

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2021. 03. 022

麻竹幼笋不同生长发育时期碳水化合物和 氨基酸含量变化研究*

刘松, 凡莉莉, 曾铭, 李汉一, 荣俊冬, 郑郁善, 陈礼光
(福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

摘要: 为了探究麻竹笋不同生长时期笋中碳水化合物和氨基酸含量的动态变化规律, 对 4 个不同生长时期麻竹幼笋纤维素、淀粉、可溶性糖、还原糖等碳水化合物及氨基酸含量进行测定, 经差异显著性检验及相关分析, 结果发现: (1) 随着麻竹幼笋生长发育, 纤维素的含量增加, 在快速生长时期 (D 时期) 表现最高 (46. 32 mg/g), 其含量比萌动期 (A 时期) 上升了 17. 06% ($P < 0. 01$)。 (2) 淀粉含量在幼笋萌发期 (B 时期) 表现最高 (3. 38 mg/g), A 时期最低 (2. 19 mg/g), 与 A 时期相比, B 时期显著升高 4. 3% ($P < 0. 01$)。 (3) 可溶性糖和还原糖含量呈先降低后升高的变化趋势, 二者呈现显著正相关关系 ($P < 0. 05$)。 A 时期可溶性糖含量最高 (3. 05 mg/g), B 时期含量最低, 与 A 时期相比可溶性糖含量降低了 66. 89% ($P < 0. 01$)。 可溶性糖与淀粉含量呈极显著负相关关系。 (4) 在各个生长时期, 麻竹幼笋中氨基酸种类都较齐全, 但含量差异较大, 以脯氨酸最多, 缬氨酸最少, 氨基酸总量在幼笋萌动期 (A 时期) 最多, 必需氨基酸在幼笋萌发时期 (B 时期) 最多。 由此可得: 在幼笋期, 纤维素含量随着时间的推移其含量越来越高, 可溶性糖、还原糖含量从 B 时期到 D 时期逐渐升高, 淀粉含量总体趋势升高并在 B 时期到 D 时期时其含量趋于稳定。 因此, 仅考虑食用口感和碳水化合物含量, C 时期 (生长期) 为最佳采笋时期, 如果综合考虑笋体内碳水化合物含量和经济效益来说, C 时期 (生长期) 与 D 时期 (快速生长时期) 之间的过渡期最适合采摘竹笋。

关键词: 麻竹; 竹笋; 碳水化合物; 氨基酸; 相关性量

中图分类号: S 795. 5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2021) 03-0157-08

The Changes of Carbohydrates and Amino Acids in *Dendrocalamus latiflorus* Shoots at Different Development Stages

LIU Song, FAN Li-li, ZENG Ming, LI Han-yi, RONG Jun-dong, ZHENG Yu-shan, CHEN Li-guang
(College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, P. R. China)

Abstract: To investigate the dynamic changes in carbohydrate and amino acid contents in bamboo shoots at various development stages, we estimated the contents of the carbohydrates and amino acid of cellulose, starch, soluble sugar, reducing sugar, and other carbohydrates and amino acids in bamboo shoots and differentiated using a significance test and correlation analysis. The results showed that: (1) Compared to the sprouting period (period A), With the growth and development of young bamboo shoots, the contents of cellulose increased, and the highest values (46. 32 mg/g) during the rapid growth period (period D), and increased significantly by 17. 06% ($P < 0. 01$). (2) Starch contents were the highest during the young shoot germination period (period B) (3. 38 mg/g), whereas the lowest in period A (2. 19 mg/g). Compared with the period A, the period B had a significant ($P < 0. 01$) increase of 4. 3%.

* 收稿日期: 2021-01-22

基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (2018YFD0600100), 福建省科技创新团队“环境友好型竹资源精准培育与利用”项目 (闽教科 2018 [49] 号), 福建农林大学科技创新基金 (CXZX2019047)。

第一作者简介: 刘松 (1992—), 男, 硕士研究生, 主要从事竹子栽培、植物地理研究。E-mail: 759645410@qq.com

通信作者简介: 陈礼光 (1974—), 男, 副教授, 主要从事森林培育学研究。E-mail: fjclg@qq.com

(3) The content of soluble sugar and reducing sugar showed a trend of first decreasing and then increasing, which showed a significant positive correlation ($P < 0.05$). During the period A, the soluble sugar contents were the highest (3.05 mg/g), and the lowest in the period B. Relative to period A, of soluble sugar contents reduced significantly by 66.89% ($P < 0.01$). Both the soluble sugar and starch contents had a significant ($P < 0.01$) negative correlation.

(4) In each growth period, the types of amino acids in the young bamboo shoots were relatively complete, while The content varies greatly, where the contents of Proline were the highest and the content of Valine was lowest. The total amount of amino acids was the highest in the period A of the young shoots. Essential amino acids were highest in the period B. In the young shoot stage, the content of cellulose gradually increased, whereas the contents of soluble sugar and reducing sugar decreased from the period B to the period D. However, the overall trend of starch contents increased during the period B. Its content tends to be stable from period B to period D. Therefore, concerning the food taste and carbohydrate contents, the growth period (period C) was the best bamboo shoot picking period. If considering the carbohydrate contents in the bamboo shoots and the economic benefits comprehensively, the period C and period D was most suitable time for picking.

Key words: *Dendrocalamus latiflorus*; bamboo shoots; carbohydrate; amino acid; correlation

竹笋是竹亚科类植物的幼芽, 是一种重要的林业资源^[1]; 竹笋的生长周期短和快速发育的特点, 它被认为是生物生产的主要可再生资源^[2]。竹笋味道鲜美, 产量高, 笋期长^[3], 富含碳水化合物、矿质元素、氨基酸和生物活性物质等营养成分^[4], 可预防肥胖和缓解高血压^[5], 是一种健康的天然食品。

竹笋生长期调控与竹笋品质改良是竹笋及相关竹类自然资源可持续利用的研究热点^[6]。笋的品质主要受粗纤维、矿质元素、氨基酸和碳水化合物含量等的影响^[7]。前人研究发现, 麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*)、绿竹 (*Bambusa oldhamii*) 以及勃氏甜龙竹 (*D. brandisii*) 等 17 种丛生竹竹笋的总糖质量分数差异大 (最高为 25%, 而最低仅为 6.3%)、不同种类竹笋间氨基酸的含量差异巨大 (最高与最低相差达到十几倍)^[8]; 毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 冬春季节竹笋不同部位氨基酸共有 17 种, 必需氨基酸占其总氨基酸的 30%^[9]; 不同季节毛竹竹笋体内检测出 17 种氨基酸, 仅有 4 种氨基酸随时间变化显著^[10]; 随着竹龄增长, 毛竹等 5 种竹类其竹笋中营养成分均有减少, 但是膳食纤维和含水量呈迅速增加趋势, 新萌发的笋营养成分明显高于前者, 竹笋生长过程中粗蛋白含量基本呈下降趋势^[11]; 施用有机肥和复合肥后, 竹笋体内氨基酸、单宁以及粗纤维等物质含量增多, 仅使用有机肥可促进竹笋体内粗多糖积累^[12]; 海拔对高节竹 (*P. prominens*) 竹笋的蛋白质、淀粉以及氨基酸等物质含量有着显著影响^[13]; 覆土方式同时影响着绿竹竹笋中水分、可溶性糖及纤维素等

含量差异^[14]。

综上所述, 当前对竹笋品质研究主要集中于不同种类或者处理下笋品质差异变化, 对笋生长阶段品质差异研究较少, 麻竹笋品质与其不同生长时期是否有相关性的研究未见报道。本文对麻竹幼笋不同生长时期还原性糖、可溶性糖、淀粉、纤维素以及氨基酸含量的变化进行测定, 揭示在不同生长时期麻竹笋萌发时体内碳水化合物及氨基酸等物质动态变化规律, 为培育可持续高效麻竹笋用林及麻竹笋品质改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省漳州市南靖县红新村 (24°38'52"N, 117°26'53"E, 海拔 20 m)。从地形地势上来说, 整个南靖县红新村的地势由西北向东南倾斜, 试验样地主要是以丘陵为主的山地, 坡度为 20°~25°。南靖县地处亚热带季风气候, 全年平均气温 21.5 °C, 气候温和; 全年平均日照时数 1 594.1 h; 全年平均降水量 1 319.7 mm, 无霜期, 夏季降雨偏多, 占总降水量的 70%, 降水量 1 700 mm 左右。林业用地大多以山地丘陵为主, 土壤主要为红壤, 土层深厚, 有机质含量较高, 养分丰富^[15]。

1.2 样品采集

试验材料为麻竹不同生长时期的幼笋。根据麻竹幼笋的外部形态^[16]、发育程度、芽基径、芽高度等形态特征, 幼笋可划分为 4 个不同生长时期,

分别是幼笋萌动时期（竹筴笋目）（A时期）、幼笋萌发期（B时期）、幼笋生长期（C时期）以及笋快速生长时期（D时期）。

2020年6月1日起进行第一次采样，然后每隔5 d采样1次，麻竹幼笋每个生长时期都进行采样，采样时间及采样幼笋生长情况见表1。在样地中（山地地形）选取5丛麻竹，选取的麻竹丛自

上而下均匀分布，每丛采3株笋，采笋的位置基本位于同一方向，笋个体的大小基本保持一致；采样时间为4个时期，每一生长时期共15个重复。实验样品为不同时期幼笋的可食用部分，合并成混合样品。将选取的麻竹笋样用冰袋保存，4 h内进行杀青处理（105 ℃，30 min），然后80 ℃烘干至恒重，粉碎备用。

表1 麻竹幼笋不同生长时期特征

Tab. 1 Characteristics of bamboo shoots at different developmental stages

采样时间	处理号	生长时期	基径/cm	高度/cm	形态特征
6月1日	A	萌动期			幼笋大部分埋在土里,整体呈白色
6月6日	B	萌发期	4.65±0.13b	8.21±0.62b	露出地表约5 cm左右,呈浅绿色
6月11日	C	生长期	6.09±0.28b	17.02±1.84b	笋内部逐渐出现中空有节;叶片大
6月16日	D	快速生长时期	11.96±0.33a	61.57±2.08a	露出地表的部分呈深绿色,长椭圆状披针形

注：a和b表示不同时期的显著性，不同字母之间表示显著。

1.3 测定方法

1.3.1 碳水化合物测定

称取麻竹幼笋干样0.5 g，参照蒽酮检测法^[17]在620 nm波长处对可溶性糖、淀粉和纤维素进行吸光度检测及含量计算；参照3,5-二硝基水杨酸检测法^[18]在540 nm处对还原糖进行吸光度检测及含量计算。

1.3.2 氨基酸含量测定

取干燥笋末0.1 g，加入10 mL的6 mol/L HCl溶液，110 ℃烘箱内水解24 h，冷却，用纯水定容至50 mL；0.45 μm膜过滤，吸取200 μL已经过滤后的液体于大口离心管中，再次放入烘箱里60 ℃浓缩至没有任何液体，加入1 mL的0.02 mol/L HCl混匀即得样品液；用日立L8900氨基酸分析仪，参照GB/T 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》^[19]中氨基酸分析法进行游离氨基酸含量测定。

1.4 数据处理

使用Excel 2016及SPSS 26.0对数据进行统计分析分析及作图。采用LSD多重比较法比较不同生长时期麻竹幼笋中碳水化合物及氨基酸含量差异，在 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 水平上进行显著性检验，并对不同生长时期碳水化合物及氨基酸含量进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同生长时期麻竹笋中碳水化合物变化

2.1.1 不同生长时期麻竹笋中纤维素含量变化

如图1所示，不同生长时期麻竹笋内（干重）

中纤维素含量呈逐渐增加变化趋势，其中在各时期麻竹笋纤维素含量分别为39.57、42.69、43.11以及46.32 mg/g。A时期，麻竹幼笋中纤维素含量最低，随着幼笋生长，笋中纤维素含量呈上升趋势。与A时期相比，B和C时期纤维素含量分别增加3.21 mg/g和3.54 mg/g（ $P<0.05$ ），D时期纤维素含量比A时期显著升高17.06%（ $P<0.01$ ）。

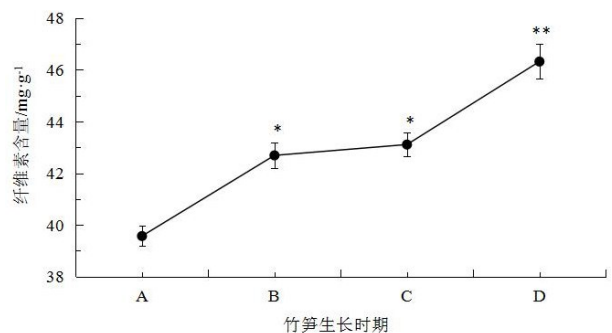


图1 麻竹笋中纤维素含量变化

注：*和**分别代表在0.05和0.01水平上显著。下同。

Fig. 1 Variation of cellulose content in *D. latiflorus* bamboo shoots

2.1.2 不同生长时期麻竹笋中还原糖含量变化

不同生长时期麻竹幼笋中还原糖含量呈先降低后升高的变化趋势，各时期麻竹笋还原糖含量分别为4.96、2.49、3.42和4.97 mg/g，A时期还原糖含量相对最高，B时期最低（图2）。与A时期相比，B时期还原糖含量降低了50.60%（ $P<0.01$ ）。在幼笋萌发后，还原糖含量升高，与B时期相比，

C、D时期还原糖含量分别增加了0.93、2.48 mg/g ($P < 0.05$)。

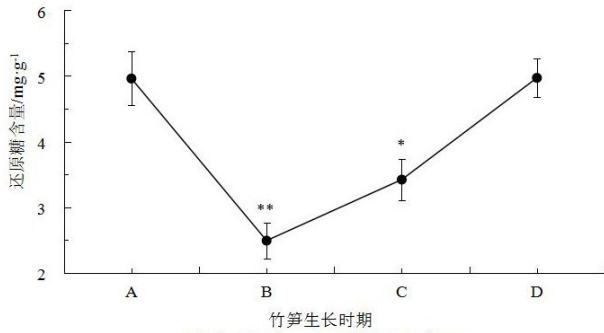


图2 麻竹幼笋还原糖含量变化

Fig. 2 Variation of reducing sugar content in immature *D. latiflorus* bamboo shoots

2.1.3 不同生长时期麻竹笋中可溶性糖含量变化

不同生长时期麻竹幼笋内可溶性糖含量呈先降低后升高变化趋势，各时期麻竹笋可溶性糖含量分别为3.05、1.01、1.62和1.78 mg/g，A时期可溶性糖含量最高，B时期最低（图3）。与A时期相比，B时期可溶性糖含量降低了66.89% ($P < 0.01$)，C、D时期麻竹幼笋可溶性糖与B时期比较，分别显著增加0.61、0.77 mg/g ($P < 0.05$)。

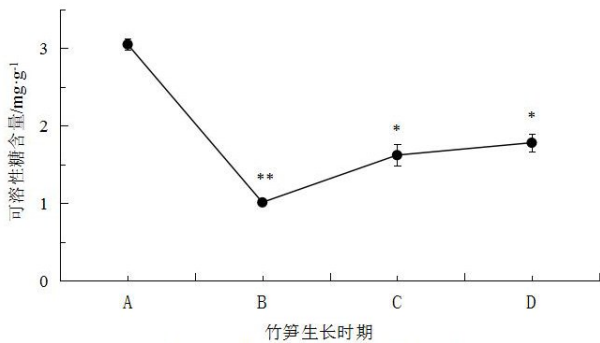


图3 麻竹幼笋可溶性糖含量变化

Fig. 3 Variation of soluble sugar content in immature *D. latiflorus* bamboo shoots

2.1.4 不同生长时期麻竹笋中淀粉含量变化

不同生长时期麻竹笋中淀粉含量呈先升高后保持平稳的变化趋势，各时期麻竹笋淀粉含量分别为2.19、3.38、3.36、3.33 mg/g，A时期麻竹幼笋淀粉含量最低（图4）。与A时期相比，B时期显著升高了4.3% ($P < 0.01$)，随着麻竹幼笋继续生长，C与D时期淀粉含量保持在3.33~3.36 mg/g。

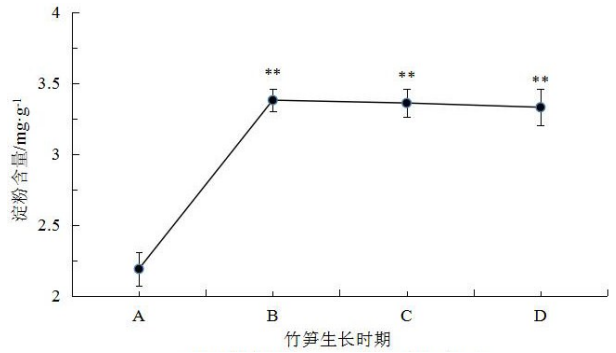


图4 麻竹幼笋淀粉含量变化

Fig. 4 Variation of starch content in immature *D. latiflorus* bamboo shoots

2.2 不同生长时期麻竹笋中碳水化合物相关性分析

4个生长时期麻竹笋中各碳水化合物之间相关关系如表2所示。纤维素与淀粉呈显著负相关 ($P < 0.05$)；还原性糖与可溶性糖呈显著正相关 ($P < 0.05$)；可溶性糖与淀粉呈极显著负相关 ($P < 0.01$)；纤维素、还原糖与可溶性糖之间存在不显著的正相关关系，可溶性糖与淀粉之间存在不显著的负相关关系。

表2 不同生长时期碳水化合物含量相关性

Tab. 2 Correlation of carbohydrate content in four developmental stages

/	纤维素	还原性糖	可溶性糖	淀粉
纤维素	1	-0.011	0.526	-0.583*
还原性糖		1	0.656*	-0.399
可溶性糖			1	-0.861**
淀粉				1

注：*和**分别代表在0.05和0.01水平上显著。

2.3 不同生长时期麻竹笋内氨基酸含量

不同生长时期麻竹幼笋氨基酸含量测定结果见表3。与毛竹笋所测出17种氨基酸^[9]相比，麻竹幼笋除色氨酸 (Trp) 与谷氨酰胺 (Gln) 未被检测外，共测定出18种氨基酸，表明麻竹幼笋体内的氨基酸较为齐全。在A时期氨基酸种类中除异亮氨酸 (Ile) 之外，其余17种氨基酸都检测出；在B时期氨基酸种类中除了缬氨酸 (Val)、异亮氨酸 (Ile)、酪氨酸 (Tyr)、谷氨酸 (Glu)、苏氨酸 (Thr) 等，其余13种氨基酸都检测出；在C时期中，缬氨酸 (Val)、苏氨酸 (Thr) 监测值为0，脯氨酸 (Pro) 含量为2.355 mg/g，其余15种氨基酸变化差异不大；在D时期中，异亮氨酸 (Ile)、天冬酰胺 (Asn)、赖氨酸 (Lys)、苏氨酸 (Thr) 未检测到，其余14种氨基酸都检测出。

不同生长时期麻竹幼笋氨基酸含量差异较大,总体上呈现先下降后上升的变化趋势,其在4个时期氨基酸含量分别为6.154、5.348、4.239和5.748 mg/g。A时期氨基酸含量最高,随幼笋萌发,在B时期氨基酸含量下降了13.10%,于C时期继续下降到最低点(4.239 mg/g),D时期与C时期相比总氨基酸含量升高了35.60%。在4个生长时期中,脯氨酸(Pro)中含量最高,分别为4.574、1.481、2.355和4.530 mg/g;缬氨酸(Val)含量最低,分别为0.004、0、0、0.004 mg/g。A时期,丙氨酸(Ala)、精氨酸(Arg)、半胱氨酸(Cys)、亮氨酸(Leu)、脯氨酸(Pro)这5种氨基酸含量相对较多。在B时期,Ala、Leu、Cys、Arg、苯丙氨酸(Phe)、天冬氨酸(Asp)、天冬酰胺(Asn)、赖氨酸(Lys)、丝氨酸(Ser)和组氨酸(His)皆出现最高值。到C与D时期,含量变化幅度较大的氨基酸有甘氨酸(Gly)、Leu、Ile、Lys和Pro;氨基酸含量相对稳定的有Val、Met、Ser、His,而Cys在4个时期中则一直保持着含量相对稳定的状态。

表3 麻竹幼笋不同生长时期氨基酸含量

Tab. 3 Amino acid content in *D. latiflorus* bamboo shoots at different stages mg/g

氨基酸种类	幼笋生长时期			
	A	B	C	D
甘氨酸(Gly)	0.053	0.041	0.115	0.061
丙氨酸(Ala)	0.155	0.244	0.208	0.136
缬氨酸(Val)	0.004	0	0	0.004
亮氨酸(Leu)	0.454	0.644	0.228	0.435
异亮氨酸(Ile)	0	0	0.263	0
苯丙氨酸(Phe)	0.068	0.329	0.074	0.042
酪氨酸(Tyr)	0.020	0	0.073	0.062
天冬氨酸(Asp)	0.014	0.557	0.019	0.013
天冬酰胺(Asn)	0.084	0.100	0.052	0
谷氨酸(Glu)	0.033	0	0.069	0.031
赖氨酸(Lys)	0.086	0.253	0.236	0
甲硫氨酸(Met)	0.010	0.046	0.043	0.047
丝氨酸(Ser)	0.083	0.145	0.131	0.135
苏氨酸(Thr)	0.035	0	0	0
半胱氨酸(Cys)	0.260	0.273	0.241	0.228
脯氨酸(Pro)	4.574	1.481	2.355	4.530
组氨酸(His)	0.041	0.058	0.042	0.020
精氨酸(Arg)	0.180	1.177	0.090	0.005
合计	6.154	5.348	4.239	5.748
必需氨基酸	0.697	1.329	0.887	0.548
必需氨基酸占氨基酸总量的/%	11.33	24.85	20.92	9.53

不同生长时期麻竹笋体内必需氨基酸含量存在差异,8种必需氨基酸总含量分别为0.697、1.329、0.887和0.548 mg/g,分别占总氨基酸含量的11.33%、24.85%、20.92%和9.53%,其中B时期必需氨基酸占总氨基酸含量的比重最高(24.85%),D时期所占比重最少(9.53%),2个时期相差15.32%(表3)。如表4所示,8种必需氨基酸中亮氨酸(Leu)在4个时期含量所占百分数最高,分别占总必需氨基酸含量的65.08%、48.47%、25.76%和79.44%,缬氨酸(Val)含量所占百分数最低,分别占总必需氨基酸含量的0.50%、0%、0%和0.81%。在4个生长时期中,A时期包含7种必需氨基酸,种类最多,D时期包含5种必需氨基酸,种类最少。

表4 麻竹幼笋不同生长时期8种必需氨基酸占总必需氨基酸百分比

Tab. 4 Percentage of 8 essential amino acids in total essential amino acids of *D. latiflorus* bamboo shoots at different development stages %

氨基酸种类	幼笋生长时期			
	A	B	C	D
甲硫氨酸 Met	1.37	3.46	4.86	8.50
苯丙氨酸 Phe	9.79	24.72	8.38	7.75
苏氨酸 Thr	5.04	0	0	0
缬氨酸 Val	0.50	0	0	0.81
亮氨酸 Leu	65.08	48.47	25.76	79.44
异亮氨酸 Ile	0	0	29.61	0
赖氨酸 Lys	12.33	19.01	26.63	0
组氨酸 His	5.85	4.33	4.78	3.57

3 讨论与结论

3.1 麻竹幼笋不同生长时期碳水化合物变化

纤维素是植物次生细胞壁重要组成成分^[20],也是衡量竹笋老化程度的指标之一^[21]。本研究测得麻竹幼笋4个时期纤维素分别为38.87、41.25、42.09和46.27 mg/g,表明麻竹幼笋打破休眠萌发时,笋细胞壁细胞延伸和次生壁开始生长,笋体内纤维素含量处于较低状态为38.87 mg/g。随着幼笋逐渐生长并破土而出,细胞不断伸长和次生壁加厚^[22],纤维素含量逐渐增加,快速发育期时(D时期),纤维素含量上升为46.27 mg/g。随着笋的不断生长,幼笋从萌动期(A时期)到快速生长期(D时期)纤维素含量增加,笋体细胞机械强度增高,竹笋逐渐木质化^[23]。

还原性糖、可溶性糖、淀粉这些糖类物质是植

物光合作用主要产物, 储存着植物生长发育过程中所需要消耗的干物质^[24]。本研究结果表明: 从 A 时期到 D 时期, 麻竹笋中可溶性糖与还原性糖变化趋势一致, 在 B 时期幼笋的可溶性糖与还原性糖处于较低含量, 二者呈现显著正相关关系; 不同生长时期麻竹幼笋内淀粉与可溶性糖呈极显著负相关关系。这可能由于竹子中新合成光合作用产物会先转化成可移动糖类如蔗糖, 它通过韧皮部运输到竹笋体内^[25], 再经过酶的反应, 一方面合成可溶性糖、还原性糖参与代谢, 另一方面葡萄糖小分子再生成非移动性碳水化合物淀粉^[26]以贮藏能量物质。淀粉与可溶性糖的负相关关系与它们在不同生长期之间的变化趋势的差异性表明, 它们参与笋体生长中不同的生理代谢活动。糖类物质在植物打破休眠进入萌芽期方面起着重要的信号传递作用^[27], 其生理功能的发挥主要表现在糖类物质种类及含量变化上。周涤等^[28]研究表明彩色马蹄莲 (*Zantedeschia hybrida*) 块茎萌芽前体内淀粉与还原糖含量积累较高, 其积累含量的高低与萌芽率呈正比关系。本研究中麻竹幼笋在 A 时期可溶性糖与还原性糖含量最高, 由于该时期为幼笋萌动期, 竹鞭上弱芽经过休眠期在适合的环境条件下开始萌动逐渐形成壮芽, 这个过程需要笋体内积累一定水平的糖类物质解除休眠并提供物质基础; 在 B 时期幼笋进入萌发期, 还原糖和可溶性糖含量最低, 可能是在代谢作用下为幼笋萌发提供了所需要能量, 该变化与葡萄 (*Vitis vinifera*) 解除休眠进入萌发期变化趋势一致^[29]。淀粉变化与可溶性糖和还原糖相反, 在 A 时期, 幼笋体内淀粉含量最低为 2.15 mg/g, 可能由于在休眠期与萌动期间需要大量可溶性糖来提高植物抗逆性, 淀粉在淀粉酶作用下分解成葡萄糖进而转化成其他糖类物质最终合成可溶性糖, 证明了可溶性糖与淀粉呈负相关关系, 这与葡萄相关研究结果一致^[30]。在 B 时期, 幼笋萌发, 部分可移动糖类物质转化成非移动性碳水化合物 (淀粉)^[26]开始贮藏有机物质, 导致 B 时期淀粉含量上升。C 与 D 时期为幼笋迅速伸长期^[16], 碳水化合物总体保持着上升和相对稳定的趋势。纤维素的变化随着笋的不断生长, 其含量会呈上升趋势, 在成竹时期, 木质化不断加深, 其纤维素含量可能达到一个稳定的含量数值, 可见麻竹笋品质与不同生长时期的纤维素含量具有相关性。

3.2 麻竹幼笋不同时期氨基酸变化

氨基酸除了蛋白质合成外, 在信号传递, 物质

运输过程^[31]和植物应急反应中发挥着重要作用^[32]。同时, 氨基酸也是笋品质检测的重要指标, 在一些常见的竹笋中, 如毛竹^[9]、高节竹等^[33]都对其体内氨基酸含量进行了检测与分析。

本研究从 4 个生长时期幼笋中检测出 18 种氨基酸 (Trp、Gln 除外), 说明其体内所含氨基酸较为齐全。与毛竹笋^[9]进行比较发现, 麻竹幼笋各种氨基酸含量间差异较大, 4 个时期麻竹幼笋体内含量最多的氨基酸是 Pro, 与毛竹笋体内含量最高的是 Asp 不同, 这可能是由于采样地不同所致。干旱环境会导致竹笋体内脯氨酸含量增多以抵抗恶劣的生存环境, 该现象与麻竹叶片 Pro 变化结果^[34]一致。植物萌发过程会伴随着一系列生理变化, 蛋白质在酶的作用下分解成氨基酸, 某些氨基酸又继续参与代谢, 与糖类、脂类物质相互联系^[35]。总氨基酸含量变化趋势与还原糖和可溶性糖一致, 在 B 时期, Ala、Leu、Cys 等 10 种氨基酸含量达到最大值, 推测与糖类和蛋白质含量变化有关。Val、Ile、Tyr、Asn、Glu、Lys 与 Thr 这 7 种氨基酸含量皆在某时期检测值为 0, 可能是由于在该时期被测氨基酸的含量过低。

必需氨基酸为人体新陈代谢所不能合成, 而要从外界摄取的 8 种氨基酸。其按照一定比例在人体内均衡分布, 任何一种氨基酸的失调都会造成人体的代谢紊乱, 如负氮平衡^[36]。本研究中麻竹幼笋在 A 时期所包含总氨基酸含量最高, 可能是由于打破休眠前一系列代谢使其含量积累到较高水平; B 时期所含的必需氨基酸含量占总氨基酸的百分比最高, 说明在该时期笋的品质价值相对较高, 可满足鲜食笋标准, 但笋内缺乏 Thr 与 Val 这两种氨基酸, 建议与富含这两种氨基酸的食物搭配食用; D 时期麻竹笋内所缺少的氨基酸多达 3 种分别是 Thr、Ile 和 Lys, 营养品质降低。

3.3 结论

竹笋誉称“香笋”, 它不但富含人体需要的蛋白质、脂肪、糖类、粗纤维等多种营养成分, 而且还具有保健延寿、增进食欲、清除便秘、减肥美容、抗癌防癌等功效; 通过烹制和加工出来的数百种麻竹笋制品, 其味道鲜美、脆嫩爽口、味甘醇香, 是当前国内外最佳天然保健食品之一, 也是当今人们追求的无公害绿色食品。对竹笋产量和品质产生影响的最主要的因素是温度和水分, 当温度过低时不利于竹笋 A 时期 (萌动时期) 的笋芽发育, 在 B 时期 (萌发时期)、C 时期 (生长期)、D

时期(快速生长期),足够的水分、温度和阳光等能促使竹笋更好地生长,从而促进竹笋体内不同时期的氨基酸与碳水化合物含量的增加,促进笋品质提升和笋产量的增加。

麻竹笋生长期与碳水化合物、氨基酸含量的变化具有相关性。随着麻竹幼笋不断生长发育,纤维素的含量呈正相关关系升高,淀粉含量则是上升到幼笋B时期(萌发期)后开始维持稳定,与不同的是可溶性糖和还原糖含量表现为先降低后升高。不同时期幼笋体内所含氨基酸的种类较齐全,氨基酸总量在幼笋A时期最多,必需氨基酸在幼笋B时期较丰富;在4个生长期中,A时期包含7种必需氨基酸,种类最多,D时期包含5种必需氨基酸,种类最少。在4个时期中,纤维素含量随着竹子生长时间的推移,纤维素含量越来越高,因此纤维素含量是影响笋品质的重要因素之一,其含量越低口感越好;可溶性糖、还原糖含量从B时期到D时期逐渐升高;淀粉含量总体趋势升高,B时期到D时期其含量趋于稳定。因此,仅考虑食用口感或碳水化合物含量,C时期(生长期)为最佳采笋时期;如果综合考虑笋体内碳水化合物含量和经济效益,C时期(生长期)与D时期(快速生长期)之间的过渡期最适合采摘,此时既保证竹笋口感(碳水化合物的含量较高)又可以保证较高的经济收益(平均单笋重量较高)。本研究可为进一步研究麻竹幼笋的生理活动和笋品质的改良提供参考。

参考文献:

[1] 李琴,汪奎宏,张都海.中国竹笋加工与贸易现状[J].浙江林业科技,2001,21(2):38-41.

[2] Ye S W, Cai C Y, Ren H B, et al. An efficient plant regeneration and transformation system of Ma Bamboo (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) started from young shoot as explant [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 7(8): 1298.

[3] 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.

[4] Nirmala C, Bisht M S, Laishram M. Bioactive compounds in bamboo shoots: health benefits and prospects for developing functional foods [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2014, 49(6): 1425-1431.

[5] Choundhury D, Sahu J K, Sharma G D. Value addition to bamboo shoots: a review [J]. *J Food Sci Technol*, 2012, 49(4): 407-414.

[6] 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].竹子研究汇刊,2017,36(1):30-35.

[7] Basumatary A, Middha S K, Usha T, et al. Bamboo shoots as a nutritive boon for Northeast India: an overview [J]. *Biotech*, 2017, 7(3): 169.

[8] 杨校生,谢锦忠,马占兴,等.17种丛生竹笋的感官与营养品质评价[J].林业科技开发,2001,15(5):16-18.

[9] 胡春水,余红英,余祥威,等.毛竹笋氨基酸含量的比较[J].竹子研究汇刊,2000,19(2):44-48.

[10] 周文伟,何奇江,叶春球,等.不同季节毛竹笋营养成分比较分析[J].浙江林业科技,2013,33(4):64-67.

[11] Nirmala C, David E, Sharma M L. Changes in nutrient components during ageing of emerging juvenile bamboo shoots [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2007, 58(8): 612-618.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 肖永元.南靖县毛竹林高效经营综述[J].安徽农学通报(下半月刊),2011,17(12):136-269.

[16] 冯建元.毛竹笋芽初生增粗生长机理研究[D].南京:南京林业大学,2010.

[17] 汤章城.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.

[18] 蔡永萍.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业大学出版社,2014.

[19] 中华人民共和国卫生部.GB/T 5009.124-2016食品中氨基酸的测定[S].北京,2016.

[20] Fratzl P, Elbaum R, Burgert I. Cellulose fibrils direct plant organ movements [J]. *Faraday discussions*, 2008, 139: 275-282, 309-325, 419-420.

[21] 余学军,裘贤龙.不同储藏条件对绿竹笋酶活性与纤维化的影响[J].浙江农林大学学报,2011,28(3):380-385.

[22] 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):8-11,16

[23] 赵丹.大叶麻竹笋采后品质劣化机理的研究[D].重庆:西南大学,2007.