

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.04.013

红托竹荪及竹荪蛋各部位主要营养成分分析

The analysis of main nutritional and functional components in different parts of fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvata*

梁亚丽¹ 秦礼康¹ 王何柱¹

LIANG Ya-li¹ QIN Li-kang¹ WANG He-zhu¹

文安燕¹ 阳旭² 李启华²

WEN An-yan¹ YANG Xu² LI Qi-hua²

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州美味鲜竹荪产业有限公司, 贵州 毕节 551700)

(1. School of Liquor & Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Guizhou Delicious Fresh Dictyophora Industry Limited Company, Bijie, Guizhou 551700, China)

摘要:对红托竹荪子实体及竹荪蛋各部位主要成分分布进行分析。研究表明:竹荪子实体菌托中多酚(2.43 mg GAE/g)、黄酮(1.95 mg/g)、维生素 B₂(1.04 μg/g)含量最高,而菌盖蛋白质和多糖含量最高,分别为 27.66, 14.19 g/100 g;竹荪蛋 3 个部位中,菌柄菌裙多糖含量最高(21.47 g/100 g),而其余成分均在菌托中最为丰富;竹荪子实体及竹荪蛋各部位氨基酸种类齐全,总游离氨基酸含量在 5.13~18.18 mg/g,差异显著(P<0.05),且均以谷氨酸含量为高(1.34~4.86 mg/g)。对比等量鲜竹荪子实体和竹荪蛋营养成分,竹荪蛋多糖、维生素 B₂ 含量分别为竹荪子实体的 2.06 倍和 1.25 倍,其余成分含量差异较小(P<0.05),食用竹荪蛋可全营养利用;竹荪子实体食用部分(菌盖和菌柄菌裙)营养成分利用率为 49.24%~83.59%,而废弃菌托营养损失率为 16.41%~38.93%,尤其维生素 B₂ 高达 38.93%,具有较高的增值利用价值。

关键词:红托竹荪;营养成分;利用率;损失率

Abstract:In order to reveal the nutritional functions of the fruit bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvatas*, analyzed the distribution of main components in each part. The results showed that polyphenols (2.43 mg GAE/g), flavones (1.95 mg/g), and vitamin B₂(1.04 μg/g) had the highest contents in the volva of fruit-bodies of *Dictyophora rubrovolvata*, while the protein and polyphe-

nols had the highest contents in the pileus of fruit-bodies of *Dictyophora rubrovolvata*, with 27.66 g/100 g and 14.19 g/100 g, respectively. Among three parts of the embryo of *Dictyophora rubrovolvata*, the polyphenols content of indusium (stip) is the highest (21.47 g/100 g), and the other components were most abundant in the volva. There were complete amino acid species in the various parts of the fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvata*, and the total free amino acid contents were 5.13~18.18 mg/g, with the significant difference (P<0.05). And the glutamic acid content was the highest (1.34~4.86 mg/g). Comparing the nutritional and functional components of the same amount of fresh fruit-bodies and embryo, the contents of polyphenols and vitamin B₂ of embryo were 2.06 times and 1.25 times that of fruit-bodies, respectively, and the differences in the other ingredients were small (P<0.05). Eating embryo of *Dictyophora rubrovolvata* can achieve the purpose of full nutrient utilization; the nutrient content utilization rate of the edible part of fruit-bodies (pileus, indusium and stip) was between 49.24%~83.59%, and the nutrient loss rate of the abandoned volva was 16.41%~38.93%. In particular, vitamin B₂ was as high as 38.93%, which had a high value-added utilization value.

Keywords: *Dictyophora rubrovolvata*; nutritional functional Ingredients; utilization rate; loss rate

基金项目:贵州省现代农业产业技术体系(特色杂粮加工功能实验室)建设(编号:黔财农[2018]81号)

作者简介:梁亚丽,女,贵州大学在读硕士研究生。

通信作者:秦礼康(1965—),男,贵州大学教授,博士。

E-mail:likangqin@126.com

收稿日期:2020-03-02

竹荪(*Dictyophora*)又名竹笙、竹参,隶属于担子菌亚门、腹菌纲、鬼笔目,因其独特美丽的外形与丰富的营养被誉为“菌中皇后”“雪裙仙子”,是中国乃至世界上名贵的食药菌之一^[1]。中国竹荪资源丰富,主要分布于贵州、云南、福建等地。目前世界上发现的竹荪共有 12 种,在中国分布有 7 种,可食用的有 4 种,即长裙竹荪、

短裙竹荪、红托竹荪和棘托竹荪^[2]。

竹荪营养丰富,富含多糖,多酚、黄酮等多种生物活性物质^[1, 3],具有提高免疫力^[4]、抗癌^[5]、抗氧化^[6]、抗炎^[7]等功效。红托竹荪生长阶段包括孢子、菌丝体、竹荪蛋、竹荪子实体。竹荪蛋,即竹荪胚体,由梦荪、孢子菌盖、外包3个部分组成^[8],呈紫红色,卵圆形。竹荪子实体分为3个部分,即菌盖、菌柄菌裙和菌托。菌托约占整个竹荪鲜重的50%,采摘后未被利用,造成了资源浪费和环境污染。目前,关于红托竹荪的研究主要集中在其生物学特性^[9]、栽培技术^[10]、多糖的提取及抗氧化^[11-12]、防腐抑菌^[13-15]等方面,而关于红托竹荪不同部位的营养功能成分研究较少,Zhuang等^[16]研究了红托竹荪菌盖和菌托中氨基酸组成及蛋白质的特性;饶先军等^[17]测定了红托竹荪子实体干品的可溶性蛋白、游离氨基酸等营养成分。目前,未见红托竹荪及竹荪蛋不同部位营养成分的对比研究报道。研究拟以贵州织金红托竹荪子实体及竹荪蛋为原料,测定其不同部位的营养功能成分、氨基酸组成及滋味,为开发竹荪的利用价值,拓展红托竹荪的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

新鲜红托竹荪、竹荪蛋,采自毕节市织金县竹荪基地,将竹荪蛋洗净切开,分为外层的皮和胶质,中间的菌盖和孢子,内层的菌柄菌裙3个部分,竹荪子实体分为菌盖、菌柄(裙)、菌托3个部分,贵州美味鲜竹荪产业有限公司;

没食子酸、熊果酸、芦丁、葡萄糖标品、17种氨基酸标准品:上海源叶生物有限公司;

丙酮、福林酚、碳酸钠、乙酸乙酯、香兰素、冰乙酸、高氯酸、无水乙醇、苯酚、浓硫酸、亚硝酸钠、氯化铝、氢氧化钠、溴甲酚绿、甲基红、硼酸、磺基水杨酸、浓盐酸等:分析纯,中国产。

1.1.2 主要仪器设备

水分测定仪:MB90型,奥豪斯仪器(常州)有限公司;

光吸收酶标仪:SpectraMax190型,美谷分子有限公司;

多功能粉碎机:800A型,永康市红太阳机电有限公司;

旋转蒸发器:RE-2000B型,上海亚荣生化仪器厂;

冷冻干燥机:SCIENTZ-18N型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

超声波清洗机:SB-800DT型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

台式高速冷冻离心机:H2-16KR型,湖南可成仪器设备有限公司;

高效液相色谱仪:1260 Infinity型,美国安捷伦公司;氨基酸自动分析仪:L-8800型,HITACHI(日立)公司。

1.2 方法

1.2.1 蛋白质含量的测定 参照GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》。

1.2.2 多糖含量的测定 参照NY/T 1676—2008《食用菌中粗多糖含量的测定》。

1.2.3 维生素B₂含量的测定 参照GB 5009.85—2016《食品中维生素B₂的测定》。

1.2.4 三萜含量的测定 参照文献[18]。

1.2.5 多酚含量的测定 参照文献[19]。

1.2.6 黄酮含量的测定 参照文献[20]。

1.2.7 游离氨基酸含量的测定

(1) 样品前处理:称取1g左右样品,用50 mL的0.01 mol/L盐酸浸提30 min,摇匀后吸取10 mL混合液在8 000 r/min离心10 min,再准确吸取2 mL上清液于离心管中,加入8%磺基水杨酸2 mL,混匀,静置15 min,用0.22 μm MCE滤膜过滤后上机。采用L-8800全自动氨基酸分析仪测定竹荪及竹荪蛋的17种游离氨基酸含量(以干基计)。

(2) 测定条件:色谱柱为LCAK06/Na(4.6 mm×150 mm);流动相A为0.12 mol/L柠檬酸钠溶液(pH 3.45),流动相B为0.2 mol/L柠檬酸钠溶液(pH 10.85);柱温58~74℃(梯度控温),反应器温度130℃;流速洗脱泵0.45 mL/min,衍生泵0.25 mL/min,检测器波长570 nm+440 nm。

1.2.8 鲜竹荪子实体营养成分损失率的计算

$$m_1 = 100 \times v_1 \times (1 - v_1) \times x_i, \quad (1)$$

$$m_2 = 100 \times v_2 \times (1 - w_2) \times x_i, \quad (2)$$

$$m_3 = 100 \times v_3 \times (1 - w_3) \times x_i, \quad (3)$$

$$c_1 = \frac{100 \times m_1}{m_1 + m_2 + m_3} \%, \quad (4)$$

$$c_2 = \frac{100 \times m_2}{m_1 + m_2 + m_3} \%, \quad (5)$$

$$c_3 = \frac{100 \times m_3}{m_1 + m_2 + m_3} \%, \quad (6)$$

式中:

v_1, v_2, v_3 ——分别为鲜竹荪子实体菌盖、菌柄菌裙、菌托的质量占比,%;

w_1, w_2, w_3 ——分别为鲜竹荪子实体菌盖、菌柄菌裙、菌托的水分含量,%;

m_1, m_2, m_3 ——分别为100 g鲜竹荪子实体中3个部位的各营养成分的干基含量,g;

c_1, c_2, c_3 ——分别为菌盖利用率、菌柄菌裙利用率、菌托损失率,%;

x_i ——各部位营养成分干基含量,g/100 g。

1.2.9 统计方法 采用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行处理, Duncan's 法进行多重比较, 显著性水平 $P < 0.05$, Origin 2017 对试验数据进行制图。

2 结果与分析

2.1 竹荪子实体及竹荪蛋各部位营养功能成分含量

由表 1 可知, 竹荪子实体及竹荪蛋各部位的营养功能成分含量差异显著 ($P < 0.05$)。竹荪及竹荪蛋各部位的蛋白质含量为 13.89~27.66 g/100 g, 其中竹荪菌盖的蛋白质含量最高, 为 27.66 g/100 g。这与 Zhuang 等^[16]测定的竹荪菌盖的蛋白质含量有一定差异, 可能是因为原料的处理方法不同^[21]。竹荪菌盖和菌托的多糖含量分别为 14.19, 11.48 g/100 g, 与徐耀^[22]报道的红托竹荪 3 个部位的多糖含量一致。竹荪菌柄菌裙多糖含量最高, 为 21.47 g/100 g。竹荪菌盖、菌柄菌裙和菌托中多糖均高于竹荪中对应的 3 个部位, 可能是竹荪的生长过程需要消耗自身的多糖所致。竹荪及竹荪蛋各部位的三萜含量为 3.80~7.42 g/100 g, 竹荪 3 个部位中菌柄菌裙含量最高, 为 6.59 g/100 g, 竹荪蛋 3 个部位中菌托含量最高, 为 7.42 g/100 g。竹荪蛋菌托多酚含量最高, 为 4.92 mg GAE/g, 远高于竹荪蛋其余两个部位, 分别是香菇、金针菇多酚含量的 1.47 倍^[23]和 1.64 倍。竹荪 3 个部位中, 菌托多酚含量最高, 为 2.86 mg GAE/g。竹荪 3 个部位黄酮含量差异显著, 菌托 (1.95 mg/g) > 菌盖 (1.83 mg/g) > 菌柄菌裙 (1.56 mg/g), 竹荪蛋中菌托黄酮含量最高。维生素 B₂ 是人体必不可少的微量元素之一, 竹荪菌托和竹荪蛋菌托中维生素 B₂ 含量较高, 分别为 1.39, 1.04 μg/g, 是竹荪菌柄菌裙维生素 B₂ 含量的 2.78 倍和 2.08 倍。

2.2 红托竹荪及竹荪蛋各部位 17 种游离氨基酸含量

氨基酸是蛋白质的组成部分, 不仅是人体所需的重要营养素之一, 还能参与人体代谢途径, 调节细胞信号、基因表达^[24-25]。研究测定了红托竹荪及竹荪蛋不同部位的 17 种游离氨基酸含量, 从表 2 可知, 红托竹荪及竹荪蛋各部位的总游离氨基酸含量差异较大, 为 5.13~

18.18 mg/g。其中总游离氨基酸含量最高的是竹荪菌柄菌裙, 为 17.874 mg/g, 竹荪菌盖的总游离氨基酸含量最低, 为 5.016 mg/g。试验竹荪菌柄菌裙的总游离氨基酸含量是饶先军等^[17]报道的红托竹荪子实体总游离氨基酸含量的 5.8 倍, 可能是原料产地不同所致。竹荪中菌盖、菌柄菌裙总游离氨基酸含量分别是竹荪蛋中菌盖、菌柄菌裙的 2.78 倍和 1.59 倍, 竹荪菌托中总游离氨基酸含量低于竹荪菌托。因此, 可认为在竹荪生长过程中, 游离氨基酸向竹荪的菌盖、菌柄菌裙部位富集。红托竹荪各部位含有的必需氨基酸有缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸。竹荪菌柄菌裙中必需氨基酸含量最高, 为 4.817 mg/g。

氨基酸不仅具备重要的生理功能, 还是重要的呈味物质^[26]。Manninen 等^[27]根据游离氨基酸的呈味特性, 将其分为鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸和无味氨基酸。鲜味氨基酸主要包括天冬氨酸和谷氨酸, 谷氨酸比天冬氨酸的鲜味强, 对于风味的贡献更大。竹荪菌柄中谷氨酸含量高达 4.863 mg/g, 占总游离氨基酸的 43.36%。竹荪皮中甜味氨基酸含量占总游离氨基酸含量的 41.73%, 竹荪盖中苦味氨基酸含量占总游离氨基酸含量的 49.30%。相比于苦味氨基酸, 红托竹荪及竹荪蛋不同部位中鲜味、苦味、甜味氨基酸占比更大, 如图 1 所示。除竹荪菌柄菌裙的鲜味氨基酸含量增加 3 倍外, 竹荪菌盖、菌柄菌裙的较竹荪菌盖而言, 呈味氨基酸含量均增加, 竹荪菌托的呈味氨基酸含量均减少。

有研究^[28]表明, 鲜味游离氨基酸和甜味游离氨基酸的滋味活度值 (Taste active, TAV) 相对较高, 而苦味游离氨基酸的 TAV 值相对偏低。因此, 竹荪子实体及竹荪蛋各部位的鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量较高, 整体风味不呈苦味。

2.3 鲜竹荪子实体与竹荪蛋营养功能含量比较

由表 3 可知, 鲜竹荪子实体与竹荪蛋相比, 多酚、黄

表 1 竹荪子实体及竹荪蛋各部位营养功能成分含量 (以干基计)[†]

Table 1 Nutritional and functional components in different parts of fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubro-volvata*

样品	部位	蛋白质/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	多糖/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	三萜/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	多酚/ (mg GAE·g ⁻¹)	黄酮/ (mg·g ⁻¹)	维生素 B ₂ / (μg·g ⁻¹)
竹荪	菌盖	27.66±0.49 ^a	14.19±1.12 ^c	5.71±0.37 ^c	2.43±0.16 ^c	1.83±0.68 ^a	1.03±0.01 ^b
	菌柄菌裙	18.55±0.28 ^c	8.22±0.03 ^e	6.59±0.54 ^b	2.49±0.32 ^c	1.56±0.14 ^b	0.50±0.03 ^c
	菌托	18.42±0.43 ^c	11.48±0.63 ^d	5.42±0.26 ^c	2.86±0.59 ^b	1.95±0.10 ^a	1.04±0.01 ^b
竹荪蛋	菌盖	16.38±0.38 ^d	17.91±1.02 ^b	3.80±0.09 ^d	1.03±0.50 ^d	1.55±0.13 ^b	0.47±0.04 ^e
	菌柄菌裙	13.89±0.09 ^e	21.47±1.73 ^a	5.45±0.18 ^c	1.08±0.16 ^d	1.47±0.70 ^c	0.30±0.04 ^d
	菌托	22.88±0.12 ^b	11.72±0.08 ^d	7.42±0.27 ^a	4.92±0.30 ^a	1.51±0.46 ^c	1.39±0.10 ^a

† 同列肩标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

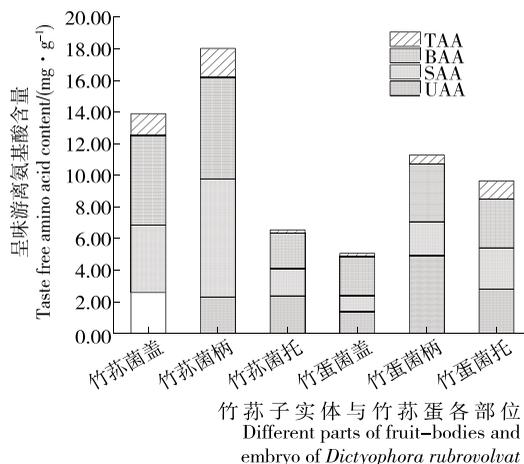
表 2 红托竹荪及竹荪蛋不同部位的游离氨基酸含量[†]

Table 2 Free amino acid content in different parts of fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvata* mg/g

品种	天冬氨酸	苏氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	半胱氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸	异亮氨酸
竹荪菌盖	0.07	0.11	ND	2.52	0.41	3.86	0.32	0.32	ND	0.32
竹荪菌柄菌裙	0.15	0.16	0.67	2.16	0.51	6.27	0.20	0.77	0.44	0.57
竹荪菌托	0.05	0.05	ND	2.33	0.11	1.63	ND	0.11	ND	0.19
竹荪蛋盖	0.05	0.06	0.15	1.34	0.06	0.81	ND	0.13	0.22	0.14
竹荪蛋柄菌裙	0.08	0.10	0.33	4.86	0.16	1.64	0.13	0.24	0.01	0.21
竹荪蛋托	0.13	0.04	0.01	2.68	0.19	2.42	0.31	0.23	0.03	0.22

品种	亮氨酸	酪氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	组氨酸	精氨酸	脯氨酸	TFAA	EAA	EAA/TFAA/%
竹荪菌盖	0.43	1.44	0.70	0.30	0.64	2.16	0.42	14.01	2.520	17.98
竹荪菌柄菌裙	1.06	1.27	1.27	0.31	0.71	0.74	0.91	18.18	4.977	27.37
竹荪菌托	0.26	0.27	0.26	0.08	0.20	1.06	ND	6.60	1.074	16.27
竹荪蛋盖	0.23	0.29	0.40	0.12	0.16	0.94	0.03	5.13	1.342	26.18
竹荪蛋柄菌裙	0.36	0.42	0.35	0.69	0.46	1.37	ND	11.40	1.728	15.15
竹荪蛋托	0.55	0.56	0.51	0.11	0.22	0.86	0.61	9.68	1.809	18.68

[†] ND 表示未检出;TFAA 表示总游离氨基酸;EAA 表示必需氨基酸。



UAA. 鲜味氨基酸 SAA. 甜味氨基酸 BAA. 苦味氨基酸 TAA. 无味氨基酸

图 1 红托竹荪及竹荪蛋各部位游离氨基酸滋味特征

Figure 1 Taste characteristics of FAAs in different parts of fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvata*

酮、总游离氨基酸含量差异很小,蛋白质和三萜含量稍高于竹荪蛋,总游离氨基酸、多糖含量相差较大,竹荪蛋多

糖、维生素 B₂ 含量分别是竹荪子实体的 2.06 倍和 1.25 倍。由此可以看出竹荪蛋具有较高的营养价值,食用竹荪蛋可以达到全营养利用的目的。

2.4 鲜竹荪各部位营养功能成分比重

竹荪子实体由可食用部分的菌盖、菌柄菌裙和废弃部分的菌托构成。由表 4 可知,营养功能成分主要集中在竹荪菌柄菌裙中,其次为竹荪菌托,竹荪菌盖中分布最少。废弃的竹荪菌托所占比重为 16.41%~38.93%,其中维生素 B₂ 最高,为 37.84%(见图 2)。因此,废弃竹荪菌托具有较高的利用价值,对其加以利用可减少资源的浪费。

3 结论

对比了红托竹荪子实体和竹荪蛋及各部位的蛋白质、多糖、三萜、多酚、黄酮、维生素 B₂、总游离氨基酸等营养功能成分,分析竹荪子实体 3 个部位,即菌盖和菌柄菌裙、废弃部位菌托各营养功能成分含量占竹荪子实体总营养功能成分的百分比。结果表明,竹荪子实体及竹荪蛋各部位间营养功能成分差异显著(P<0.05),竹荪子实体 3 个部位中,菌托中多酚、黄酮、维生素 B₂ 含量最高,菌盖蛋白质含量最高。菌盖中蛋白质和多糖含量最高,竹荪菌柄中三萜含量最高。竹荪蛋 3 个部位中,菌柄菌

表 3 鲜竹荪子实体与竹荪蛋营养功能含量比较

Table 3 Comparison of nutritional content of fresh fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvata*

样品	蛋白质/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	多糖/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	三萜/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	多酚/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	黄酮/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	维生素 B ₂ / (10 ⁻² μg·g ⁻¹)	总游离氨基酸/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)
竹荪子实体	1.87	0.94	0.59	0.02	0.02	6.78	0.10
竹荪蛋	1.83	1.94	0.47	0.02	0.03	8.46	0.10

表 4 鲜竹荪子实体营养成分利用率

Table 4 Proportion of nutritional functional components in fruit-bodies of *Dictyophora rubrovolvata* %

部位	蛋白质	多糖	三萜	多酚	黄酮	维生素 B ₂	总游离氨基酸
竹荪盖	18.10	18.55	11.93	12.13	13.88	18.63	16.83
竹荪菌柄菌裙	56.96	50.41	64.62	58.32	55.52	42.44	66.76

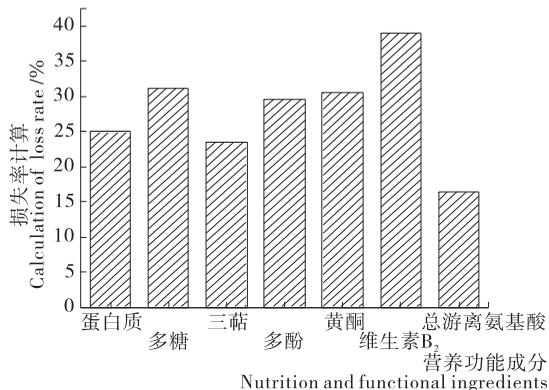


图 2 鲜竹荪子实体营养成分损失率

Figure 2 Loss rate of nutrient and functional components of fruit-bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvata*

裙的多糖含量最高,为 21.47 g/100 g,其余营养成分含量均在竹荪菌托中最高。竹荪子实体及竹荪蛋氨基酸种类齐全,总游离氨基酸含量为 5.13~18.18 mg/g,其中谷氨酸含量(1.34~4.86 mg/g)均较高;通过等量竹荪子实体和竹荪蛋营养成分的对比,竹荪蛋多糖、维生素 B₂ 含量分别是竹荪子实体的 2.06 倍和 1.25 倍,其余成分含量差异较小,食用竹荪蛋可以达到全营养利用的目的;竹荪子实体中营养成分主要集中在竹荪菌柄菌裙中,食用部分(菌盖和菌柄菌裙)营养利用率为 49.24%~83.59%,废弃部分(菌托)营养损失率为 16.41%~38.93%,废弃竹荪菌托具有较高的利用价值。目前,试验所涉及的检测指标不够全面,后续可增加竹荪子实体及竹荪蛋的更多营养因子以及挥发性化合物的检测,更加全面地对比之间的异同,建立更加完善的综合评价体系。

参考文献

[1] KER Yaw-bee, CHEN Kuan-chou, PENG Chiung-chi, et al. Structural characteristics and antioxidative capability of the soluble polysaccharides present in *Dictyophora indusiata* (Vent. Ex Pers.) Fish phallaceae[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2011, 2011: 1-9.

[2] 才晓玲, 刘洋, 何伟, 等. 竹荪营养成分及生物活性研究进展[J]. 食用菌, 2015, 37(5): 1-3.

[3] 王家堂, 胡准. 竹荪子实体多糖的提取及化学组成[J]. 中国民族民间医药, 2009, 18(8): 8-9.

[4] DENG Chao, SHANG Jing-ying, FU Hai-tian, et al. Mechanism of the immunostimulatory activity by a polysaccharide from *Dictyophora indusiata* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 752-759.

[5] DENG Chao, FU Hai-tian, TENG Li-ping, et al. Anti-tumor activity of the regenerated triple-helical polysaccharide from *Dictyophora indusiata* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 61: 453-458.

[6] WANG Wen-shuai, SONG Xin-ling, ZHANG Jian-jun, et al. Antioxidation, hepatic- and renal-protection of water-extractable polysaccharides by *Dictyophora indusiata* on obese mice[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 134: 290-301.

[7] WANG Ya-lin, LI Lai, TENG Li-ping, et al. Mechanism of the anti-inflammatory activity by a polysaccharide from *Dictyophora indusiata* in lipopolysaccharide-stimulated macrophages[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 126: 1158-1166.

[8] 黄明泉, 孙宝国, 田红玉, 等. 棘托竹荪蛋中的挥发性成分分析研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 353-357.

[9] 邹方伦. 贵州竹荪资源及生态的研究[J]. 贵州农业科学, 1994(3): 43-47.

[10] 陈克华. 竹荪熟料开放式栽培技术分析和探讨[J]. 中国食用菌, 2019, 38(5): 100-101.

[11] WU Song-hai, GONG Gui-li, WANG Yan-yan, et al. Response surface optimization of enzyme-assisted extraction polysaccharides from *Dictyophora indusiata* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 61: 63-68.

[12] MAU J, LIN H, SONG S. Antioxidant properties of several specialty mushrooms[J]. Food Research International, 2002, 35(6): 519-526.

[13] 檀东飞, 黄儒珠, 卢真, 等. 棘托竹荪子实体鲜品的化学成分及抑菌活性研究[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2010, 26(2): 100-105.

[14] ISHIYAMA D, FUKUSHI Y, OHNISHI-KAMEYAMA M, et al. Monoterpene-alcohols from a mushroom *Dictyophora indusiata* [J]. Phytochemistry, 1999, 50(6): 1053-1056.

[15] YANG J, LIN H, MAU J. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms [J]. Food Chemistry, 2001, 72(4): 465-471.

(下转第 114 页)

表 2 精度试验结果表

Table 2 Table of precision test results

序号	理论体积/mL	试剂体积/mL	偏差值/%	序号	理论体积/mL	试剂体积/mL	偏差值/%
1	10	10.032	-0.120	6	20	20.028	-0.140
2	10	10.011	-0.110	7	20	20.012	-0.060
3	10	10.015	-0.150	8	20	20.006	0.030
4	10	10.011	-0.110	9	20	19.987	0.065
5	10	10.013	-0.130	10	20	20.001	-0.005

误差在±0.5%之内,提高了前处理仪器的剂量精度,符合设计标准(±1.0%)。

5 结语

设计的仪器运用了电器控制及传感器等技术,该仪器的核心控制部件为 PLC 主控单元,操作部分是 LabVIEW 在工控机上机编写的人机界面,具有多个工艺流程,设计合理,界面直观化和人性化设计,且自动化程度高,能同时处理多个样品,提出一种适合加液的电机控制模型,并对加样结果进行了误差分析和补偿,提高了加液精度。由于该仪器采用超声发生器来加快反应,但仅仅只负责通断,没有对超声功率进行控制,若采用算法对不同加样试剂和超声池水位给予对应功率的超声,能更好地缩短反应时间,再次提高处理效率。

参考文献

- [1] 刘家常,刘芳芳. 仪器分析中的样品前处理技术[J]. 食品研究与开发, 2012(9): 236-238.
- [2] 周晓萍,汪雨,邵鹏,等. 高效前处理装置及快速检测仪器在第三方检测实验室中的应用[J]. 分析仪器, 2017(5): 77-80.
- [3] 周洋平. 高精度微量液体加样装置的设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2013: 8-9.
- [4] 刘爽. 全自动生化分析仪精密取样系统的研究与开发[D]. 沈阳: 东北大学, 2014: 7-10.
- [5] 田丹. 全自动多通道高精度分液系统设计与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2017: 18-22.
- [6] 赵明俐. 基于 FPGA 的自动加样器设计与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2015: 6-8.
- [7] 韩慧,倪荣军,孙计赞. 基于 PLC 食品检测实验室自动加液装置的设计与实现[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 130-132.
- [8] 李湘伟,刘尉. 基于 PLC 控制的全自动在线清洗系统的设计[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 130-133.
- [9] 肖亚男,周哲海,郭阳宽,等. 非接触式微量加样方法研究[J]. 自动化仪表, 2017, 38(3): 79-81.
- [10] 李志杰,蔡力钢,刘志峰. 加速度连续的 S 型加减速规划算法[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(5): 1 192-1 201.
- [11] 万娟,张莉,张冰洋,等. 基于 TMCM-6110 和 LabVIEW 的全自动酶联免疫前处理仪的设计[J]. 制造业自动化, 2016, 38(10): 1-6.
- [12] 卢可可,郭晓晖,李富华,等. 不同热风干燥方式对香菇多酚组成及其抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 185-190.
- [13] ZHUANG Yong-liang, SUN Li-ping. Nutritional characteristics of proteins from the volva and pileus in cultivated mushroom *Dictyophora rubrovolvata* [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2011, 62 (4): 392-396.
- [14] 饶先军,汪立成,刘春梅,等. 红托竹荪中营养成分的测定与研究[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(2): 78-80.
- [15] 王石磊,雷文波,姚丽文,等. 云南竹灵芝中三萜类成分的提取工艺优化[J]. 山东化工, 2018, 47(24): 13-15.
- [16] OKARTER N, LIU Chang-shu, SORRELLS M E, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat[J]. Food Chemistry, 2010, 119 (1): 249-257.
- [17] ABU BAKAR M F, MOHAMED M, RAHMAT A, et al. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*)[J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 479-483.
- [18] 石芳,李瑶,杨雅轩,等. 不同干燥方式对松茸品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 141-147.
- [19] 徐耀. 红托竹荪不同部位多糖提取及体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 350-352.
- [20] P EREZ-SANTAESCOL ASTICA C, CARBALLO J, FUL-LADOSA E, et al. Influence of high-pressure processing at different temperatures on free amino acid and volatile compound profiles of dry-cured ham[J]. Food Research International, 2019, 116: 49-56.
- [21] MANNINEN H, ROTOLA-PUKKILA M, AISALA H, et al. Free amino acids and 5'-nucleotides in Finnish forest mushrooms[J]. Food Chemistry, 2018, 247: 23-28.
- [22] 付娜,王锡昌. 电子舌分析和感官评价在游离氨基酸对中华绒螯蟹整体滋味贡献评价中的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(20): 91-96.

(上接第 76 页)