

干燥方式对水竹笋营养成分的影响

汤涤洛¹, 陈学玲², 涂修亮¹, 王少华², 丁坤明¹, 何建军²

(1. 咸宁市农业科学院 湖北咸宁 437100; 2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所 武汉 430064)

摘要: 为了筛选水竹笋的最佳干燥方式, 采用真空冷冻干燥、自然晾晒及热风干燥 3 种不同干燥方式对水竹笋进行干燥处理, 探讨不同干燥方式对水竹笋营养成分和氨基酸含量的影响, 并采用氨基酸比值系数法评价其营养价值。结果表明, 不同干燥方式下水竹笋氨基酸比值系数分 (Score of ratio coefficient of amino acid, SRC) 在 60% 左右。真空冷冻干燥、热风干燥的第一限制氨基酸为亮氨酸, 自然晾晒的第一限制氨基酸为异亮氨酸。真空冷冻干燥下水竹笋蛋白质、脂肪、还原糖和粗纤维含量显著高于其他 2 种干燥方式。真空冷冻干燥和热风干燥下水竹笋磷、钾、镁、铁、锰及铜含量差异均不显著, 但均显著高于自然晾晒。真空冷冻干燥下水竹笋的氨基酸总量、必需氨基酸总量高于其他 2 种干燥方式。综合比较, 真空冷冻干燥是水竹笋较理想的干燥方式。

关键词: 水竹笋; 干燥方式; 营养成分; 氨基酸含量

中图分类号: S644.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)11-060-06

Effects of drying methods on the nutritional components of *Phyllostachys heteroclada* shoots

TANG Diluo¹, CHEN Xueling², TU Xiuliang¹, WANG Shaohua², DING Kunming¹, HE Jianjun²

(1. Xianning Academy of Agricultural Sciences, Xianning 437100, Hubei, China; 2. Institute of Agricultural Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei, China)

Abstract: In order to select the best drying method of *Phyllostachys heteroclada* shoots, the effects of three different drying methods including the Vacuum freeze-drying, natural drying and hot air drying on the nutrients and the quality of amino acid of *P. heteroclada* shoots were studied. And the nutritional value was evaluated by using the score of ratio coefficient of amino acid (SRC). The results showed that the *P. heteroclada* shoots with different drying methods have rich nutritional value. The SRC of the *P. heteroclada* shoots under different drying methods is about 60%. According to the FAO/WHO reference pattern, the first limiting amino acid of vacuum freeze-drying and hot air drying is leucine, while the first limiting amino acid of natural drying is isoleucine. The contents of protein, fat, reducing sugar and crude fiber in vacuum freeze-drying of the *P. heteroclada* shoots were higher than those in the other two drying methods. There was no significant difference in phosphorus, potassium, magnesium, iron, manganese and copper content between vacuum freeze-dried and hot air-dried *P. heteroclada* shoots, but significantly higher than those of the *P. heteroclada* shoots by natural a drying. The total amino acids and essential amino acids of the *P. heteroclada* shoots in vacuum freeze-drying were higher than those of the other two drying methods. In conclusion, vacuum freeze-drying is a relatively ideal drying method for the *P. heteroclada* shoots.

Key words: *Phyllostachys heteroclada* shoots; Drying methods; Nutrient; Amino acid contents

竹是重要的森林资源之一, 全世界竹子种类 1300 多种, 我国竹子种类有 500 余种^[1]。竹子能够产出竹笋和竹材 2 种主要产品^[2], 其中竹笋是竹鞭或秆基上的芽萌发分化而成的膨大的芽或分化的茎^[3]。竹笋营养丰富, 含有膳食纤维、多糖、矿物质、蛋白质及氨基酸等多种营养成分, 具有减肥、防肠

癌、降血脂、抗衰老等多种保健功能, 是一种传统的保健型蔬菜^[4-6]。水竹 (*Phyllostachys heteroclada*) 是竹子中的一种, 其笋呈棒状, 形细长, 先端渐尖, 肉黄白色或黄绿色, 肉质鲜嫩松脆, 味美可口^[7]。水竹笋采收期短, 只有 40 d 左右, 采收后不耐贮藏。为了便于贮藏和延长其货架期, 通过干燥将采后水竹

收稿日期: 2022-05-19; 修回日期: 2022-08-05

基金项目: 湖北省农业科技创新项目 (2020-620-000-001-25); 咸宁市研究与开发重点项目 (2020NKYF07)

作者简介: 汤涤洛, 女, 副研究员, 研究方向为食品加工。E-mail: 346324856@qq.com

通信作者: 陈学玲, 女, 副研究员, 研究方向为果蔬加工与贮藏。E-mail: 17810686@qq.com

笋制成水竹笋干是水竹笋贮藏和初加工的一个重要手段。

干燥是一种延长果蔬保质期的重要技术,常用的果蔬干燥方法有传统自然晾晒、热风干燥、真空冷冻干燥等。研究发现,不同干燥方法对果蔬营养品质的影响存在较大差异^[8-9]。但目前鲜有研究不同干燥方法对水竹笋营养品质的影响,现有水竹笋研究主要集中在物理性状、简单的营养成分分析^[4]、栽培管理方法方面^[10]。为此,笔者以新鲜的水竹笋为原料,采用真空冷冻干燥、自然晾晒和热风干燥3种干燥方法对其进行干燥处理,系统分析了不同干燥方式对营养成分、矿质元素与氨基酸组成的影响,并应用氨基酸比值系数法,以联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)氨基酸参考模式为评价标准,对氨基酸的组成进行了评价,最终筛选出最佳保留水竹笋营养价值的干燥方法,以期水竹笋开发利用提供科学依据。

1 材料与方方法

1.1 材料

试验于2021年5月8日至8月31日在湖北省咸宁市农业科学院进行。供试水竹笋采于湖北省咸宁市咸安区白云山,采摘4h之内带回实验室,选择新鲜、大小相对一致、无损伤的水竹笋,清洗干净;去除笋箨(笋皮),沸水漂烫30s,冷却,将水竹笋切成长3~4cm小段。

1.2 方法

1.2.1 水竹笋干燥工艺 (1)真空冷冻干燥:将切段的水竹笋单层均匀平铺于不锈钢托盘内, -40℃预冻12h,冷阱温度-50℃,真空度60Pa,干燥20h后取出称质量,至2次称得的质量差小于0.002g后取出,真空冷冻干燥后水分含量为3.21%。(2)自然晾晒:将切段的水竹笋单层均匀平铺于晾晒网内,将晾晒网挂于无任何遮挡物且阳光充足的地方,每天日晒8h(9:30—16:30),8h自然晾晒之外的时间将样品收进室内贮藏在干燥器中,干燥8d后称质量,再晾晒1d后称质量,至2次质量差小于0.002g,自然晾晒后水分含量为5.38%。(3)热风干燥:将切段的水竹笋单层均匀平铺于不锈钢托盘内,干燥温度为55℃,干燥10h后取出称质量,再放入干燥箱中继续烘干30min,取出称质量,至2次质量差小于0.002g后取出,热风干燥后水分含

量为4.37%。

1.2.2 水竹笋样品处理 使用粉碎机将上述水竹笋干制品粉碎,每次10s,间隔5min,粉碎3次后过60目筛。

1.3 指标测定方法

按照GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》测定灰分含量^[11];按照GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》测定蛋白质含量^[12];按照GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》测定脂肪含量^[13];按照GB 5009.7—2016《食品中还原糖的测定》测定还原糖含量^[14];按照GB 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》测定粗纤维含量^[15];按照GB 5009.268—2016《食品中多元素测定》测定铜、锌、铁、钙、镁、钾、锰含量^[16];参照耿想等^[17]的方法测定氨基酸含量。

1.4 营养评价方法

根据氨基酸比值系数法^[18-20],将不同干燥方式下水竹笋中各氨基酸组成与FAO/WHO于1973年修订的理想蛋白质人体必需氨基酸模式谱进行比较,计算样品中的下列指标:

1.4.1 必需氨基酸占总氨基酸的质量分数(Essential amino acid, EAA) $EAA/\% = \text{样品必需氨基酸含量} / \text{样品总氨基酸含量} \times 100$ 。

1.4.2 氨基酸比值(Ratio of amino acid, RAA) $RAA = \text{待测氨基酸的EAA值} / \text{模式谱中氨基酸的相应EAA值}$ 。RAA的数值越接近1,表明该必需氨基酸越接近FAO/WHO模式谱的推荐值。

1.4.3 氨基酸比值系数(Ratio coefficient of amino acid, RC) $RC = RAA / RAA \text{平均值}$,RC的数值越接近1,表明该必需氨基酸越接近FAO/WHO模式谱的推荐值,RC最小者为第一限制氨基酸^[21]。

1.4.4 氨基酸比值系数分(Score of ratio coefficient of amino acid, SRC) $SRC/\% = 100 - CV \times 100$,其中CV为RC的变异系数。SRC的数值越接近100,表明必需氨基酸的组成比例与模式谱越一致,其营养价值就越高^[22]。

1.5 数据分析

采用Excel 2017处理数据,采用SPSS 19.0进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式水竹笋主要营养成分比较

由表1可知,真空冷冻干燥与热风干燥的水竹笋灰分含量无显著性差异;自然晾晒样品灰分含量

表1 不同干燥方式水竹笋主要营养成分比较

干燥方式	w(灰分)	w(粗纤维)	w(蛋白质)	w(脂肪)	w(还原糖)
真空冷冻干燥	11.23±0.06 a	25.30±0.20 a	38.33±0.21 a	3.03±0.06 a	3.10±0.10 a
自然晾晒	9.27±0.05 b	20.50±0.10 b	36.17±0.15 c	2.80±0.10 b	2.47±0.06 b
热风干燥	11.23±0.04 a	17.07±0.06 c	36.87±0.15 b	2.23±0.06 c	2.17±0.06 c

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。表 2 同。

(w,后同)最低,为 9.27 g·100 g⁻¹,与其他 2 种干燥方式相比差异显著。3 种水竹笋干制品中粗纤维含量为 17.07~25.30 g·100 g⁻¹;真空冷冻干燥的粗纤维含量最高,其次为自然晾晒、热风干燥,且 3 者之间差异显著。水竹笋干制品中蛋白质含量为 36.17~38.33 g·100 g⁻¹,其蛋白质含量从大小依次为真空冷冻干燥>热风干燥>自然晾晒,并且 3 种干燥水竹笋蛋白质含量差异显著。水竹笋干制品中脂肪含量较低,为 2.23~3.03 g·100 g⁻¹,3 种干制水竹笋的脂肪含量差异显著。干制水竹笋中还原糖含量为 2.17~3.10 g·100 g⁻¹,3 种干燥水竹笋还原糖含量差异显著,水竹笋还原糖含量从大到小依次为真空冷冻干燥

>自然晾晒>热风干燥。从研究结果来看,不同干燥方法不仅影响竹笋的灰分、粗纤维含量,也影响其蛋白质、脂肪和还原糖含量。3 种不同的干燥方法中真空冷冻干燥下水竹笋的蛋白质、脂肪、还原糖和粗纤维含量均显著高于其他 2 种干燥方式。

2.2 不同干燥方式水竹笋矿质营养元素含量比较

由表 2 可知,3 种干燥方式干制的水竹笋的矿质元素含量从大到小依次为钾>磷>钙>镁>锰>锌>铁>铜,其中钾、磷、钙、镁的含量均较高,其他微量元素含量较低。真空冷冻干燥与热风干燥水竹笋的磷、钾、镁、铁、锰及铜含量差异不显著,但均显著高于自然晾晒处理;3 种干燥方式水竹笋的钙含

表2 不同干燥方式水竹笋矿质元素含量比较

干燥方式	w(磷)	w(钾)	w(钙)	w(镁)	w(铁)	w(锰)	w(锌)	w(铜)
真空冷冻干燥	9 260.23±106.77 a	48 466.67±240.69 a	1 976.67±58.60 a	1 680.00±40.42 a	31.03±0.42 a	132.00±1.00 a	105.00±1.00 a	18.00±0.20 a
自然晾晒	8 370.34±29.44 b	44 166.67±241.30 b	1 960.00±26.45 a	1 386.66±15.28 b	22.73±0.60 b	111.10±6.24 b	100.43±2.38 a	15.90±0.10 b
热风干燥	9 280.56±66.83 a	48 300.00±105.57 a	2 103.33±58.59 a	1 656.66±57.74 a	34.17±0.40 a	131.67±7.64 a	95.27±2.41 b	17.50±0.10 a

量差异不显著;真空冷冻干燥与自然晾晒水竹笋锌含量差异不显著,但均显著高于热风干燥处理。

2.3 不同干燥方式对水竹笋中氨基酸含量与组成的影响

2.3.1 不同干燥方式对水竹笋中氨基酸含量的影响 由表 3 可知,水竹笋干制品含有 17 种氨基酸,氨基酸种类齐全,氨基酸总量为 26.98~30.14 g·100 g⁻¹,不同干燥方式对水竹笋的氨基酸含量有一定影响。其中,自然晾晒与真空冷冻干燥、热风干燥的总氨基酸、必需氨基酸含量均存在显著差异,但真空冷冻干燥与热风干燥的总氨基酸、必需氨基酸含量无显著差异。不同干燥方式水竹笋氨基酸总量、必需氨基酸含量从大到小依次为真空冷冻干燥>热风干燥>自然晾晒。不同干燥方式下水竹笋的各氨基酸含量中均以天冬氨酸含量最高,蛋氨酸含量最低,不同干燥方式天冬氨酸含量从大到小依次为真空冷冻干燥>热风干燥>自然晾晒,且 3 种干制品的天冬氨酸含量存在显著差异。

表3 不同干燥方式水竹笋中氨基酸含量比较

w(氨基酸)	真空冷冻干燥	自然晾晒	热风干燥
w(天冬氨酸)	3.87±0.14 a	3.16±0.02 c	3.51±0.02 b
w(丝氨酸)	1.41±0.06 a	1.28±0.01 b	1.39±0.03 a
w(谷氨酸)	3.37±0.14 a	3.09±0.03 c	3.29±0.03 b
w(脯氨酸)	2.64±0.13 a	2.43±0.02 b	2.60±0.01 ab
w(甘氨酸)	1.21±0.06 ab	1.16±0.01 b	1.26±0.01 a
w(丙氨酸)	1.64±0.07 ab	1.56±0.01 b	1.67±0.01 a
w(精氨酸)	1.72±0.07 a	1.57±0.01 b	1.70±0.02 a
w(组氨酸)	0.69±0.03 a	0.42±0.01 b	0.68±0.01 a
w(酪氨酸)Δ	3.10±0.14 a	2.61±0.02 b	3.09±0.02 a
w(胱氨酸)Δ	1.14±0.02 a	1.01±0.04 b	1.09±0.03 a
w(苏氨酸)*	1.18±0.04 a	1.06±0.02 b	1.15±0.01 a
w(缬氨酸)*	1.54±0.07 a	1.42±0.01 b	1.52±0.01 ab
w(蛋氨酸)*	0.18±0.00 b	0.20±0.01 a	0.15±0.00 b
w(赖氨酸)*	2.04±0.09 a	1.89±0.01 b	2.02±0.02 a
w(异亮氨酸)*	1.17±0.05 a	1.05±0.02 b	1.14±0.01 a
w(亮氨酸)*	1.92±0.09 a	1.89±0.01 b	1.90±0.01 a
w(苯丙氨酸)*	1.32±0.14 a	1.18±0.03 b	1.20±0.03 b
w(必需氨基酸)	9.35±0.09 a	8.69±0.10 b	9.08±0.12 a
w(总氨基酸)	30.14±0.25 a	26.98±0.21 b	29.36±0.26 a

注:*为必需氨基酸,Δ为半必需氨基酸。同行不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

2.3.2 不同干燥方式水竹笋中必需氨基酸组成评价 由表4可知,不同干燥方法水竹笋中的苯丙氨酸+酪氨酸质量分数最高,为14.05%~14.66%,是FAO/WHO建议值的2.34~2.44倍,不同干燥方法下

表4 不同干燥方式水竹笋必需与半必需氨基酸占总氨基酸的质量分数(EAA)与FAO/WHO模式谱比较 %

氨基酸	真空冷冻干燥	自然晾晒	热风干燥	FAO/WHO推荐值
缬氨酸	5.11	5.26	5.18	5.00
苏氨酸	3.92	3.93	3.92	4.00
异亮氨酸	3.88	3.89	3.88	4.00
亮氨酸	6.37	7.01	6.47	7.00
赖氨酸	6.77	7.01	6.88	5.50
苯丙氨酸+酪氨酸	14.66	14.05	14.61	6.00
蛋氨酸+胱氨酸	4.38	4.49	4.23	3.50
合计	45.09	45.63	45.16	35.0

苯丙氨酸+酪氨酸质量分数从大到小依次为真空冷冻干燥>热风干燥>自然晾晒;其次是赖氨酸,质量分数为6.77%~7.01%,是FAO/WHO建议值的1.23~1.27倍。不同干燥方式下水竹笋的必需与半必需氨基酸总量占总氨基酸的质量分数均大于45.00%,小于46.00%。

2.3.3 采用氨基酸比值系数法评价不同干燥方式水竹笋中蛋白质营养价值 由表5可知,不同干燥方式水竹笋的RAA、RC值均大于1的为苯丙氨酸+酪氨酸,而RAA、RC值都小于1的为苏氨酸、异亮氨酸。不同干燥方法下水竹笋氨基酸的比值系数分(SRC)相差不大,为57.21~61.46,但是营养价值较高。在各种必需氨基酸中,真空冷冻干燥、热风干燥的第一限制氨基酸为亮氨酸,自然晾晒的第一限制氨基酸为异亮氨酸。

表5 不同干燥方式水竹笋各种氨基酸的RAA、RC、SRC分析结果

干燥方式	项目	缬氨酸	苏氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	SRC
真空冷冻干燥	RAA	1.02	0.98	0.97	0.91	1.23	2.44	1.25	57.21
	RC	0.81	0.78	0.78	0.72	0.98	1.94	0.99	
自然晾晒	RAA	1.05	0.98	0.97	1.00	1.27	2.34	1.28	61.46
	RC	0.83	0.77	0.76	0.79	1.01	1.84	1.01	
热风干燥	RAA	1.04	0.98	0.97	0.92	1.25	2.44	1.21	57.49
	RC	0.83	0.78	0.77	0.73	0.99	1.94	0.96	

3 讨论与结论

食品中灰分、粗纤维、蛋白质、脂肪和还原糖含量是其营养价值高低的重要判断指标^[23-25]。不同干燥方式明显影响果蔬的营养价值。代昌雨等^[26]采用不同干燥方式对方竹笋进行干燥,研究结果表明,不同干燥方式下方竹笋干中的蛋白质、还原糖含量不同。朱蕴兰等^[27]在芦笋上的研究表明,不同干燥方式下芦笋的维生素C含量、蛋白质含量和多糖含量不同。笔者的研究表明,不同干燥方式下水竹笋的灰分、粗纤维、蛋白质、脂肪、还原糖含量不同。真空冷冻干燥水竹笋的粗纤维、蛋白质、脂肪及还原糖含量均显著高于自然晾晒及热风干燥处理。水竹笋干制品中蛋白质含量为36.17~38.33 g·100 g⁻¹,蛋白质含量丰富,对人体有较高的营养价值,其中蛋白质含量从大到小依次为真空冷冻干燥>热风干燥>自然晾晒,自然晾晒的蛋白质含量最低,可能是自然晾晒干燥时间较长,在干燥过程中,因饥饿代谢、自体溶解等因素造成营养物质损耗过多^[28]。真空冷冻干燥下水竹笋蛋白质、脂肪、还原糖

和粗纤维含量高于其他2种干燥方式,说明采用真空冷冻干燥方式干燥水竹笋有利于保留其中的营养物质。

矿质元素是激素、维生素、蛋白质和多种酶的重要组成部分,在人体保健方面起着重要作用^[29]。张文娥等^[30]等在研究干燥方式与贮藏时间对铁核桃雄花营养成分及抗氧化活性的影响中发现,干燥方式对矿质营养元素含量无明显影响,但于静静等^[31]在研究不同干燥方式对红枣品质特性的影响中发现不同干燥方式下红枣的矿质营养变化规律不同。笔者的研究表明,不同干燥方式下水竹笋干制品钾、磷、钙、镁量较为丰富。真空冷冻干燥和热风干燥处理磷、钾、镁、铁、锰及铜含量差异不显著,但均显著高于自然晾晒,这可能与矿物质为非热敏性物质,干燥温度对其影响较小有关^[32]。

氨基酸是构成蛋白质的基本单位,是人体必需的重要营养元素^[33]。张高静^[34]在不同干燥技术对南美白对虾干燥特性和产品品质影响的对比研究中发现,不同干燥方式对南美白对虾干制品氨基酸含量的影响不同,真空冷冻干燥所得产品的各类氨基

酸含量均高于日光晾晒干燥、热风干燥、太阳能干燥。笔者的研究表明,3种干燥方式水竹笋干制品氨基酸总量为26.98~30.14 g/100 g¹,高于常见的大白菜、芹菜、甘蓝、生菜等蔬菜,是富含多种氨基酸的绿色保健食品^[35]。真空冷冻干燥后水竹笋的氨基酸总量、必需氨基酸总量均最高,热风干燥次之,自然晾晒最低。3种干燥方式干燥获得的水竹笋干不仅含有丰富的呈味氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸),还含有丰富的芳香族氨基酸(苯丙氨酸、酪氨酸)、甜味氨基酸(丝氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸)^[36]。

优质食物的蛋白质不仅要求必需氨基酸种类齐全,而且组成比例也要适宜,组成比例越接近人体必需氨基酸组成比例越容易吸收,营养价值也越高^[37]。陈红雷等^[38]在研究不同干燥方式对蝇蛆蛋白粉营养价值的影响中发现,与FAO/WHO参考模式值相比,冷冻干燥蝇蛆粉的必需和半必需氨基酸总量明显高于FAO/WHO参考模式值,微波干燥的蝇蛆粉与FAO/WHO参考模式值相当,而低温干燥的蝇蛆粉中必需与半必需氨基酸含量显著低于FAO/WHO参考模式值。笔者的研究表明,不同干燥方式下水竹笋的必需与半必需氨基酸总量在总氨基酸中占比均大于45.00%,高于FAO/WHO参考模式值。不同干燥方式下水竹笋中赖氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸、蛋氨酸+胱氨酸及缬氨酸的占比高于标准模式谱,苏氨酸、异亮氨酸的占比略偏低于标准模式,表明不同干燥方式水竹笋与推荐的人体必需氨基酸相比,必需氨基酸丰富且比较均衡,营养价值较高。

不同食品蛋白质中氨基酸的组成比例各不相同,其营养价值的优劣主要取决于必需氨基酸的种类、含量和所占比例。林宝妹等^[39]在研究2种干燥方式下蚕豆氨基酸品质的比较分析中发现,蚕豆冻干粉的SRC值低于蚕豆干燥粉。谢丽源等^[21]在研究不同羊肚菌品种氨基酸营养评价及等鲜浓度值差异分析时发现,苏氨酸、缬氨酸及苯丙氨酸+酪氨酸在羊肚菌中均相对过剩,而色氨酸均表现为相对不足。而笔者的研究表明,不同干燥方式下过剩和不足的氨基酸不尽相同,但总的来说,苯丙氨酸+酪氨酸在水竹笋干中均相对过剩,而异亮氨酸均表现为相对不足,3种不同干燥方式下水竹笋SRC均接近60%,营养价值较高^[21]。在各种必需氨基酸中,真空冷冻干燥、热风干燥的第一限制氨基酸为亮氨酸,自然晾晒的第一限制氨基酸为异亮氨酸。

综上所述,水竹笋干制品基本营养成分、矿质

营养元素、氨基酸种类齐全,营养价值丰富。3种不同干燥方式下水竹笋SRC接近60%。真空冷冻干燥、热风干燥的第一限制氨基酸为亮氨酸,自然晾晒的第一限制氨基酸为异亮氨酸。而真空冷冻干燥下水竹笋的基本营养成分(蛋白质、脂肪、还原糖、粗纤维)、矿质元素(钾、镁、锰、锌、铜)、氨基酸总量和必需氨基酸总量均高于其他2种干燥方式。所以,真空冷冻干燥是水竹笋较理想的干燥方式。

参考文献

- [1] 杨金来,吴良如,杨慧敏,等.竹笋化学成分研究进展[J].竹子学报,2017,36(3):72-76.
- [2] YANG J L, WU L R, YANG H M, et al. Using the major components (Cellulose, Hemicellulose, and Lignin) of phyllostachys praecox bamboo shoot as dietary fiber[J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2021, 9:669136.
- [3] 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.
- [4] 邱永华,邵小根,张发根,等.水竹笋物理性状和营养成分分析[J].浙江林学院学报,1999,16(2):94-96.
- [5] SINGHAL P, BAL L M, SATYA S, et al. Bamboo shoots: A novel source of nutrition and medicine[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(5):517-534.
- [6] 陈功,肖颜林,徐德琼,等.竹笋加工与综合利用[M].北京:化学工业出版社,2007:36-37.
- [7] 金爱武,吴鸿,傅秋华,等.竹笋高效益生产关键技术[M].北京:中国农业出版社,2004:18-19.
- [8] 彭芍丹,黄晓兵,静玮,等.干燥方式对高良姜片理化特性的影响[J].食品科学,2017,38(1):165-170.
- [9] 赖谱富,汤葆莎,李怡彬,等.不同干燥方式制备海鲜菇物性及营养品质的灰色关联分析[J].核农学报,2021,35(9):2118-2126.
- [10] 金爱武,董林根,张发根,等.野生水竹笋的开发利用研究[J].中国野生植物资源,1999,18(4):32-33.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中灰分的测定:GB 5009.4—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [13] 中华人民共和国国家卫生部,中国国家标准化管理委员会.食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中还原糖的测定:GB 5009.7—2016[s].北京:中国标准出版社,2016.
- [15] 中华人民共和国国家卫生部,中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品

- 监督管理总局.食品安全国家标准 食品中多元素的测定:GB 5009.268—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [17] 耿想,姚曦,尤俊昊,等.不同干燥方式对竹笋品质的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(16):144-149.
- [18] 陈蓬凤,蔡芳,王少华,等.马铃薯蛋白营养价值评价及其热处理后的消化特性[J].食品与发酵工业,2021,47(19):168-173.
- [19] 彭超,蔡春菊,涂佳,等.以竹屑为主要培养基质的食用菌营养成分差异及评价[J].热带作物学报,2021,42(7):2052-2058.
- [20] 于文清,彭艳芳,许迎迎,等.五种野生食用菌干品营养及鲜味成分分析和评价[J].天然产物研究与开发,2015,27(2):271-276.
- [21] 谢丽源,兰秀华,唐杰,等.不同羊肚菌品种氨基酸营养评价及等鲜浓度值差异分析[J].天然产物研究与开发,2020,32(6):1023-1029.
- [22] 李鹏,殷继英,田嘉,等.扁桃种仁氨基酸组分及加工品质分析[J].中国食品学报,2018,18(12):270-282.
- [23] 王茜,王曙光,邓琳,等.不同种源版纳甜龙竹竹笋营养成分分析[J].西南林业大学学报(自然科学),2017,37(5):188-193.
- [24] 李冬林,陈天国.采收期对3种笋用竹竹笋营养及氨基酸含量的影响[J].江苏林业科技,2021,48(4):11-15.
- [25] 周美琪,周其德,田赛莺,等.低盐腌制对缙云梅干菜加工品质的影响[J].核农学报,2018,32(8):1562-1571.
- [26] 代昌雨,吕朝燕,马秀情,等.不同干燥方式对方竹笋品质的影响[J].江苏农业科学,2021,49(22):175-179.
- [27] 朱蕴兰,陈宏伟,陈安徽,等.不同干燥方式对芦笋营养与品质特性的影响[J].北方园艺,2018(1):129-134.
- [28] 周娟娟,王欣荣,吴建平,等.调制方式对苜蓿青干草干燥特性和营养品质的影响[J].草业科学,2013,30(8):1272-1277.
- [29] 洪伟,林存炎,吴承祯,等.毛竹笋品质的区域分异性分析[J].福建林学院学报,2007,27(4):289-293.
- [30] 张文娥,王长雷,史斌斌,等.干燥方式与贮藏时间对铁核桃雄花营养成分及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2016,37(9):105-110.
- [31] 于静静,毕金峰,丁媛媛.不同干燥方式对红枣品质特性的影响[J].现代食品科技,2011,27(6):610-614.
- [32] 郭刚军,胡小静,徐荣,等.干燥方式对辣木叶营养、功能成分及氨基酸组成的影响[J].食品科学,2018,39(11):39-45.
- [33] ERKAN N, ÖZDEN Ö. The changes of fatty acid and amino acid compositions in sea bream (*Sparus aurata*) during irradiation process[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2007, 76(10):1636-1641.
- [34] 张高静.不同干燥技术对南美白对虾干燥特性和产品品质影响的对比研究[D].河北保定:河北农业大学,2013.
- [35] 张忠,郭巧玲,李凤林.食品生物化学[M].北京:中国轻工业出版社,2009.
- [36] 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.
- [37] 王芳,乔璐,张庆庆,等.桑叶蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J].食品科学,2015,36(1):225-228.
- [38] 陈红雷,李耀伟,李广宏,等.不同干燥方法对蝇蛆蛋白粉营养价值的影响[J].环境昆虫学报,2012,34(2):208-213.
- [39] 林宝妹,邱珊莲,郑开斌.2种干燥方式下蚕豆氨基酸品质的比较分析[J].福建农业科技,2021,52(6):52-57.