

两种主要食用竹笋的营养及安全品质比较

张佳佳^{1,2}, 白瑞华^{1,3*}, 丁兴萃^{1,3*}

(1.国家林业和草原局竹子研究开发中心, 浙江 杭州 310012; 2.南京林业大学, 江苏 南京 210037;
3.浙江省竹子高效加工重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要:该文对刚竹属的毛竹春笋和雷竹笋的营养成分及安全品质进行较系统地测定、比较和分析。结果表明:毛竹春笋的总糖、粗蛋白、灰分、维生素C、氨基酸、硒及矿物质含量明显高于雷竹笋,且重金属铬、铅及硝酸盐含量低于雷竹笋,两者的污染物含量都在国家标准限量以内。两种食用笋均具有丰富的营养物质和安全品质,雷竹笋的风味较毛竹春笋好,但是毛竹春笋的营养物质较雷竹笋丰富,安全性高,食用价值高于雷竹笋。

关键词:毛竹春笋;雷竹笋;营养价值;安全品质

Comparison of Nutrition and Safety of Two Main Edible Bamboo Shoots

ZHANG Jia-jia^{1,2}, BAI Rui-hua^{1,3*}, DING Xing-cui^{1,3*}

(1.China National Bamboo Research Center, Hangzhou 310012, Zhejiang, China; 2.Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3.Zhejiang Provincial Key Laboratory of Bamboo Processing, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

Abstract: In this paper, the nutritional composition and safety quality of *Phyllostachys edulis* shoots and *Phyllostachys praecox* shoots of the *Phyllostachys* genus were systematic determined, comparison and analyzed. The results showed that the contents of total sugar, crude protein, ash, vitamin C, amino acid, selenium and mineral in *Phyllostachys edulis* shoots were significantly higher than those in *Phyllostachys praecox* shoots, and the contents of heavy metal chromium, plumbum and nitrate were lower than those of *Phyllostachys praecox* shoots. Both pollutants were within the limits set by national standards. Both kinds of edible bamboo shoots were rich in nutrition and safety quality, and the flavor of *Phyllostachys praecox* shoot was better than that of *Phyllostachys edulis* shoot, but the nutrition of *Phyllostachys edulis* shoot was more abundant and safe than that of *Phyllostachys praecox* shoot, and its edible value was higher than that of *Phyllostachys praecox* shoot.

Key words: *Phyllostachys edulis* shoot; *Phyllostachys praecox* shoot; nutritional value; safety and quality

引文格式:

张佳佳, 白瑞华, 丁兴萃. 两种主要食用竹笋的营养及安全品质比较[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(8): 18-23.

ZHANG Jiajia, BAI Ruihua, DING Xingcui. Comparison of Nutrition and Safety of Two Main Edible Bamboo Shoots [J]. Food Research and Development, 2021, 42(8): 18-23.

毛竹(*Phyllostachys edulis*), 禾本科刚竹属, 广泛分布在浙江、福建、江西、广西和江苏等省份^[1], 是一种具

基金项目: 浙江省科技计划项目(2016F50007)

作者简介: 张佳佳(1994—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 竹笋品质和竹林培育。

* 通信作者: 白瑞华(1975—), 男, 副研究员, 研究方向: 竹笋采后生理及贮藏保鲜技术; 丁兴萃(1963—), 男, 研究员, 研究方向: 竹笋品质及竹林培育。

有经济、生态价值的大型笋材两用散生竹。雷竹(*Phyllostachys praecox*), 又名早竹, 别名雷公竹, 也是禾本科刚竹属竹种。雷竹是中国特有的栽培品种, 具有出笋早、产量高、笋期长等优点, 主要分布在浙江西北丘陵地带^[2-3]。竹笋是竹鞭上的芽分化而膨大的芽和幼嫩的茎, 毛竹笋及雷竹笋味道鲜美、富含蛋白质、氨基酸、维生素和矿物质等营养物质^[3-5], 是人们日常生活中喜爱的一种食品。众多学者对竹笋的采后保

鲜^[6-10]、遗传育种^[11-13]、营养成分^[14-16]及口感^[17-18]等作了大量研究,对笋用竹林栽培、管理、引种具有重要的意义。对竹笋的营养成分已经有不少研究,如皮培尧等^[19]分析了13种中小径散生笋用竹的营养成分;时俊帅等^[16]对不同海拔的高节竹笋蛋白质差异进行研究,发现中、高海拔的高节竹笋蛋白质营养价值不如低海拔的高节竹笋。尽管对竹笋的营养成分分析的报道已经不少,但是对不同种类的竹笋营养比较以及安全品质的研究未见详细报道。本文将比较两个常见食用竹笋(毛竹春笋和雷竹笋)的营养成分以及它们的安全品质,以为优质竹笋的栽培、推广及产品发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

毛竹春笋、雷竹笋:2018年3月12日购买自杭州翠苑农贸市场,均为当天清晨采挖送到市场的新鲜竹笋,购买前未经任何处理。

DF-20 台式连续投料粉碎机:温岭市林大机械有限公司;FA 2004N 分析天平:上海民桥精密科学仪器有限公司;UDK159/DK20 全自动凯氏定氮仪:意大利VELP SCIENTIFICA 公司;HWS24 电热恒温水浴锅:上海一恒科学仪器有限公司;UV 2550 紫外/可见分光光度计:日本SHIMADZU 公司;KQ-250DB 数显超声波清洗器:昆山市超声仪器有限公司;VELP 石英坩埚:意大利VELP SCIENTIFICA 公司;3-30K 通用台式冷冻离心机:美国SIGMA 公司;A300 氨基酸分析仪:德国MEMBRAPURE 公司。

1.2 试验方法

将竹笋清洗干净、晾干,小心去除笋壳和不可食用的部位。两个竹笋分别用粉碎机粉碎混合后装袋放入冰箱,以备用于营养物质含量、硝酸盐、亚硝酸盐及重金属的测定。

总酸含量^[20]通过滴定法进行测定;糖酸比为总糖和总酸的比值^[21];依据GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》、GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》、GB 14754—2010《食品安全国家标准 食品添加剂 维生素C(抗坏血酸)》、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》、GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》、GB 5009.13—2017《食品安全国家标准 食品中铜的测定》、GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》、GB 55009.90—

2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》、GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》、GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》、GB 5009.123—2014《食品安全国家标准 食品中铬的测定》、GB 5009.241—2017《食品安全国家标准 食品中镁的测定》、GB 5009.242—2017《食品安全国家标准 食品中锰的测定》、GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》、GB 5009.33—2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》分别对竹笋的氨基酸、总糖、灰分、粗蛋白、铅、铜、锌、镁、钙、硒、铬、锰、钾、钠、硝酸盐和亚硝酸盐进行测定。

1.3 数据分析

两种食用笋进行3次生物学重复,采用SPSS进行数据分析,Excel进行画图。

2 结果和分析

2.1 总糖、粗蛋白、粗纤维、总酸和灰分的含量变化

总糖、粗蛋白、粗纤维、总酸和灰分的含量变化见图1。

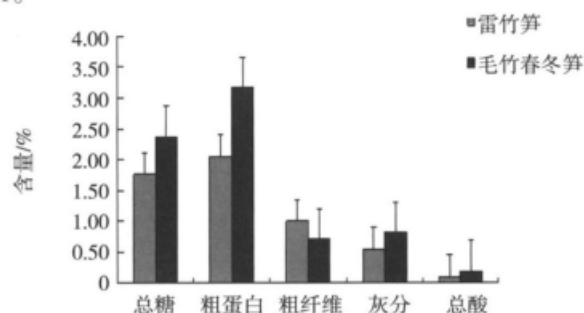


图1 两个食用竹笋的总糖、粗蛋白、粗纤维、灰分及总酸含量

Fig.1 Total sugar, crude protein, crude fiber, ash and total acid contents of two edible bamboo shoots

由图1可知,雷竹笋的总糖(1.76%)、粗蛋白(2.05%)、灰分(0.55%)及总酸(0.10%)含量低于毛竹春笋的总糖(2.37%)、粗蛋白(3.16%)、灰分(0.81%)和总酸(0.18%)含量,而雷竹笋的粗纤维(1.00%)含量高于毛竹春笋粗纤维(0.70%)含量。

总糖、蛋白质是评价食品营养价值的重要指标。糖类作为人体可以直接吸收的供能营养物质,在保护肝脏、加强肝功能及维持脂肪正常代谢等方面具有重要作用^[22]。蛋白质是人体生命活动的物质基础,是人体必不可少的营养物质。除此之外,无机盐是六大营养素之一,而灰分中的主要成分是无机盐,因此灰分也是食品营养价值的重要参考指标之一^[23]。毛竹春笋的总糖、粗蛋白、灰分含量高于雷竹笋,说明毛竹春笋的营养价值高于雷竹笋。

粗纤维的含量影响竹笋的口感^[24],粗纤维含量越少,组织越嫩,口感越好。毛竹春冬笋的粗纤维含量低于雷竹笋,所以毛竹春冬笋的组织较雷竹笋幼嫩、口感好。不仅如此,粗纤维具有减少结肠癌的发生、降血脂及降胆固醇的作用^[25]。所以从这个角度来看,雷竹笋的口感虽然不如毛竹春冬笋,但是对高血脂、高胆固醇的人来说,雷竹笋是个更好的选择。

两种食用竹笋的糖酸比见表1。

表1 两种食用竹笋的糖酸比

Table 1 Sugar - acid ratio of two edible bamboo shoots

笋种	糖酸比
雷竹笋	17.6
毛竹春冬笋	13.2

决定果实风味的重要指标之一是糖酸组分的含量差异,可以用糖酸比来表示^[26]。虽然雷竹笋的总糖、总酸含量低于毛竹春冬笋,但是雷竹笋的糖酸比为17.6,显著高于毛竹春冬笋(13.2),因此雷竹笋的风味优于毛竹春冬笋。

2.2 维生素C的含量

两种食用竹笋的维生素C含量见图2。

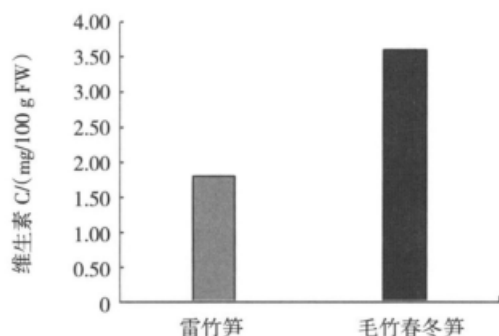


图2 两种食用竹笋的维生素C含量

Fig.2 Vitamin C contents of two edible bamboo shoots

维生素C(vitamin C, V_c),又称为抗坏血酸,缺乏 V_c 会引起坏血病。 V_c 在果蔬中含量丰富,蔬菜新鲜程度的指标之一即为 V_c 的含量高低,通常 V_c 含量越高,蔬菜越新鲜^[27]。由图2可知,雷竹笋的 V_c 含量为1.8 mg/100 g FW,毛竹春冬笋的 V_c 含量为3.61 mg/100 g FW,几乎为雷竹笋 V_c 含量的2倍。

2.3 矿物质的含量与分析

人体内含量不及体重万分之一的微量元素即矿物质元素^[28]。矿物质元素虽然含量少,但是在人体内发挥巨大的作用,如钾是生命的基础,不仅可以调节血压,而且对神经冲动传递、酶活动的调节具有必不可少的作用;钙是人体含量最多的矿物质元素,也称为造骨元素,

缺钙易引起骨质疏松、记忆力衰退及高血压;造血元素有铁和铜,缺铁会引起贫血,而铜元素参与伤口愈合;锌在生长发育过程具有重要作用,是DNA、RNA相关酶的组成成分和激活因子;锰则是许多酶的激活剂等^[29-31]。两种食用竹笋的矿物质元素含量见表2。

表2 两种食用竹笋的矿物质元素含量

Table 2 Mineral element contents of two edible bamboo shoots

笋种	钠 Na	钾 K	钙 Ca	镁 Mg	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	锌 Zn
毛竹春冬笋	4.6	4 665	521.8	131.2	4.7	31.8	2.1	12
雷竹笋	4.6	3 215	31.3	71.1	5.1	3	8.2	4.2

由表2可知,毛竹春冬笋和雷竹笋的Na含量相同,均为4.6 mg/kg,但是毛竹春冬笋的K(4 665 mg/kg)、Ca(521.8 mg/kg)、Mg(131.2 mg/kg)、Mn(31.8 mg/kg)及Zn(12 mg/kg)含量显著高于雷竹笋的K(3 215 mg/kg)、Ca(31.3 mg/kg)、Mg(71.1 mg/kg)、Mn(3 mg/kg)及Zn(4.2 mg/kg)含量,可见毛竹春冬笋的矿物质元素含量较高,能够更好地提供人体的基本生命活动需求的微量元素。但是,雷竹笋的Fe(5.1 mg/kg)、Cu(8.2 mg/kg)含量高于毛竹春冬笋的Fe(4.7 mg/kg)、Cu(2.1 mg/kg)含量,尤其是Cu含量,雷竹笋几乎是毛竹春冬笋的4倍。Fe、Cu是造血元素,因此雷竹笋更适合给贫血的人食用。

2.4 氨基酸含量比较

不同的氨基酸对食品的风味影响不同,两种食用竹笋的氨基酸含量见图3。

天门冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、组氨酸(His)和精氨酸(Arg)等氨基酸与竹笋鲜味有关;缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)和苯丙氨酸(Phe)与竹笋苦味有关;甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、丝氨酸(Ser)和脯氨酸(Pro)与竹笋甜味有关^[19, 32-33]。在进行氨基酸分析时,除了色氨酸(Trp)无法测出外,共测定了16种氨基酸。从图3可以看出,毛竹春冬笋含有非常丰富的氨基酸,而且各种氨基酸含量均高于雷竹笋,尤其是与鲜味相关的Asp、Glu及与甜味相关的Pro、Ser基本为雷竹笋的2倍。另外,与苦味相关的Val、Ile及Leu的含量较低,均在0.20%以下,可见两种食用竹笋的味道都较鲜美,而毛竹春冬笋更加清甜。

两种食用竹笋必需氨基酸的含量见表3。

氨基酸是构成人体蛋白质的基础物质,可分为必需氨基酸和非必需氨基酸,必需氨基酸共有8种,Val、Ile、Leu、Phe、蛋氨酸(Met)、Trp、苏氨酸(Thr)及赖氨酸(Lys),对于儿童还多一种氨基酸(His)。两种食用竹笋

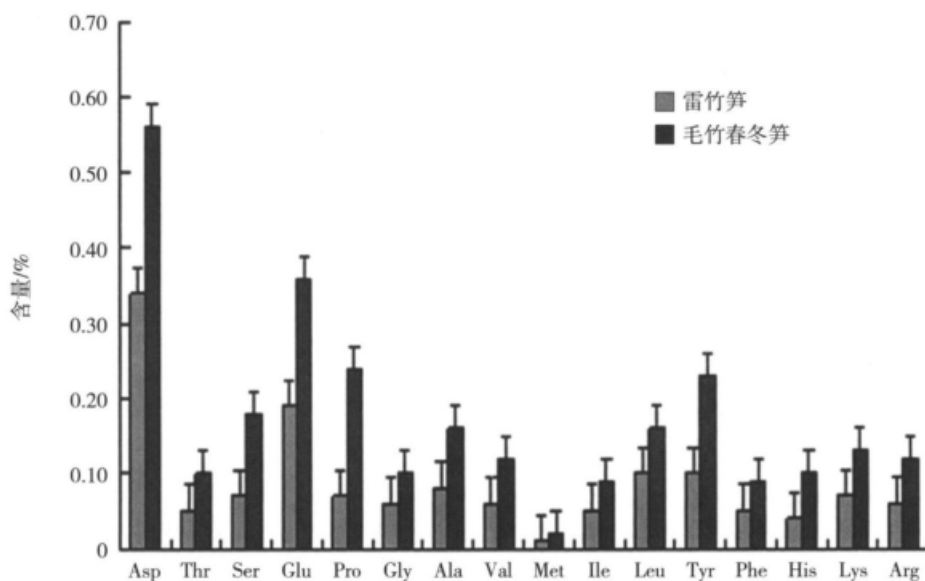


图3 两种食用竹笋的氨基酸含量

Fig.3 Amino acid content of two edible bamboo shoots

表3 两种食用竹笋必需氨基酸的含量

Table 3 Contents of essential amino acids of two edible bamboo shoots

% FW

笋种	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	苯丙氨酸 Phe	组氨酸 His	赖氨酸 Lys	必需氨基酸总量
雷竹笋	0.05	0.06	0.01	0.05	0.10	0.05	0.04	0.07	0.43
毛竹春笋	0.10	0.12	0.02	0.09	0.16	0.09	0.10	0.13	0.81

注:必需氨基酸未统计色氨酸。

中均含有 His,因此这两种竹笋均对儿童成长有益。除此之外,毛竹春笋的必需氨基酸总量(0.81%)几乎为雷竹笋(0.43%)的2倍,更能满足人体对营养摄入需求。

2.5 重要元素硒含量

硒是人体必需的微量元素,具有抗氧化、抗癌、抗辐射等作用,缺硒会对人体健康造成影响,可导致克山病、大骨节病等,还会降低免疫功能^[34-35]。通过测定硒含量可知,毛竹春笋硒含量为 0.004 1 mg/kg,雷竹笋含有 0.002 mg/kg,毛竹春笋的硒含量较雷竹笋高。自 2011 年起,取消《食品中污染物限量》(GB 2762—2005)中的硒指标,而且 2017 年公布的中国居民膳食营养素规定中提及成年人每天需要平均约 50 μg 的硒摄入量,实际摄入量却在 20 μg~30 μg^[35]。虽然毛竹春笋和雷竹笋的硒含量不高,但是可以通过富硒肥或者注射液态富硒肥等手段,提高竹笋的硒含量,成为潜在的富硒食品。

2.6 影响安全品质的物质分析

2.6.1 重金属铬和铅的含量

通常情况下,密度大于 4.5 g/cm³ 的金属元素称为重金属元素^[36]。铬(Cr)和铅(Pb)均为重金属元素,在一

定的浓度范围内,Cr 对人体健康是有益的,如促进蛋白质的代谢和生长发育^[36],但是超过一定浓度,对人体是有害的。过多的摄入 Pb,会对人体的造血系统造成伤害,引起贫血、溶血等^[37]。两种食用竹笋的铬、铅含量见图 4。

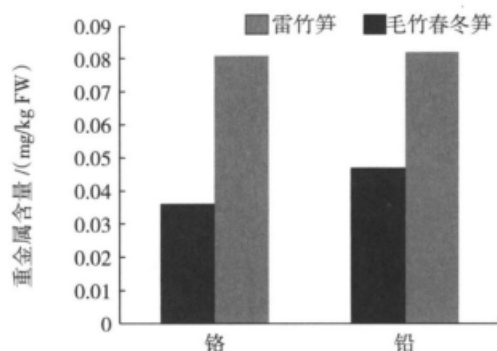


图4 两种食用竹笋的铬、铅含量

Fig.4 Contents of chromium and plumbum in two edible bamboo shoots

毛竹春笋的 Cr、Pb 含量(0.036、0.047 mg/kg FW)均低于雷竹笋的 Cr、Pb 含量(0.081、0.082 mg/kg FW)。根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中 Pb 的限量是不超过 0.1 mg/kg,Cr 的限量为

不超过 0.5 mg/kg, 两种食用竹笋的 Cr、Pb 均在污染物限量的范围内。相对而言, 毛竹春冬笋的食用安全性更高一些。

2.6.2 亚硝酸盐和硝酸盐的含量比较

两种竹笋的硝酸盐和亚硝酸盐的含量如图 5。

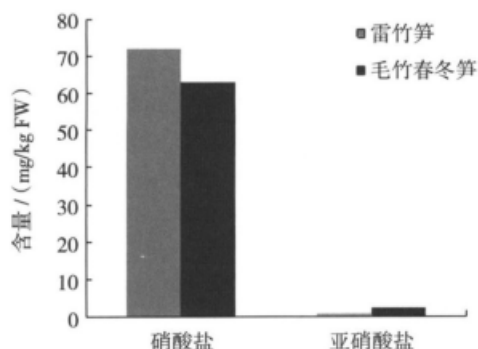


图 5 两种食用竹笋的硝酸盐和亚硝酸盐含量

Fig.5 Nitrate and nitrite contents of two edible bamboo shoots

雷竹笋的硝酸盐(72 mg/kg FW)高于毛竹春冬笋(63 mg/kg FW), 而亚硝酸盐(0.54 mg/kg FW)低于毛竹春冬笋(2.2 mg/kg FW)。根据前人研究, 硝酸盐是亚硝酸胺的前体物, 亚硝酸胺具有致癌性^[38], 毛竹春冬笋的硝酸盐含量低于雷竹笋, 其致癌可能性更低。另外, 在煮熟后的蔬菜中, 硝酸盐可以损失 70%, 而且毛竹春冬笋和雷竹笋的硝酸盐含量低于高节竹的硝酸盐含量(175 mg/kg)^[5], 因此食用毛竹春冬笋和雷竹笋是安全的。另外, 亚硝酸钠通常是蔬菜中的亚硝酸盐的主要存在形式^[39], 根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中对亚硝酸盐的限量规定, 新鲜蔬菜(包括竹笋)的亚硝酸盐含量不得超过 20 mg/kg, 毛竹春冬笋和雷竹笋的含量均远低于这个规定上限, 因此两种食用竹笋是安全可食的。

3 讨论与结论

毛竹春冬笋和雷竹笋的供应时期具有重叠性, 因此两种食用笋的营养价值和安全性应该得到关注, 不仅对毛竹春冬笋和雷竹笋的产品开发具有意义, 也有利于消费者自主选择。蛋白质、总糖、灰分是食品营养价值的指标, 而且蛋白质和总糖是人体基本代谢活动所需的, 毛竹春冬笋中这些营养指标均高于雷竹笋。除此之外, 与同是刚竹属的红哺鸡竹笋粗蛋白含量(2.65 g/100 g)相比^[2], 毛竹春冬笋的粗蛋白含量高于红哺鸡竹笋, 而雷竹笋的粗蛋白含量低于红哺鸡竹笋。与常见蔬菜的营养价值相比, 毛竹春冬笋的总糖含量高于大白菜(1.9 g/100 g)、芥菜(0.8 g/100 g)和冬瓜(1.9 g/100 g)^[40], 雷竹笋的总糖却低于大白菜和冬

瓜。而且毛竹春冬笋的氨基酸总量、维生素 C 含量高于雷竹笋, 尤其是维生素 C, 几乎是雷竹笋的 2 倍。因此, 毛竹春冬笋的营养价值高于雷竹笋。

矿质元素对人体具有重要的作用。钾、钙、镁、锌、锰这些元素在人体活动、生长发育过程具有重要作用^[29-31]。毛竹春冬笋的大部分矿质元素含量高于雷竹笋, 说明毛竹春冬笋能提供较多人体基本活动、生长发育所需的微量元素。除此之外, 毛竹春冬笋的钙元素含量还显著高于大白菜(45 mg/kg)、芥菜(28 mg/kg)和冬瓜(19 mg/kg)^[40], 所以毛竹春冬笋是一种高钙蔬菜。值得注意的是, 雷竹笋的铁、铜元素含量高于毛竹春冬笋, 而且雷竹笋的铁元素含量还高于大白菜(0.9 mg/kg)、芥菜(1 mg/kg)和冬瓜(0.2 mg/kg)^[40]。铁、铜对人体造血功能具有不可或缺的作用^[29], 因此雷竹笋比常见蔬菜更有利于贫血的人群食用。

食品安全一直都是消费者关心的重点。在果蔬中, 硝酸盐、亚硝酸盐是影响人体健康的重要因素。另外, 重金属污染对人体也会造成巨大危害^[41], 因此引起广泛关注。根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中的规定, 新鲜果蔬的亚硝酸盐含量不得超过 20 mg/kg, 重金属铅的含量不超过 0.1 mg/kg, 铬的含量不超过 0.5 mg/kg。毛竹春冬笋和雷竹笋的亚硝酸盐、重金属铅、铬含量均在限量范围以内, 而且毛竹春冬笋综合安全品质优于雷竹笋。

从口感上来说, 毛竹春冬笋的粗纤维含量低于雷竹笋, 说明毛竹春冬笋的组织更幼嫩; 毛竹春冬笋的甜味、鲜味氨基酸的含量高于雷竹笋, 故毛竹春冬笋较雷竹笋更加清甜, 因此毛竹春冬笋的口感比雷竹笋好。值得注意的是, 雷竹笋的糖酸比高于毛竹春冬笋。糖酸比能够代表果实的风味^[26], 糖酸比高, 风味更佳, 故雷竹笋的风味更好一些。

综上所述, 毛竹春冬笋的总糖、粗蛋白、灰分、总酸、维生素 C、部分矿物质、硒、必需氨基酸及甜味氨基酸的含量高于雷竹笋, 粗纤维含量低于雷竹笋, 毛竹春冬笋的营养价值高于雷竹笋, 口感较嫩且甜。除此之外, 这两种食用竹笋与红哺鸡竹笋及常见蔬菜对比, 毛竹春冬笋营养价值丰富, 是优质的食用笋。但是雷竹笋的糖酸比高于毛竹春冬笋, 雷竹笋的风味会好一些。另外, 毛竹春冬笋内污染物重金属铬、铅及硝酸盐含量低于雷竹笋, 毛竹春冬笋的安全品质优于雷竹笋。通过对两种食用竹笋的营养物质的比较及安全品质的分析, 为毛竹春冬笋、雷竹笋的引种, 竹笋的开发利用如微量元素的提取、药学、营养学及特殊病人饮食等提供了理论依据, 而且不同人群可针对性地选择

适宜自身的竹笋。

参考文献:

- [1] 王永安. 我国毛竹区划完成[J]. 林业资源管理, 1992(1): 81-82.
- [2] 徐欢欢, 郭超, 周依依, 等. 草酸对雷竹笋贮藏品质的影响研究[J]. 安徽农学通报, 2014,20(23): 118.
- [3] 莫润宏, 汤富彬, 丁明, 等. 雷竹笋不同部位的游离氨基酸含量[J]. 浙江农业科学, 2012(7): 961-963.
- [4] 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.
- [5] 白瑞华, 丁兴萃, 王树东. 竹笋生长期营养及安全品质的分析[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 281-283.
- [6] LUO Z, XU X, YAN B. Accumulation of lignin and involvement of enzymes in bamboo shoot during storage[J]. European Food Research and Technology, 2008,226(4): 635-640.
- [7] LUO Z, FENG S, PANG J, et al. Effect of heat treatment on lignification of postharvest bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*)[J]. Food Chemistry, 2012,135(4): 2182-2187.
- [8] 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]. LWT-Food Science and Technology, 2019,109: 194-200.
- [9] ZENG F, LUO Z, XIE J, et al. Gamma radiation control quality and lignification of bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*) stored at low temperature [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015,102: 17-24.
- [10] 谭宏超, 杨金铭. 版纳甜龙竹鲜笋品质及储藏保鲜技术研究[J]. 世界竹藤通讯, 2018,16(3): 24-27.
- [11] CHEN C, HSIEH M, YANG C, et al. Analysis of the cellulose synthase genes associated with primary cell wall synthesis in *Bambusa oldhamii*[J]. Phytochemistry, 2010,71(11/12): 1270-1279.
- [12] ZHANG H, YING Y Q, WANG J, et al. Transcriptome analysis provides insights into xylogenesis formation in Moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) shoot[J]. Scientific reports, 2018,8(1): 3951.
- [13] WEI Q, JIAO C, GUO L, et al. Exploring key cellular processes and candidate genes regulating the primary thickening growth of Moso underground shoots[J]. New Phytologist, 2017,214(1): 81-96.
- [14] FUJII Y, AZUMA J, MARCHESSAULT R H, et al. Chemical composition change of bamboo accompanying its growth[J]. Holzforschung, 1993,47: 109-115.
- [15] SUN J, DING Z Q, GAO Q, et al. Major chemical constituents of bamboo shoots (*Phyllostachys pubescens*): Qualitative and quantitative research[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(12): 2498-2505.
- [16] 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.
- [17] GAO Q, JIANG H, TANG F, et al. Evaluation of the bitter components of bamboo shoots using a metabolomics approach[J]. Food & function, 2019,10(1): 90-98.
- [18] 李露双, 董文慧, 丁兴萃, 等. 麻竹笋转录组测序及苦涩味物质合成基因差异表达分析[J]. 林业科学研究, 2018,31(4): 38-46.
- [19] 皮培尧, 顾李俭, 陈昂, 等. 13种中小径散生笋用竹出笋规律及营养分析[J]. 福建林业科技, 2018,45(1): 58-63.
- [20] 汪莉莎, 陈光静, 郑炯, 等. 大叶麻竹笋腌制过程中品质变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2013,39(10): 73-77.
- [21] 吴林, 张强, 臧慧明, 等. 云南丽江和吉林靖宇蓝莓糖酸组分差异分析[J]. 中国果树, 2019(6): 54-58, 64.
- [22] 詹卉, 邓琳, 何文志, 等. 不同种源龙竹竹笋营养价值分析[J]. 西南林业大学学报, 2017,37(3): 204-209.
- [23] 李冬林, 孙戴妍, 孙威, 等. 刚竹属8种笋用竹种鲜竹笋营养成分分析[J]. 竹子学报, 2018,37(4): 14-19.
- [24] 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.
- [25] 袁宗胜. 福建毛竹冬笋营养品质地域性差异分析[J]. 江西农业学报, 2013(9): 31-33.
- [26] 高贤玉, 张发明, 柏天琦, 等. 云南10个芒果栽培品种糖酸组分分析[J]. 中国热带农业, 2019(5): 54-59.
- [27] 张丽萍, 吴小春, 陈玉梅. 果蔬中维生素C的形态分析研究[J]. 应用科技, 2003(6): 48-50.
- [28] 贾淑贞, 李海涛. 食品添加剂与微量元素(矿物质)[J]. 河南预防医学杂志, 2002(3): 188-189.
- [29] 蔡如胜, 苏昌群, 徐才荣. 安徽霍山毛竹笋品质分析与评价[J]. 世界竹藤通讯, 2018,16(1): 42-44.
- [30] 杨永峰. 三种苦竹竹笋营养成分、矿质养分和黄酮类化合物的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- [31] 欧克勤, 梁建芬, 杨丽琛. 食品中矿物质利用率的影响因素及研究方法[J]. 食品科技, 2009,34(10): 48-51, 55.
- [32] 莫润宏, 汤富彬, 丁明, 等. 氨基酸分析法测定竹笋中游离氨基酸[J]. 化学通报, 2012,75(12): 1126-1131.
- [33] 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.
- [34] 吴雅颖, 桂仁意, 汤璧, 等. HPLC-ICP-MS联用技术测定竹笋中六种硒形态[J]. 营养学报, 2014,36(5): 494-498.
- [35] 赵静, 南占东, 董庆亮, 等. 富硒食品的营养价值及产品质量标准探讨[J]. 农产品加工(上半月), 2018(8): 59-61.
- [36] 鲍晓. 基于浙江省不同产区的蔬菜重金属含量调查与积累模型研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [37] 黄成林, 杨永峰. 苦竹竹笋主要营养成分和微量元素的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2006,25(3): 31-36.
- [38] 陈长宏, 张科. 食品中硝酸盐和亚硝酸盐的污染及预防[J]. 现代农业科技, 2013(7): 327.
- [39] 王流国, 王雪蒙. 减少食品中亚硝酸盐危害的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016,7(4): 1593-1598.
- [40] 杨月欣, 王广平, 潘兴昌. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002.
- [41] 吕爱华, 尚素微, 张宏亮, 等. 浙江省毛竹鞭笋重金属含量及其安全质量评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2013,33(8): 147-150.

加工编辑: 冯娜

收稿日期: 2020-06-17