

不同加工工艺对香菇脆片的营养价值与非挥发性风味成分的影响

高兴洋¹, 马高兴¹, 杨文建², 裴斐², 赵立艳¹, 安辛欣¹, 胡秋辉^{1*}

(1. 南京农业大学食品科学技术学院, 南京 210095; 2. 南京财经大学食品科学与工程学院, 南京 210023)

摘要: **目的** 以矿物元素、氨基酸、可溶性糖和呈味核苷酸含量为对比指标, 分析真空低温油炸和真空冷冻干燥两种加工工艺制成的香菇脆片的营养特性及非挥发性风味成分差异。 **方法** 采用微波消解电感耦合等离子体质谱法对样品中矿物元素含量进行测定; 采用氨基酸分析仪对样品中氨基酸含量进行测定; 采用高效液相色谱法对样品中各类非挥发性成分进行测定。 **结果** 在矿物元素含量方面, 两种香菇脆片差异显著, 其中真空低温油炸对香菇中的钾、钙及锌元素含量破坏严重, 锰元素则在两种产品中含量较低; 在氨基酸含量方面, 除必需氨基酸外, 真空低温油炸对脆片中氨基酸破坏程度显著强于真空冷冻干燥, 但真空低温油炸脆片的蛋白质营养价值更高; 在非挥发性成分方面, 两种产品的甘露醇、葡萄糖、海藻糖及各类呈味核苷酸含量差异显著, 其中真空冷冻干燥香菇脆片的可溶性糖含量较高, 而真空低温油炸香菇脆片呈味核苷酸含量较高, 且两种香菇脆片中均不含有 5'-肌苷酸和 5'-黄苷酸。 **结论** 两种加工工艺对香菇脆片的营养特性及非挥发性风味成分的影响差异显著。其中, 真空低温冷冻油炸工艺可以增强香菇脆片的食用风味, 且可以增加脆片的蛋白质营养价值, 但真空冷冻干燥香菇脆片的矿物元素和可溶性糖含量更高。

关键词: 香菇脆片; 真空低温油炸; 真空冷冻干燥; 营养特性; 非挥发性风味成分

Effect of different dehydration progress on the nutritive value and non-volatile components of shiitake (*Lentinula edodes*) chips

GAO Xing-Yang¹, MA Gao-Xing¹, YANG Wen-Jian², PEI Fei², ZHAO Li-Yan¹, AN Xin-Xin¹, HU Qiu-Hui^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

ABSTRACT: Objective To compare the content of mineral elements, amino acid, soluble sugar and nucleotide in *Lentinous edodes* chips, which were manufactured by vacuum freeze drying and vacuum frying. The differences of nutritive peculiarity and non-volatile flavor components in these two kinds of chips were analyzed. **Methods** The microwave inductively coupled plasma mass spectrometry (microwave-ICP-MS) was used for the detection of mineral elements; the amino acid analyzer was used for the detection of amino acids; and the high performance liquid chromatography was used for the detection of non-volatile flavor components. **Results** The two kinds of chips exhibited significant differences in the

基金项目: 国家食用菌产业技术体系建设专项(CARS-24)

Fund: Supported by National Edible Fungus Industry Technology System Construction Project (CARS-24)

*通讯作者: 胡秋辉, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工与安全。E-mail: qiuhuihu@njau.edu.cn

*Corresponding author: HU Qiu-Hui, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, No.1 Weigang Road, Nanjing 210095, China. E-mail: qiuhuihu@njau.edu.cn

mineral elements. The vacuum freeze drying progress had a deep destruction on the potassium, calcium and zinc in *Lentinous edodes*, and both kinds of chips had low level of manganese. For the amino acid, the vacuum frying method showed a stronger destruction on the amino acid except the essential amino acid, but the vacuum frying chips had higher protein nutrition. The differences of the content of mannitol, glucose, mycose and all the nucleotide in the two kinds of chips were significant. The soluble sugar content in the vacuum freeze drying chips were higher than the vacuum frying chips and the nucleotide in vacuum frying showed a much higher level. But no 5'-hypoxanthine nucleotide (5'-IMP) and 5'-xanthine nucleotide (5'-XMP) were detected in all the two kinds of chips. **Conclusion** The two processing techniques displayed a significant effect on the nutritive peculiarity and non-volatile flavor components in these two kinds of chips, and the vacuum frying drying method could enhance the edible flavor and the protein nutrition of *Lentinous edodes* chips, but the *Lentinous edodes* chips made by vacuum freeze drying method showed a much higher level of mineral elements and soluble sugars.

KEY WORDS: *Lentinous edodes* chips; vacuum frying; vacuum freeze drying; nutrition value; non-volatile flavor components

1 引言

香菇脆片是近年来随着人民生活水平的提高以及工作节奏的加快产生的新型即食休闲食品,主要采用特定的干燥工艺对新鲜香菇进行脱水制成,在不流失香菇特定营养的同时,延长了其货架期,且很大程度保留了香菇的色香味,是一种具有较高产品附加值和较强市场竞争力的食品^[1]。

目前生产脆片最常采用的干燥工艺为真空低温油炸工艺,其作用原理是将油炸和脱水作用有机地结合在一起,造成样品所处环境的负压状态,进而在这种相对缺氧的条件下对食品进行加工。这种方法由于其低温、低压、低氧的环境,对食品原料的营养、感官品质破坏较少且可以有效降低产品的含油率^[2]。但是,真空低温油炸在某些程度上,由于其油炸环境仍会对食品原料的营养成分产生不同程度的损害,且对产品的色泽等感官品质产生较大的影响^[3],所以,一种新型干燥工艺——真空冷冻干燥工艺逐渐被应用到果蔬干燥产品的生产过程中。真空冷冻干燥技术是真空技术与冷冻技术相结合的新型干燥脱水技术,其先将食品冻结,然后在较高的真空度下,通过冰晶升华作用将水分除去而获得干燥效果,可以较大程度地确保产品的感官及营养品质^[4]。真空冷冻干燥产品具有良好的速溶性和复水性,符合当今社会关于“绿色食品”、“方便食品”和“保健食品”的发展趋势。但是,真空冷冻干燥技术由于工艺生产周期较长、耗能巨大,其发展受到较大限制^[5]。

本实验以产品营养品质(矿物元素、氨基酸含量)和非挥发性风味成分(可溶性糖、呈味核苷酸)为分析对比指标,对当今生产脆片的两种主要工艺,真空冷冻干燥工艺和真空低温油炸工艺所生产的香菇脆片进行对比研究,为以香菇为原料的脱水干燥产品的生产提供理论指导,以满足生产及消费者的需要。

2 材料与方法

2.1 材料

新鲜香菇: 江苏南京众彩农贸市场; 食盐: 中盐青岛盐业有限公司; 白砂糖: 湛江市金丰糖业有限公司; 麦芽糊精: 山东西王糖业有限公司; 食用棕榈油: 上海益海嘉里公司; 铁、锌、锰、镁、钠等矿物质元素标准储备液: 国家标准物质中心; 各氨基酸标准品: Sigma 公司; 葡萄糖、海藻糖、甘露醇、5'-腺苷酸(5'-AMP)、5'-胞苷酸(5'-CMP)、5'-鸟苷酸(5'-GMP)、5'-肌苷酸(5'-IMP)、5'-鸟苷酸(5'-UMP)、5'-黄苷酸(5'-XMP), 优级纯: 阿拉丁试剂(上海)有限公司。

2.2 仪器设备

(VF)XSD-60 型真空低温油浴脱水设备, 济南新思达机械有限公司; 12 L 真空冷冻干燥机, 美国 Labconco 公司; HH-6 数显恒温水浴锅, 江苏国华电器有限公司; Agilent 1100 高效液相色谱仪, 美国 Agilent 公司; Alltech 3300 型蒸发光散射检测器, 美

国 Alltech 公司; N-1001 旋转蒸发仪, 日本东京理化器械株式会社; PB602-22 电子精密天平, 梅特勒-托利多仪器有限公司; 835-50 型氨基酸自动分析仪, 日本日立公司; CEM 微波消解仪, 美国培安公司; 7700x 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS), 美国 Agilent 公司。

2.3 方法

2.3.1 香菇脆片前处理

按照前期预实验优化结果对新鲜香菇进行去蒂、清洗后沥干水分并纵向切成薄片, 厚度约为 1 cm, 然后按料液比 1.5(m:V)的比例称取香菇并置于含质量分数分别为 18%麦芽糊精、1.3%盐、8%糖的浸渍液中 90 °C 浸渍 7 min, 将浸渍后的香菇用流动水漂洗 1 min 并控干水分后, 置于-35 °C 冰柜中冷冻 10 h。

2.3.2 真空低温脱水工艺条件

经过前处理后的香菇分别采用真空低温油炸和真空冷冻干燥进行脱水处理, 其中脱水过程采用前期预实验优化的工艺参数。

真空低温油炸工艺条件: 取上述冷冻后的香菇置于真空低温油炸脱水设备中, 并在真空度为 (0.096±0.001)MPa, 油炸温度为(90±5) °C 的条件下进行真空低温油炸 40 min, 使香菇脆片中的水分含量降至 5%以下, 然后以 350 r/min 的脱油转速脱油 4 min。

真空冷冻干燥工艺条件: 取上述冷冻后的香菇置于真空冷冻干燥机中, 并在真空度为 0.1 MPa, 温度为 30 °C 的条件下进行真空冷冻干燥 43 h。按此条件处理, 香菇脆片中的水分含量可降至 5%以下。

2.3.3 矿物元素含量测定

采用微波消解-ICP-MS 法对样品中铁、锌、锰、镁、钠、钾、钙 7 种元素含量进行测定。具体微波消解程序和 ICP-MS 工作参数分别见表 1 和表 2。

在上述仪器条件下, 采用 ICP-MS 法, 对香菇脆片中 7 种矿物元素的含量进行测定, 每份样品测定 3 次。

2.3.4 总氨基酸含量测定

样品预处理: 称取两种香菇脆片样品各 0.1500 g,

将样品分别放入水解管中, 加入 10 mL 6 mol/mL HCl 后封口, 并置液氮中冷冻 1~2 min, 然后放入恒温干燥箱中于(110±1) °C 水解 22~24 h。将水解后的样品转移至蒸馏瓶, 旋转蒸发去除盐酸。所得样品用 0.02 mol/L HCl 定容至 50 mL, 吸取少量水解液经 0.22 μm 滤膜过滤后上机分析。分析前用柠檬酸钠缓冲溶液稀释样品。

测定条件: 分析柱: 标准分析柱(4.6 mm×60 mm), 带保护柱; 交换树脂: NO.2622, 3 μm 日本日立公司; 柱温: 57 °C; 反应器温度 135 °C;

检测波长: 第一通道: 570 nm, 第二通道: 440 nm; 进样体积: 20 μL。

2.3.5 可溶性糖含量的测定

样品的制备: 称取 0.4000 g 干制样品, 冰浴研磨均匀, 加入 50 mL 体积分数 80%的乙醇, 于 50 °C 水浴中震荡提取 40 min, 4500 r/min 离心 15 min, 倾出上清液, 残渣用同样方法提取 2 次, 合并 3 次上清液, 真空旋转蒸发仪浓缩至干, 经体积分数 70%乙腈溶液溶解, 分别定容于 50 mL 容量瓶中, 然后经 0.45 μm 滤膜过滤后待用。

HPLC-ELSD 外标法色谱条件: 色谱柱 Sugar-D (4.6 mm×250 mm, 5 μm, Nacalai Tesque Inc.); 柱温 40 °C; 流动相为乙腈-水(75:25, V:V); 流速 0.9 mL/min; 漂移管温度 55 °C; 氮气流速 2.5 L/min; 进样量 20 μL。

2.3.6 呈味核苷酸含量的测定

样品的制备: 称取 0.6000 g 样品, 冰浴研磨, 加入 15 mL 超纯水, 煮沸 1 min, 冷却, 4500 r/min 离心 15 min, 残渣重提一次, 合并 2 次上清液, 旋转蒸发仪浓缩定容, 过 0.45 μm 滤膜后, 上机测试。

HPLC-ELSD 外标法色谱条件: 色谱柱 Zorbax Eclipse XDB-C₁₈(250 mm×4.6 mm, 5 μm, Agilent); 柱温 25 °C; 流动相为超纯水-甲醇-冰乙酸-四丁基氢氧化铵(894.5: 100: 5: 0.5, V:V:V:V); 检测波长 254 nm; 流速 0.6 mL/min; 进样量 20 μL。

表 1 CEM 微波消解程序
Table 1 CEM microwave digestion procedure

步骤	功率/w	百分比/%	升温时间/min	压力/psi	控制温度/°C	持续时间/min
1	400	100	10	300	120	10
2	800	100	4	300	150	10
3	1000	100	10	300	175	25

表2 ICP-MS 工作参数
Table 2 ICP-MS operating parameters

工作参数	设定值
真空度/Pa	2.76E ⁻²
四级杆真空度/Pa	1.57E ⁻⁴
射频功率/w	1550
采样深度/mm	8.0
雾化室温度/°C	2.1
载气流量/mL.min ⁻¹	1.02
样品提示速率/r.s ⁻¹	0.1
可选气体流量/%	5
泵速/r.s ⁻¹	0.2
氧化物	(CeO/Ce)≤1.23%
双电荷	(Ce ²⁺ /Ce)≤0.94%
峰形	3 个点
重复次数	3
采集模式	TRA
积分时间/质量数/s	0.5
采样周期/s	0.5
采集时间/s	30
样品引入	Agilent 1200LC
雾化器类型	Micromist
透镜类型	X 透镜

2.4 数据处理

样品中非挥发性风味成分数据分析采用微软 Office Excel 2003 和 IBM SPSS Statistics 19 软件进行统计分析, 利用最小显著差异法(LSD)对样品数据进行多重比较分析, $P < 0.05$ 则认为样品平均值之间存在显著性差异。

3 结果与分析

3.1 两种香菇脆片中矿物元素含量的比较

表 3 将两种加工工艺生产的香菇脆片中矿物质含量进行了比较, 从中可以看出, 两种加工工艺生产的香菇脆片的矿物质含量差异显著, 其中, 相对于真空冷冻干燥香菇脆片, 真空低温油炸香菇脆片的钾、钙及锌元素含量较低, 铁元素含量较高, 在 $P < 0.05$ 水平差异显著。究其原因, 可能是因为在真空低温油炸过程中, 部分矿物质随着油水替换的过程出现了

流失, 而在真空冷冻干燥过程中, 大部分矿物质元素在水分蒸发的过程中仍然留在了脆片中^[6]。对于铁元素来说, 可能是因为真空油炸及脱油过程是在铁容器中进行, 所以导致了其所含铁元素含量高于真空冷冻干燥香菇脆片产品^[7]。

表3 两种加工工艺对香菇脆片矿物质含量(mg/kg, d.b)的影响

Table 3 Effects of two processing techniques on mineral elements content(mg/kg, d.b)in <i>Lentinous edodes</i> chips		
	冷冻干燥香菇脆片	真空低温油炸香菇脆片
钾/K	54.89±3.41 ^a	39.72±1.96 ^b
钙/Ca	35.99±1.32 ^a	26.29±2.09 ^b
钠/Na	381.23±5.98 ^b	395.09±3.76 ^a
镁/Mg	44.26±0.98 ^a	43.15±1.65 ^a
铁/Fe	22.72±2.91 ^b	33.68±1.99 ^a
锰/Mn	6.24±0.21 ^a	6.17±0.05 ^a
锌/Zn	33.92±2.11 ^a	21.81±1.45 ^b

注: 不同字母表示具有统计学显著性差异($P < 0.05$)

3.2 两种香菇脆片中氨基酸含量的比较

氨基酸是构成生物体蛋白质并同生命活动有关的最基本的物质, 它在抗体内具有特殊的生理功能, 是生物体内不可缺少的营养成分之一^[8, 9]。利用氨基酸自动分析仪对两种香菇脆片样品中 17 种氨基酸含量进行了测定, 结果如表 4 所示。真空低温油炸香菇脆片氨基酸总量显著低于真空冷冻干燥香菇脆片, 可能是因为真空低温油炸过程中温度太高, 使得美拉德反应更易发生, 从而造成氨基酸损失大于真空冷冻干燥香菇脆片^[10]; 真空低温油炸香菇脆片中丝氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、赖氨酸、脯氨酸含量均显著低于真空冷冻干燥香菇脆片, 且这几种氨基酸中除赖氨酸外均为必需氨基酸, 说明真空低温油炸对香菇中必需氨基酸造成了更大程度的破坏, 可能是由于真空低温油炸部分氨基酸在油炸环境中转换成了其它物质; 天冬氨酸和酪氨酸在真空低温油炸香菇脆片中含量较高($P < 0.05$); 其他氨基酸在两种香菇脆片中含量无显著差异($P > 0.05$)。

3.3 两种香菇脆片中各类氨基酸含量比较

从营养学的角度对氨基酸进行分类, 可分为必需氨基酸、非必需氨基酸和半必需氨基酸。表 5 对两种香菇脆片各类氨基酸含量进行了统计, 由该表可

以看出, 两种加工工艺的香菇脆片产品中必需氨基酸没有显著性差异, 但真空低温油炸对香菇中的非必需氨基酸和半必需氨基酸的破坏程度大于真空冷冻干燥, 两者差异显著($P < 0.05$)。

表 4 两种加工工艺对香菇脆片氨基酸含量(mg/g, d.b)的影响

Table 4 Effect of two processing techniques on amino acid content(mg/g, d.b)of *Lentinous edodes* chips

氨基酸	含量(mg/g 干基重)	
	真空低温油炸香菇脆片	真空冷冻干燥香菇脆片
天冬氨酸 Asp*	15.16±0.08 ^a	13.48±0.05 ^b
苏氨酸 Thr#	7.94±0.12 ^a	7.85±0.01 ^a
丝氨酸 Ser*	14.01±0.07 ^b	14.89±0.21 ^a
谷氨酸 Glu*	27.84±0.05 ^a	28.12±0.10 ^a
甘氨酸 Gly*	8.83±0.09 ^b	12.43±0.02 ^a
丙氨酸 Ala*	12.03±0.04 ^a	12.77±0.08 ^a
缬氨酸 Val#	8.30±0.10 ^a	8.28±0.06 ^a
半胱氨酸 Cys*	2.52±0.09 ^b	3.42±0.19 ^a
蛋氨酸 Met#	2.86±0.06 ^a	2.93±0.06 ^a
异亮氨酸 Ile#	6.11±0.09 ^a	6.01±0.02 ^a
亮氨酸 Leu#	13.00±0.09 ^a	13.15±0.03 ^a
酪氨酸 Tyr*	4.86±0.02 ^a	4.63±0.02 ^b
苯丙氨酸 Phe#	10.16±0.90 ^a	10.67±0.22 ^a
赖氨酸 Lys#	11.57±0.18 ^b	12.24±0.04 ^a
组氨酸 His+	5.27±0.28 ^a	5.55±0.12 ^a
精氨酸 Arg+	9.33±0.09 ^a	9.63±0.05 ^a
脯氨酸 Pro*	6.75±0.31 ^b	7.53±0.21 ^a
合计总量	166.54±1.01 ^b	173.58±0.32 ^a

注: 不同字母表示具有统计学显著性差异($P < 0.05$)

表 5 两种加工工艺对香菇脆片各类氨基酸含量(mg/g, d.b)的影响

Table 5 Effect of two processing techniques on various category of amino acid content(mg/g, d.b)of *Lentinous edodes* chips

各类氨基酸	含量(mg/g 干基重)	
	真空低温油炸香菇脆片	真空冷冻干燥香菇脆片
必需氨基酸	59.94±0.69 ^a	61.13±0.61 ^a
非必需氨基酸	92.00±1.09 ^b	97.27±1.32 ^a
半必需氨基酸	14.6±0.11 ^b	15.18±0.12 ^a

注: 必需氨基酸为 Thr、Val、Met、Ile、Leu、Phe 和 Lys 的总和; 非必需氨基酸为 Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Tyr 和 Pro 的总和; 半必需氨基酸是指 His 和 Arg 的总和。不同字母表示具有统计学显著性差异($P < 0.05$)。

3.4 两种香菇脆片中必需氨基酸营养价值评估

采用必需氨基酸指数和必需氨基酸相对比值的评价方法对样品蛋白质营养价值进行全面评估, 这两个值能够客观反映蛋白质中必需氨基酸与标准蛋白质的偏离程度, 且数值越接近 100 说明被评价蛋白质中各必需氨基酸含量与标准模式越一致。以鸡蛋蛋白质氨基酸参考模式为评价标准, 按照钱爱萍等所^[1]介绍方法, 对两种香菇脆片的必需氨基酸进行营养评价, 结果如表 6 所示。

表 6 两种工艺对香菇脆片必需氨基酸比例、必需氨基酸指数、必需氨基酸相对比值的影响

Table 6 Effect of two processing techniques on essential amino acids ratio, essential amino acid index (EAAI), and essential amino acids relative ratio (EAARR) of *Lentinous edodes* chips

项目	真空低温油炸香菇脆片	真空冷冻干燥香菇脆片	鸡蛋模式推荐值 (%)
苏氨酸	4.77	4.52	5.1
缬氨酸	4.98	4.77	7.3
蛋氨酸+半胱氨酸	3.23	3.66	5.5
异亮氨酸	3.67	3.46	6.6
亮氨酸	7.81	7.58	8.8
苯丙氨酸+酪氨酸	9.02	8.82	10.0
赖氨酸	6.95	7.05	6.4
必需氨基酸指数	73.16	71.31	
必需氨基酸相对比值	74.79	72.44	

由表 6 可知, 进行真空低温油炸和真空冷冻干燥处理均使得香菇中缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和赖氨酸的含量更加接近于鸡蛋模式推荐值, 尤其是真空低温油炸香菇脆片。采用必需氨基酸指数和必需氨基酸相对比值的评价方法对样品蛋白质营养价值进行全面评估, 发现真空低温油炸脆片的这两个指标更接近 100, 说明真空低温油炸工艺较真空冷冻干燥工艺更有利于对于改善香菇中必需氨基酸比例, 从而反映出真空低温油炸香菇脆片的蛋白质营养价值更高($P < 0.05$)。

3.5 两种香菇脆片中可溶性糖含量比较

表7显示了两种加工工艺的香菇脆片中的可溶性糖含量。其中,两种加工方式生产的脆片中的海藻糖含量未发现显著差异($P>0.05$),而对于甘露醇和葡萄糖,两种脆片差异显著($P<0.05$)这可能是由于在真空低温油炸过程中,葡萄糖、甘露醇发生了美拉德反应所致。真空冷冻干燥香菇脆片中甘露醇含量为 30.74 ± 0.09 mg/g干基重,显著高于真空低温油炸香菇脆片的 12.89 ± 0.05 mg/g干基重。另外,真空冷冻干燥香菇脆片的可溶性糖总含量为 70.3 ± 3.31 mg/g干基重,这可能由于真空冷冻干燥由于其低温低压环境,对香菇中的可溶性糖破坏性较弱的原因导致的^[12]。

表7 两种加工工艺对香菇脆片可溶性糖含量(mg/g, d.b)的影响

Table 7 Effect of two processing techniques on the content of soluble sugar (polyols) (mg/g d.b) of *Lentinous edodes* chips

可溶性糖	含量(mg/g 干基重)	
	真空冷冻干燥香菇脆片	真空低温油炸香菇脆片
甘露醇	30.74 ± 0.09^a	12.89 ± 0.05^b
葡萄糖	10.03 ± 0.45^a	7.82 ± 0.42^b
海藻糖	29.53 ± 0.71^a	29.75 ± 0.56^a
合计总量	70.3 ± 3.31^a	50.46 ± 3.13^b

注:不同字母表示具有统计学显著性差异($P<0.05$)

3.6 两种香菇脆片中呈味核苷酸含量比较

两种加工工艺的香菇脆片中的呈味核苷酸含量比较如表8所示。与可溶性糖含量结果相反,真空低温油炸香菇脆片中的呈味核苷酸含量(12.37 ± 0.43 mg/g干基重)显著高于真空冷冻干燥香菇脆片(5.51 ± 0.67 mg/g干基重)。其中,经过油炸过后的香菇脆片含有丰富的5'-腺苷酸、5'-鸟苷酸和5'-尿苷酸,究其原因,这与真空低温油炸工艺中的油炸有关,经过油炸,香菇中产生了更多的呈香物质,赋予了香菇脆片更浓郁的香气。但是在两种产品中均为检测到5'-肌苷酸和5'-黄苷酸^[13,14]。

表8 两种加工工艺对香菇脆片呈味核苷酸含量(mg/g, d.b)的影响

Table 8 Effect of two processing techniques on the 5'-nucleotides (mg/g, d.b) of *Lentinous edodes* chips

5'-核苷酸	含量(mg/g 干基重)	
	真空冷冻干燥香菇脆片	真空低温油炸香菇脆片
5'-胞苷酸	1.27 ± 0.10^b	2.13 ± 0.08^a
5'-腺苷酸	2.73 ± 0.20^b	3.87 ± 0.42^a
5'-鸟苷酸	0.69 ± 0.01^b	2.30 ± 0.04^a
5'-尿苷酸	0.82 ± 0.23^b	4.07 ± 0.32^a
5'-肌苷酸	—	—
5'-黄苷酸	—	—
合计总量	5.51 ± 0.67^b	12.37 ± 0.43^a

注:“—”代表未检出。不同字母表示具有统计学显著性差异($P<0.05$)

4 讨论

通过测定矿物元素、氨基酸、可溶性糖及呈味核苷酸成分的含量,对比研究了通过两种不同加工工艺,即真空低温油炸和真空冷冻干燥所生产的香菇脆片的营养特性和非挥发性风味成分的差异。结果显示,真空低温油炸过程降低了香菇的营养价值,在油炸过程会造成香菇中大量营养物质,诸如钾、钙等人体必需矿物质元素和丝氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、赖氨酸、脯氨酸等人体必需氨基酸的流失^[15],但其相对于真空冷冻干燥过程,会因为油炸过程,产生更多的呈味核苷酸,另外,先前研究显示,真空低温油炸会产生较多的长链脂肪酸等酯类物质,由于酯类物质香味阈值低,故真空低温油炸过程赋予了香菇脆片浓郁的酯香,所以真空低温油炸香菇脆片容易被消费者所接受^[16]。本研究进一步明确了两种加工工艺生产的香菇脆片产品的营养特性及非挥发性风味成分的差异,为消费者按需选择产品提供了依据。

参考文献

- [1] 高兴洋,安欣欣,赵立艳,等.真空低温油炸和真空冷冻干燥对香菇脆片品质及挥发性风味成分的影响[J].食品科学,2015,17:88-93.
Gao XY, An XX, Zhao LY, et al. Effects of vacuum frying versus freeze drying on quality and volatile components of shiitake (*Lentinula edodes*) chips [J]. Food Sci, 2015, 17: 88-93.

- [2] 裴斐, 王敏, 刘凌岱, 等. 即食杏鲍菇片真空低温脱水工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 167-171.
Pei F, Wang M, Liu LD, *et al.* Optimization of production process for ready-to-eat *Pleurotus eryngii* chips by vacuum low-temperature dehydration [J]. Food Sci, 2011, 32(8): 167-171.
- [3] 燕艳, 季志会, 杜伟, 等. 真空低温油炸香菇脆片的中试生产工艺探讨[J]. 东北农业大学学报, 2010, 3: 117-120.
Yan Y, Ji ZH, Du W, *et al.* Middle-scale production technique of vacuum low-temperature fried mushroom chips [J]. J Northeast Agric Univ, 2010, 3: 117-120.
- [4] 李艳聪, 李书环. 真空冷冻干燥技术及其在食品加工中的应用[J]. 天津农学院学报, 2003, 1: 42-45.
Li YC, Li SH. Vacuum freezing evaporation technique and applications to food processing [J]. J Tianjin Agric Univ, 2003, 1: 42-45.
- [5] Garcia-Amezquita LE, Welte-Chanes J, Vergara-Balderas FT, *et al.* Freeze-drying: the basic process[Z]. Reference Module in Food Science, from Encyclopedia of Food and Health. 2016, 104-109.
- [6] 黄建立, 黄艳, 郑宝东, 等. 不同干燥方式对银耳品质的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 167-163.
Huang JL, Huang Y, Zheng BD, *et al.* The effect of different drying methods in the quality of *Tremella Fuciformis* [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2010, 10(2): 167-163.
- [7] Li Q, Zhang HH, Claver IP, *et al.* Effect of different cooking methods on the flavour constituents of mushroom (*Agaricus bisporus* (Lange) Sing) soup [J]. Int J Food Sci Technol, 2011, 46(5): 1100-1108.
- [8] 张梦甜, 杨文建, 裴斐, 等. 响应面法优化酶法制备杏鲍菇蛋白及其营养评价[J]. 食品科学, 2015, 36(13), 125-130.
Zhang MT, Yang WJ, Pei F, *et al.* Optimization of enzymatic hydrolysis for preparing *Pleurotus eryngii* protein by response surface methodology and nutritional evaluation [J]. Food Sci, 2015, 36(13), 125-130.
- [9] Ghosh S, Uauy R. Protein quality and amino acids in maternal and child nutrition and health [Z]. Reference Module in Food Science, from Encyclopedia of Food and Health, 2016, 516-523.
- [10] 于智峰, 赵立庆, 郑君君, 等. 腌腊肉制品的低温干燥工艺[J]. 肉类研究, 2011, 6: 34-37.
Yu ZF, Zhao LQ, Zheng JJ, *et al.* Low-temperature drying process for cured meat products [J]. Meat Res, 2011, 6: 34-37.
- [11] 钱爱萍, 林虬, 颜孙安, 等. 乌饭树叶蛋白质中氨基酸含量及营养价值评价[J]. 福建农业学报, 2008, 3: 306-309.
Qian AP, Lin Q, Yan SA, *et al.* Amino acids in *Vaccinium bracteatum* leaves and their nutritional evaluation [J]. Fujian J Agric Sci, 2008, 3: 306-309.
- [12] 吴方宁, 裴斐, 李丹, 等. 两种干燥方式对白玉蕈非挥发性风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 17: 62-66+70.
Wu FN, Pei F, Li D, *et al.* The influence of two drying methods on non-volatile taste components of white *Hypsizygus marmoteus* [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 17: 62-66+70.
- [13] 吴迪, 谷镇, 周帅, 等. 不同干燥技术对香菇和杏鲍菇风味成分的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 22: 188-191.
Wu D, Gu Z, Zhou S, *et al.* Effect of drying methods on flavor components of *Lentinus edodes* and *Pleurotus eryngii* [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 22: 188-191.
- [14] 刘汉灵, 黄月桂, 陆燕宁. 核酸酶提高酵母抽提物呈味核苷酸含量的应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2008, S1: 194-197.
Liu HL, Huang YJ, Lu YN. Research on application of nuclease to promote the flavor nucleotide yield of yeast extract [J]. Chin Food Addit, 2008, S1: 194-197.
- [15] 王文亮, 宋莎莎, 宋康, 等. 食用菌呈鲜呈味物质提取工艺研究进展[J]. 食品工业, 2015, 7: 237-240.
Wang WL, Song SS, Song K, *et al.* Research advance on extraction condition of flavor components in edible fungus [J]. Food Ind, 2015, 7: 237-240.
- [16] Hammami C, Rene F. Determination of freeze-drying process variables for strawberries [J]. J Food Eng, 1997, 32(2): 133-154.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



高兴洋, 硕士研究生, 主要研究方向为食品营养与化学。
E-mail: 2013108034@njau.edu.cn



胡秋辉, 教授, 主要研究方向为农产品加工与安全。
E-mail: qiuhuihu@njau.edu.cn