* bamboo shoots and provide reference for the cultivation of high quality bamboo shoots, the contents of protein and essential amino acids in bamboo shoots exposed to about 10 cm from three altitudinal gradients (110, 370, 560 m) were investigated. The content of essential amino acids (mg/g Pro) and functional amino acids, AAS, RC, CS, EAAI, SRC of the bamboo shoots from three altitudinal gradients were compared. The result showed that with increasing elevation gradient, except for Phe + Tyr, the content of other essential amino acids in the bamboo shoots, EAAI and SRC, AAS, RC and CS reduced gradually, but there was no sig-

收稿日期: 2018-10-24 修回日期: 2018-11-07

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题(2016YFD0600903)和中央财政林业科技推广示范资金项目(2015TS09)

Project supported by the “NO. 15” National Key Research and Development Program of China (2016YFD0600903) and Central Finance Forestry Science and Technology Extension Demonstration Fund Project (2015TS09)

作者简介: 时俊帅(1993—), 男, 硕士生, 主要从事竹林生态与培育研究; \*通信作者: 陈双林, 研究员, 博士, cslbamboo@126.com。

nificant effect on the protein contents in the bamboo shoots. The content of essential amino acids in the bamboo shoots was relatively low, and threonine was the first limiting amino acid of bamboo shoots. There were obvious differences in the protein nutritional value of the bamboo shoots at different altitudes. The bamboo shoots from low altitude were relatively better in the amino acid nutritional value, utilization rate, amino acid balance, and the approximation to model amino acids. That is, bamboo shoots from low altitude has the higher quality for protein nutrition.

**Keywords:** *Phyllostachys prominens*; bamboo shoot quality; altitude; protein

蛋白质作为三大营养物质之一,其营养价值取决于两方面,一个是总蛋白质含量,一个是蛋白质中必需氨基酸组成的平衡程度。氨基酸作为构成蛋白质的基本单位,其含量以及各类氨基酸之间的比例具有重要的现实意义。植物蛋白质营养价值除了存在品种间差异外<sup>[1]</sup>,也与生长的环境条件密切相关。温度、水分、光照等作为最主要的生态因子,必然会对植物蛋白质营养价值产生重要的影响。已有研究表明,高温不利于稻米蛋白质和氨基酸的形成,而弱光则有利于稻米形成过程中的氨基酸积累<sup>[2]</sup>。烟草(*Nicotiana tabacum* L.)叶片中游离氨基酸含量随温度变化而变化,但不同种类氨基酸变化规律不同<sup>[3]</sup>。海拔是多个环境因子的综合反映,随着海拔的升高,光照增强、温度降低、空气湿度和降水量增加,土壤理化性质也会发生明显变化,进而会对植物的分布、生长、生物量分配以及生理代谢产生极大的影响<sup>[4]</sup>。有研究表明,海拔对植物蛋白质营养价值也有较大的影响,开发植物的不同功能氨基酸其适宜种植的海拔条件并不一样。如在四川省宝兴县对菊花(*Chrysanthemum morifolium* Rama)研究发现,以FAO/WHO氨基酸模式谱和易于消化利用的蛋白质为标准,适宜于2 219.2 m左右海拔种植;以FAO/WHO提出的理想蛋白质为标准,适宜于2 329.3 m左右海拔种植;而以味觉和功能性氨基酸为开发目标,则在2 598.7 m左右海拔种植最适宜<sup>[5]</sup>。高海拔有利于缺苞箭竹(*Fargesia denudata*)各器官粗蛋白和氨基酸的积累<sup>[6]</sup>。

竹笋是一种纯天然绿色食品,是我国广大群众喜爱的森林蔬菜,其营养品质主要取决于竹种自身的遗传因素<sup>[7]</sup>,也与环境因素和人工栽培措施密切相关<sup>[8-9]</sup>。随着社会经济的快速发展,人们对竹笋品质的要求越来越高,高品质竹笋培育是今后的研究与发展方向。高节竹(*Phyllostachys Prominens* W. Y. Xiong)隶属禾本科(*Graminales*)竹亚科(*Bambusoideae*)刚竹属(*Phyllostachys* Sieb. et Zucc.),具有竹笋产量高、品质佳、加工性能好等特点。目前主要集中于高节竹丰产栽培<sup>[10]</sup>、病虫害防治<sup>[11-12]</sup>和竹笋保鲜<sup>[13]</sup>等方面研究,针对高节竹笋品质改良,也开展了覆土控鞭栽培<sup>[14-15]</sup>和套袋栽培<sup>[16]</sup>等研究。鉴于海拔对竹笋必需氨基酸和蛋白质营养价值影响研究还未见报道。本研究根据高节竹在自然分布区中垂向分布区间较大,高低海拔环境差异较大的特点,选取了经营措施和经营水平基本一致的3个海拔高度的高节竹试验林,分别采集露土10 cm左右的竹笋测定蛋白质和必需氨基酸含量及其组分,分析不同海拔高度高节竹笋必需氨基酸含量及其评分(AAS)、比值系数(RC)、化学评分(CS)、指数(EAAI)、比值系数分(SRC)和功能性氨基酸含量等的差异,探讨有利于高节竹笋蛋白质营养价值形成的海拔高度,为高节竹高品质竹笋培育提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于浙江省桐庐县(29°35' ~ 30°05'N, 119°11' ~ 119°58'E)莪山乡,属亚热带季风气候,日照充足,降水充沛,一年四季光、温、水基本同步增减。年平均气温16.6℃,极端高温41.7℃,极端低温-9.5℃,全年≥10℃的平均积温5 262℃,年平均无霜期252 d,年平均降水量1 552 mm,年平均相对湿度81%。以丘陵山地为主,土壤主要为红壤,土层厚度80 cm以上。当地高节竹资源丰富,全乡有高节竹林面积0.14万hm<sup>2</sup>,是浙江省“高节竹之乡”。试验地高节竹林主要经营措施为留笋养竹和季节性伐竹的林分结构调控,出笋期和孕笋期的施肥以及夏季的林地清理,经营相对粗放。

### 1.2 试验方法

2017年5月上旬,在试验地选择立地条件、经营措施和经营水平基本一致的3个海拔高度的高节竹

林,海拔高度分别为(110±10),(370±10),(560±10) m。每个海拔高度高节竹试验林面积不少于0.4 hm<sup>2</sup>。在每个海拔高度试验高节竹林中分别设置 10 m×10 m 样地 3 个,在每个海拔高度的高节竹林的各个样地中随机完整地挖取露土 10 cm 左右高度的样笋各 5 株,共 45 株,装入自封袋,并做好标记,放入冰盒带回实验室。用自来水冲洗笋体上的泥土,再剥除笋壳,切除不可食的笋壳,再用粉碎机粉碎,测定竹笋蛋白质和游离氨基酸含量。蛋白质含量测定采用凯氏定氮法<sup>[17]</sup>,游离氨基酸含量测定采用 L-8900 氨基酸分析仪(日立)<sup>[18]</sup>。重复测定 3 次。

### 1.3 数据处理与统计分析

试验数据在 Excel 2003 统计软件中进行整理和图表制作,在 SPSS 22.0 统计软件中对 3 个海拔高度的高节竹笋蛋白质和必需氨基酸含量及比例、功能性氨基酸含量及评价指标等进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Tukey 检验。

根据 FAO/WHO 1973 年建议的每克蛋白质氨基酸评分标准模式和鸡蛋蛋白质模式进行高节竹笋蛋白质营养价值评定(FAO/WHO, 1973)(表 1)。分别用公式(1)~(5)计算竹笋蛋白质的必需氨基酸评分(AAS)、比值系数(RC)、化学评分(CS)及必需氨基酸指数(EAAI)、比值系数分(SRC)等。

$$AAS = \frac{\text{待测蛋白质中某一必需氨基酸含量} [\text{mg} \cdot (\text{g pro})^{-1}]}{\text{FAO/WHO 模式中相应必需氨基酸含量} [\text{mg} \cdot (\text{g pro})^{-1}]} \times 100 \quad (1)$$

$$RC = \frac{AAS}{AAS \text{ 均值}} \quad (2)$$

$$CS = \frac{\text{待测蛋白质中某一必需氨基酸含量} [\text{mg} \cdot (\text{g pro})^{-1}]}{\text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量} [\text{mg} \cdot (\text{g pro})^{-1}]} \times 100 \quad (3)$$

$$EAAI = [\text{苏氨酸}(t)/\text{苏氨酸}(s) \times \text{赖氨酸}(t)/\text{赖氨酸}(s) \cdots \times \text{缬氨酸}(t)/\text{缬氨酸}(s) \times 100^n]^{1/n} \quad (4)$$

(4)式中, $n$ 为比较的必需氨基酸数; $t$ 为待测样品必需氨基酸含量(mg/g pro); $s$ 为鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量(mg/g pro)。

$$SRC = 100 - CV \cdot 100 \quad (5)$$

式中, $CV$ 为  $RC$  的变异系数。

表 1 蛋白质氨基酸模式<sup>[19]</sup>  
Tab.1 Protein amino acid patterns

	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Iso	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Tyr	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr
FAO/WHO 模式/[mg·(g pro) <sup>-1</sup> ] FAO/WHO mode	40	50	40	70	55	35	65
鸡蛋模式/[mg·(g pro) <sup>-1</sup> ] Egg mode	47	66	54	86	70	57	93

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海拔高度高节竹笋蛋白质和必需氨基酸含量

由表 2 可知,随海拔的升高,高节竹笋蛋白质含量呈增大趋势,但 3 个海拔高度竹笋间无显著差异。除苯丙氨酸+酪氨酸外,竹笋其他必需氨基酸含量和必需氨基酸总量均呈减小趋势,其含量均以低海拔竹笋最高,高海拔竹笋最低;苯丙氨酸+酪氨酸含量呈先增大后减小趋势。其中,竹笋苏氨酸、亮氨酸含量以及必需氨基酸总量低海拔竹笋均显著大于高海拔竹笋,但与中海拔竹笋均无显著差异;含硫氨基酸(蛋氨酸+胱氨酸)、赖氨酸含量中、高海拔竹笋间无显著差异,但均显著小于低海拔竹笋;苯丙氨酸+酪氨酸含量低海拔、高海拔竹笋间无显著差异,但均显著小于中海拔竹笋,缬氨酸、异亮氨酸含量 3 个海拔高度竹笋间均无显著差异。可见,海拔对高节竹笋必需氨基酸含量有较大的影响,其中,赖氨酸、蛋氨酸+胱氨酸和苏氨酸 3 个海拔高度竹笋蛋白质含量和必需氨基酸含量之间的变异系数以蛋白质和苏氨酸最大(18.4%~18.6%),其次为赖氨酸(16.4%),最小为异亮氨酸(9.8%)。

表2 不同海拔高度高节竹笋蛋白质(mg/g)和必需氨基酸含量(mg/g pro)  
Tab.2 The contents and variation coefficient of proteins and essential amino acids in *Phyllostachys prominens* shoots at different altitudes

海拔/m Altitude	蛋白质 Protein	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Iso	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Tyr	蛋氨酸+ 胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+ 酪氨酸 Phe+Tyr	必需氨基酸总量 Essential amino acids
110	25.03±2.97 <sup>a</sup>	12.95±0.50 <sup>a</sup>	17.78±0.42 <sup>a</sup>	13.87±0.54 <sup>a</sup>	24.29±0.25 <sup>a</sup>	26.17±0.57 <sup>a</sup>	13.01±0.42 <sup>a</sup>	63.32±11.43 <sup>b</sup>	171.40±12.73 <sup>a</sup>
370	25.67±0.12 <sup>a</sup>	9.89±2.17 <sup>ab</sup>	16.52±3.52 <sup>a</sup>	12.48±2.43 <sup>a</sup>	19.89±3.61 <sup>ab</sup>	19.96±3.39 <sup>b</sup>	11.11±1.00 <sup>b</sup>	80.97±2.82 <sup>a</sup>	170.82±18.01 <sup>ab</sup>
560	27.43±3.55 <sup>a</sup>	9.21±0.20 <sup>b</sup>	13.67±1.29 <sup>a</sup>	11.40±0.91 <sup>a</sup>	17.82±0.46 <sup>b</sup>	19.90±0.98 <sup>b</sup>	10.40±0.58 <sup>b</sup>	66.80±6.77 <sup>b</sup>	149.20±7.09 <sup>b</sup>
变异系数/% Variation coefficient	18.6	18.4	13.2	9.8	16.0	16.4	11.7	13.3	7.7

试验数据均为平均值±标准误,下同;同列比较,不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同

The test data are mean ± standard error; same column comparison, different small letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ), the same is below

## 2.2 不同海拔高度高节竹笋必需氨基酸评分(AAS)

由表3可知,除苯丙氨酸+酪氨酸外,其他种类氨基酸AAS以及氨基酸总评分呈随海拔升高而减小的趋势。苯丙氨酸+酪氨酸AAS呈先增大后减小趋势,以中海拔最大,低海拔最小。苯丙氨酸+酪氨酸以外的其他种类必需氨基酸AAS分布在23.03~47.59,均低于标准蛋白氨基酸组分,以苏氨酸评分最低。

表3 不同海拔高节竹笋必需氨基酸评分(AAS)

Tab.3 The scores of essential amino acids in *Phyllostachys prominens* shoots at different altitudes

海拔/m Altitude	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Iso	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Tyr	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+ 酪氨酸 Phe+Tyr	氨基酸总评分 The total scores of es- sential amino acids
110	32.37	35.55	34.68	34.71	47.59	37.18	105.54	32.37
370	24.72	33.05	31.21	28.42	36.28	31.73	134.95	24.72
560	23.03	27.34	28.50	25.45	36.18	29.72	111.33	23.03

## 2.3 不同海拔高度高节竹笋必需氨基酸比值系数(RC)

由表4可知,随海拔的升高,除苯丙氨酸+酪氨酸外,其他种类必需氨基酸RC呈减小趋势,均以低海拔最大,高海拔最小。苯丙氨酸+酪氨酸RC呈先增大后减小趋势,以中海拔竹笋最大,低海拔竹笋最小。与FAO/WHO标准模式相比,高节竹笋苯丙氨酸+酪氨酸相对过剩,RC为2.14~2.74,其他必需氨基酸相对不足,RC为0.49~0.82。只有低海拔竹笋赖氨酸相对均衡,RC为1.08。根据强化后的氨基酸含量=食物中氨基酸含量(mg/g)/RC分析,低、中、高海拔高节竹笋限制氨基酸的强化量分别为0.47,0.48,0.51 mg/g,呈增大趋势。

## 2.4 不同海拔高度高节竹笋必需氨基酸化学评分(CS)

由表5可知,随海拔的升高,高节竹笋苯丙氨酸+酪氨酸化学评分CS呈先增大后减小趋势,以中海拔

表4 不同海拔高节竹笋必需氨基酸比值系数(RC)和限制氨基酸强化量

Tab.4 Amino acids ratio coefficients of *Phyllostachys prominens* shoots at different altitudes

海拔/m Altitude	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Iso	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Tyr	蛋氨酸+ 胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+ 酪氨酸 Phe+Tyr	限制氨基酸强化量/ (mg·g <sup>-1</sup> ) Limiting amino acid reinforcement
110	0.69	0.78	0.76	0.76	1.08	0.82	2.14	0.47
370	0.53	0.73	0.69	0.62	0.80	0.70	2.74	0.48
560	0.49	0.60	0.63	0.56	0.79	0.65	2.26	0.51

竹笋最大,低海拔竹笋最小。而其他必需氨基酸CS和总评分呈减小趋势,均以低海拔竹笋最大,高海拔竹笋最小。苯丙氨酸+酪氨酸CS为68.09~87.06,与标准蛋白较接近,而其他种类必需氨基酸CS为18.25~37.39,均远小于100,也就是说高节竹笋必需氨基酸含量相对不足。

表5 不同海拔高节竹笋必需氨基酸化学评分(CS)

海拔/m Altitude	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Iso	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Tyr	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	总评分 Total score
110	27.55	26.94	25.69	28.25	37.39	22.83	68.09	22.83
370	21.04	25.04	23.12	23.13	28.51	19.48	87.06	19.48
560	19.60	20.72	21.11	20.72	28.43	18.25	71.82	18.25

## 2.5 不同海拔高度高节竹笋必需氨基酸指数和比值系数分

由表6可知,随海拔的升高,EAAI呈减小趋势,以低海拔最大,高海拔最小。SRC呈先减小后增大趋势,以低海拔最大,中海拔最小。低海拔竹笋SRC(49.4)远大于中、高海拔竹笋。

表6 不同海拔高节竹笋蛋白质必需氨基酸指数(EAAI)和比值系数分(SRC)

海拔/m Altitude	必需氨基酸指数 Essential amino acids index	比值系数分 Score of ratio coefficients
110	31.58	49.4
370	28.04	21.6
560	25.29	37.3

## 2.6 不同海拔高度高节竹笋蛋白质功能性氨基酸含量

由表7可知,除色氨酸未检测出外,不同海拔高度高节竹笋均含有其他种类功能性氨基酸。随海拔的升高,各功能性氨基酸含量和功能性氨基酸总量均呈减小趋势。除谷氨酸外,低海拔和高海拔之间的竹笋蛋白质功能性氨基酸含量差异达5%显著水平。由此可见,低海拔高节竹笋蛋白质所含功能性氨基酸含量和价值相对较高。

表7 不同海拔高节竹笋蛋白质功能性氨基酸含量

海拔/m Altitudes	精氨酸 Arginine	谷氨酸 Glutamic acid	亮氨酸 Leucine	甘氨酸 Glycine	脯氨酸 Proline	功能性氨基酸 Functional amino acids
110	2.33±0.08 <sup>a</sup>	0.25±0.04 <sup>a</sup>	2.43±0.02 <sup>a</sup>	0.72±0.04 <sup>a</sup>	0.91±0.11 <sup>a</sup>	6.64±0.17 <sup>a</sup>
370	1.92±0.31 <sup>ab</sup>	0.19±0.08 <sup>a</sup>	1.99±0.36 <sup>ab</sup>	0.56±0.06 <sup>b</sup>	0.90±0.18 <sup>ab</sup>	5.56±0.94 <sup>ab</sup>
560	1.82±0.08 <sup>b</sup>	0.18±0.03 <sup>a</sup>	1.78±0.05 <sup>b</sup>	0.51±0.01 <sup>b</sup>	0.74±0.04 <sup>b</sup>	5.03±0.10 <sup>b</sup>

## 3 讨论

本研究中,海拔对苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸+胱氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸以及必需氨基酸总量均有明显影响,而对蛋白质、缬氨酸和异亮氨酸含量没有明显影响,可见,总体上海拔对高节竹笋必需氨基酸含量有较大的影响。除苯丙氨酸+酪氨酸外,其他必需氨基酸含量以及必需氨基酸总量均以低海拔竹笋最大,从必需氨基酸含量分析,以低海拔竹笋相对较好。

AAS值越接近100,与评分模式氨基酸组成越接近,蛋白质营养价值就越高<sup>[20]</sup>。随海拔的升高,除苯丙氨酸+酪氨酸外,其他种类必需氨基酸AAS均呈减小趋势,均以低海拔竹笋最高,高海拔竹笋最低。氨基酸总评分也以低海拔竹笋最高,说明低海拔竹笋蛋白质营养价值明显优于中、高海拔竹笋。低、高海

拔竹笋苯丙氨酸+酪氨酸 AAS 与标准蛋白组分比例最接近,而中海拔苯丙氨酸+酪氨酸 AAS 明显大于标准蛋白组分比例,也会影响高节竹笋蛋白质的营养价值。其他种类必需氨基酸 AAS 均低于标准蛋白氨基酸组分,以苏氨酸评分最低,这表明高节竹笋必需氨基酸含量总体上相对不足。现代营养学更多地强调蛋白质的氨基酸平衡,必需氨基酸含量的不足或者过剩都会降低蛋白质的营养价值,如大量的蛋氨酸和赖氨酸可使脑中异亮氨酸、亮氨酸及精氨酸耗竭<sup>[21]</sup>。

氨基酸比值系数  $RC$  是与模式氨基酸相当量的一份食物氨基酸的比值。如果食物中氨基酸组成与氨基酸模式一致,则各氨基酸比值系数都应等于 1。若  $RC > 1$ , 表明该氨基酸相对过剩;若  $RC < 1$ , 则表明该必需氨基酸相对不足,其中,  $RC$  最小者为第一限制性氨基酸<sup>[22]</sup>。不同海拔高度高节竹笋的苏氨酸  $RC$  均为最小,因此苏氨酸为试验高节竹林竹笋的第一限制氨基酸。与中、高海拔竹笋相比,低海拔竹笋各必需氨基酸  $RC$  更接近 1, 也说明其必需氨基酸之间更加均衡,营养价值更高。必需氨基酸化学评分 ( $CS$ ) 对蛋白质营养质量进行化学评分是“理论上最好的化学方法”<sup>[23]</sup>。一般认为,鸡蛋蛋白质中所含必需氨基酸比例最接近人体需要,在人体内近 100% 可被利用。本研究中,除苯丙氨酸+酪氨酸  $CS$  与标准蛋白较接近,其他种类必需氨基酸  $CS$  均远小于 100, 故高节竹笋必需氨基酸与标准蛋白相比显得相对不足,但也是以低海拔竹笋相对较好。

竹笋中必需氨基酸含量以及它们之间的相互比例是决定蛋白质营养价值的重要因素<sup>[24-26]</sup>。生物价 ( $BV$ ) 是食物蛋白质经消化吸收后在体内被利用的氮量占被吸收氮量的百分率,表示其消化吸收后的利用程度。必需氨基酸指数 ( $EAAI$ ) 越大,蛋白质中氨基酸组成越平衡,蛋白质的质量和利用率越高。而且,  $EAAI$  与  $BV$  存在特定的正比关系<sup>[27]</sup>, 可以用  $EAAI$  反映蛋白质消化利用率。本研究中,随海拔的升高,高节竹笋  $EAAI$  呈减小趋势,  $SRC$  也是以低海拔竹笋最大,说明在蛋白质的质量、利用率以及蛋白质的氨基酸平衡方面,低海拔竹笋蛋白质营养价值最高。功能性氨基酸是指除了合成蛋白质外还具有其他特殊功能的氨基酸,不仅对人和动物的正常生长及维持是必需的,而且对多种生物活性物质的合成也是必需的<sup>[28]</sup>,具体包括色氨酸、精氨酸、谷氨酰胺(可在人体内由谷氨酸合成)、亮氨酸、甘氨酸和脯氨酸等<sup>[29]</sup>。本研究中,蛋白质各功能性氨基酸含量均以低海拔竹笋最大,高海拔竹笋最小。可见,从功能性氨基酸分析,也是以低海拔竹笋最优。

## 4 结论

除色氨酸外,不同海拔高度高节竹笋均检测到 7 种人体必需氨基酸(赖氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸)。海拔对高节竹笋蛋白质含量并无显著影响,但对竹笋必需氨基酸含量及其组分有较为明显的影响。随海拔的升高,高节竹笋各种必需氨基酸含量和必需氨基酸评分 ( $AAS$ )、比值系数 ( $RS$ )、化学评分 ( $CS$ ) 以及必需氨基酸指数 ( $EAAI$ )、比值系数分 ( $SRC$ ) 与功能性氨基酸含量总体上均呈减小趋势。而且除苯丙氨酸+酪氨酸  $CS$  与标准蛋白较接近,其他种类必需氨基酸  $CS$  均远小于 100, 也即高节竹笋必需氨基酸含量总体上相对不足,其中,苏氨酸为第一限制氨基酸。研究表明,在试验区,低海拔的高节竹笋在氨基酸营养价值、利用率、平衡程度以及与模式氨基酸的接近程度等相对较好,说明低海拔环境条件有利于提高高节竹笋蛋白质营养价值,适宜于高品质竹笋培育。

### 参考文献:

- [1] 徐菲,党斌,杨希娟,等.不同青稞品种的营养品质评价[J].麦类作物学报,2016,36(9):1249-1257.  
Xu F, Dang B, Yang X J, et al. Evaluation of nutritional quality of different Hulled Barleys [J]. J. Triticeae Crops, 2016, 36 (9): 1249-1257.
- [2] 周广洽,徐孟亮,李训贞.温光对稻米蛋白质及氨基酸含量的影响[J].生态学报,1997,17(5):537-542.  
Zhou G Q, Xu M L, Li X Z. Effects of ecological factors of protein and amino acids of rice [J]. Acta Ecol Sin, 1997, 17(5): 537-542.
- [3] 黎旺姐.不同生长温度和施氮量对烟草叶片中游离氨基酸含量及其代谢的效应[D].昆明:云南师范大学,2016.  
Li W J. Effects of different growth temperature and nitrogen fertilization on amino acid content and its metabolism in tobacco leaves [D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2016.

- [4] 陈双林. 海拔对毛竹林结构及生理生态学特性的影响研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.  
Chen S L. Study on effects on altitude on the structure physioecological characteristics of Moso bamboo forest [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [5] 曾羽, 陈兴福, 张玉, 等. 不同海拔菊花氨基酸组分分析及营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(4): 190-194.  
Zeng Y, Chen X F, Zhang Y, et al. Analysis of amino acid composition and nutritional value of chrysanthemums at different altitudes [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(4): 190-194.
- [6] 王丹林, 郭庆学, 王小蓉, 等. 海拔对岷山大熊猫主食竹营养成分和氨基酸含量的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 155-162.  
Wang D L, Guo Q X, Wang X R, et al. Effects of different altitudes on the nutrient and amino acid contents of bamboo (*Fargesia denudata*), staple food of the giant panda, in Minshan, Sichuan, China [J]. Acta Ecol Sin, 2017, 37(19): 155-162.
- [7] 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.
- [8] 朱元洪, 洪顺山. 施肥和土壤养分对毛竹笋营养成分的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 40-49.  
Zhu Y H, Hong S S. The effect of fertilization and soil fertility on the nutritive composition of bamboo (*Phyllostachys pubescense*) shoot [J]. Acta Pedol Sin, 1991, 28(1): 40-49.
- [9] 林海萍, 姜培坤, 范良敏. 不同经营措施对雷竹笋的营养品质效应[J]. 竹子学报, 2004, 23(1): 21-23.  
Lin H P, Jiang P K, Fan L M. The affection of the cultivation ways on the quality of the *Phyllostachys praecox* f. *prevelnalis* shoots [J]. J Bamb Res, 2004, 23(1): 21-23.
- [10] 方伟, 杨德清, 马志华, 等. 高节竹笋用林培育技术及经济效益分析[J]. 竹子研究汇刊, 1998, 17(3): 15-20.  
Fang, W, Yang D Q, Ma Z H, et al. The cultivation technique and economic benefit analysis of shoot stand of *Phyllostachys prominens* [J]. J Bamb Res, 1998, 17(3): 15-20.
- [11] 胡国良, 俞彩珠, 楼君芳, 等. 高节竹梢枯病发生规律及防治试验[J]. 中国森林病虫, 2005, 24(5): 38-41.  
Hu G L, Yu C Z, Lou J F, et al. Occurrence regularity and control experiment of shoot wilt in *Phyllostachys prominens* [J]. For Pest & Dis, 2005, 24(5): 38-41.
- [12] 张稼敏. 高节竹丛枝病研究初报[J]. 浙江林业科技, 2000, 20(5): 38-53.  
Zhang J M. Preliminary report of research on balsania take endangering *Phyllostachys prominens* [J]. J Zhejiang For Sci Technol, 2000, 20(5): 38-53.
- [13] 余学军, 陈庆虎, 吴家森, 等. 保鲜处理对高节竹笋采后生理的影响[J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(1): 46-48.  
Yu X J, Chen Q H, Wu J S, et al. The effects of different fresh-keeping treatments on post harvest physiology and storage of bamboo shoots in *Phyllostachys prominens* [J]. J Bamb Res, 2004, 23(1): 46-48.
- [14] 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.
- [15] 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]. J Zhejiang For Sci Technol, 2015, 35(2): 54-57.
- [16] 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]. J Zhejiang For Sci Technol, 2011, 31(1): 64-67.
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.5-2010 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, 2010.  
Ministry of Health of the People's Republic of China. GB/T 5009.5-2010 national standards for food safety determination of protein in food [S]. Beijing: China Standards Press, 2010.
- [18] 莫润宏, 汤富彬, 丁明, 等. 氨基酸分析仪法测定竹笋中游离氨基酸[J]. 化学通报, 2012, 75(12): 1126-1131.  
Mo R H, Tang F B, Ding M, et al. Determination of free amino acids in bamboo shoot by amino acids analyzer [J]. Chemistry, 2012, 75(12): 1127-1131.
- [19] FAO/WHO. Energy and protein requirements [R]. FAO, Roma: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973: 52-63.

- [20] 姜萍萍,韩焯,顾赛红,等.五种食用菌氨基酸含量的测定及营养评价[J].氨基酸和生物资源,2009,31(2):67-71.  
Jiang P P, Han Y, Sai G H, et al. Determination of amino acids in five edible fungi and their nutritional evaluation[J]. Amino Acids & Biotic Resources, 2009, 31(2): 67-71.
- [21] 金茜,令狐金卿,李华刚,等.不同基质培养下秀珍菇中蛋白质营养价值评价[J].食品科技,2017,42(3):79-83.  
Jin Q, Ling H J Q, Li H G, et al. Nutritive evaluation of *Pleurotus geesteranus* cultivated by different base[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(3): 79-83.
- [22] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988,10(2):187-190.  
Zhu S T, Wu K. Evaluation of protein nutritional value-amino acids ratio coefficients [J]. Acta Nutri Sin, 1988, 10(2): 187-190.
- [23] 陈学存.应用营养学[M].北京:人民卫生出版社,1984:8-14.  
Chen X C. Applied Nutrition[M]. Beijing: People's Health Publishing House, 1984: 8-14.
- [24] 郑小江,向东山,翟琨.甜味胶蓝叶片中氨基酸含量及组成分析与评价[J].安徽农业科学,2009,37(35):17491-17492.  
Zheng X J, Xu X D, Zhai K. Evaluation and analysis for content of amino acid in Sweet *Gynostemma pentaphyllum* Makino [J]. J Anhui Agric Sci, 2009, 37(35): 17491-17492.
- [25] 王曙光,普晓兰,丁雨龙,等.云南箭竹不同地理种源竹笋营养成分之比较[J].竹子学报,2009,28(1):35-38.  
Wang S G, Pu X L, Ding Y L, et al. Comparison of bamboo shoot nutrients of *Fargesia yunnanensis* among different provenances[J]. J Bamb Res, 2009, 28(1): 35-38.
- [26] 刘力,林新春,叶丽敏.雷竹不同栽培类型竹笋的蛋白质组成[J].浙江农林大学学报,2001,18(3):271-273.  
Liu L, Lin X C, Ye L M. Components of proteins in shoots of various cultivars of *Phyllostachys praecox* [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2001, 18(3): 271-273.
- [27] 颜孙安,姚清华,林香信,等.氨基酸营养价值评价方法的研究[J].食品科技,2012,37(4):286-290.  
Yan S A, Yao Q H, Lin X X, et al. Evaluation method of amino acid nutrition [J]. Food Sci and Techno, 2012, 37(4): 286-290.
- [28] 曾羽,陈兴福,张玉,等.不同海拔菊花氨基酸组分分析及营养价值评价[J].食品与发酵工业,2014,40(4):190-194.  
Zeng Y, Chen X F, Zhang Y, et al. Analysis of amino acid composition and nutritional value of chrysanthemums at different altitudes[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(4): 190-194.
- [29] 孔祥峰,印遇龙,伍国耀.猪功能性氨基酸营养研究进展[J].动物营养学报,2009,21(1):1-7.  
Kong X F, Yin Y L, Wu G Y. Research advances in functional amino acid nutrition of pigs [J]. Chin J Ani Nut, 2009, 21(1): 1-7.