

雷锦桂, 刘朋虎, 江枝和, 等. 秀珍菇新菌株营养成分及其重金属与农药残留量分析[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(9): 1741-1745.

LEI Jin-gui, LIU Peng-hu, JIANG Zhi-he, et al. Safety evaluation of heavy metals and pesticide residues and nutrient analysis of a new mutant strain of *Pleurotus geesteranus*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(9): 1741-1745.

秀珍菇新菌株营养成分及其重金属与农药残留量分析

雷锦桂¹, 刘朋虎², 江枝和³, 翁伯琦^{3*}

(1.福建省农业科学院数字农业研究所, 福州 350003; 2.福建农林大学生命科学学院, 福州 350002; 3.福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013)

摘要:为综合评价⁶⁰Co- γ 辐射选育的秀珍菇新菌株福秀 5669 品种特性与应用前景,按食品安全国家标准的方法测定了秀珍菇子实体中氨基酸、粗蛋白、粗灰分、重金属含量与农药残留量,比较分析了福秀 5669 与原菌株台秀 57 子实体中营养成分及重金属与农药残留量的差异性与安全性。研究表明:福秀 5669 的 16 种氨基酸、6 类氨基酸、粗蛋白、粗灰分的含量高于秀珍菇台秀 57,且差异极显著($P<0.01$);福秀 5669 的重金属铅、砷、镉含量低于台秀 57,且差异性显著($P<0.05$),两个品种秀珍菇的铅含量均超过国家食品安全标准;福秀 5669 的汞含量高于台秀 57,但低于国家食品安全标准;两个品种秀珍菇农药残留量均符合国家食品安全标准。结果表明,福秀 5669 的营养品质、重金属与农药残留量安全性均优于原菌株台秀 57,具有示范推广前景。

关键词:秀珍菇;氨基酸;重金属;农药残留量;安全性评价

中图分类号:X171.5 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2017)09-1741-05 doi:10.11654/jaes.2017-0599

Safety evaluation of heavy metals and pesticide residues and nutrient analysis of a new mutant strain of *Pleurotus geesteranus*

LEI Jin-gui¹, LIU Peng-hu², JIANG Zhi-he³, WENG Bo-qi^{3*}

(1.Agricultural Digital Institute, Fujian Academy of Agriculture Sciences, Fuzhou 350003, China; 2.College of Life Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3.Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agriculture Sciences, Fuzhou 350013, China)

Abstract: The aim of this study was to evaluate the characteristics and application prospect of a mutant strain of *Pleurotus geesteranus* named "Fuxiu 5669". The contents of amino acids, crude protein, crude ash, heavy metals, and pesticide residues in fruiting bodies of Fuxiu 5669 and the original strain "Taixiu 57" were tested according to China Food Safety Standards. Compared with Taixiu 57, Fuxiu 5669 had significantly higher contents of crude protein, crude ash, and 16 amino acids ($P<0.01$). The contents of lead, arsenic, and cadmium were significantly lower in fruiting bodies of Fuxiu 5669 than in those of Taixiu 57 ($P<0.01$). However, the lead content in fruiting bodies of both Fuxiu 5669 and Taixiu 57 exceeded the level specified in the China Food Safety Standards. The content of mercury in fruiting bodies of either Fuxiu 5669 or Taixiu 57 was lower than the China Food Safety Standards level. Fuxiu 5669 had a higher dose of mercury compared with Taixiu 57. Pesticide residues in fruiting bodies of both Fuxiu 5669 and Taixiu 57 met the requirement of the China Food Safety Standards. These results indicated that the food safety indices of Fuxiu 5669 were superior to Taixiu 57. As a result, Fuxiu 5669 may have better prospect in further applications.

Keywords: *Pleurotus geesteranus*; amino acid; heavy metal; pesticide residues; safety evaluation

收稿日期:2017-04-25

作者简介:雷锦桂(1973—),男,福建罗源人,副研究员,主要从事食用菌育种、营养品质分析与无公害栽培技术研究。E-mail:leican11@163.com

*通信作者:翁伯琦 E-mail:wengboqi@163.com

基金项目:国家高技术研究发展计划项目(2010AA7035020G);中央引导地方科技发展专项(2016L3004);福建省重大专项课题(2014NZ0002-2);福州市科技项目(2011-G-95)

Project supported: National High Technology Research and Development Program of China (2010AA7035020G); The Special Fund of Central Guidance for Local Science and Technology Development (2016L3004); Major Projects of Fujian Province (2014NZ0002-2); Fuzhou Science and Technology Project (2011-G-95)

秀珍菇(*Pleurotus geesteranus*)属于担子菌门、伞菌纲、伞菌目、侧耳科、侧耳属,菇朵小,细嫩鲜爽,营养丰富,富含蛋白质、真菌多糖、维生素及微量元素等抗癌、提高人体免疫力的物质,深受消费者喜爱^[1]。据统计,秀珍菇氨基酸总量为23.6%~26.9%,必需氨基酸8.8%~9.6%,鲜味氨基酸7.2%~9.1%,甜味氨基酸5.4%~5.9%^[2]。20世纪90年代末秀珍菇在福建、浙江等地引种栽培成功后大规模发展,其后为提升秀珍菇产业开展了新品种选育研究,并取得了一定成效,如高产、抗逆性强的秀珍菇青秀2号^[3]、农秀1号^[4]与秀迪1号等。

众所周知,食用菌的氨基酸含量高于蔬菜,组成比较全面,包括人体必需的八种氨基酸^[5]和生理活性所需的微量元素,因此氨基酸、微量元素含量成为评价食用菌品种优劣的重要指标^[6]。但秀珍菇选育工作主要重视抗逆性、产量和营养品质,甚少把重金属和农药残留作为重要参考依据,仅有翁伯琦等^[7]研究了姬松茸新菌株J3的营养成分及农药残留安全性。食用菌具有对重金属、农药富集吸收与转化的特性,可使其由食物链进入人体,从而影响消费者健康^[8-11]。为此本研究针对⁶⁰Co- γ 选育的秀珍菇新菌株福秀5669,开展营养成分与重金属、农药残留量分析及安全性评价研究,以充分了解秀珍菇福秀5669的品种特性,为该菌株的示范推广及其他食用菌的选育研究提供科学借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

试验菌株为⁶⁰Co- γ 辐射选育的秀珍菇新菌株福秀5669。培养原料与配方均来自福建省秀珍菇主产区:棉籽壳30%,木屑43.5%,麸皮20%,玉米粉5%,轻质碳酸钙1%,石灰0.5%。采收新菌株福秀5669和原菌株台秀57的子实体,经75℃烘干并粉碎备用。

1.2 检测方法

1.2.1 氨基酸、粗蛋白

氨基酸采用氨基酸自动分析仪(日立L-8800型)测定。烘干样品在6 mol·L⁻¹ HCl溶液中110℃下水解24 h,然后上机检测分析氨基酸组分^[12]。

粗蛋白采用凯氏定氮仪(昕瑞KDN-1000),按GB/T 15673—2009方法测定。

1.2.2 重金属、粗灰分

铅、镉采用石墨炉原子吸收光谱仪(Aurora AI 1200)按GB/T 5009.12—2010和GB/T 5009.15—2014方

法测定;汞、砷采用原子荧光光谱仪(天瑞Afs200)按GB/T 5009.17—2014和GB/T 5009.11—2014方法测定;灰分按GB 5009.4—2016方法测定。

1.2.3 农药残留量^[13]

百菌清、联苯菊酯、溴氰菊酯、氯氰菊酯、甲氰菊酯、滴滴涕、六六六、甲胺磷、毒死蜱、敌敌畏采用气相色谱仪(Agilent 6980N型)测定,检测器ECD。甲基托布津、多菌灵采用液相色谱仪(Waters Alliance 2695)测定。

百菌清、联苯菊酯、溴氰菊酯、氯氰菊酯、甲氰菊酯的检测条件:色谱柱(DB-1701) 30.0 m×320 μ m×0.25 μ m,载气N₂,柱前压0.2 MPa,流速恒压,尾吹N₂,进样温度200℃,检测器温度300℃,进样量1 μ L,进样0.75 min后吹扫;DB-1701柱温190℃,以15℃·min⁻¹升温至280℃,恒温17 min至样品流出完全。

滴滴涕、六六六的检测条件:柱前压0.08 MPa,10:1分流比,以15℃·min⁻¹升温至250℃,恒温15 min,其他条件同上。

甲胺磷、毒死蜱、敌敌畏的检测条件:色谱柱30 m×0.53 mm×0.5 μ m,载气N₂,压力100 kPa,流速1 mL·min⁻¹,氢气75 mL·min⁻¹,空气100 mL·min⁻¹,尾吹60 mL·min⁻¹;柱温以30℃·min⁻¹升温至180℃,再以5℃·min⁻¹升温至230℃,恒温10 min,其他条件同上。

甲基托布津、多菌灵检测条件:色谱柱(Symmetry C)184.6 m×150 m,柱温30℃,柱压20 MPa,等度洗脱。流动相组成为甲醇:2%醋酸铵(体积比35:65),流速1.0 mL·min⁻¹。

1.2.4 二氧化硫、甲醛

二氧化硫采用可见分光光度计(美析UV-1100)按GB/T 5009.34—2016方法测定;甲醛采用可见分光光度计(美析UV-1100)按NY/T 1283—2007方法测定。

1.3 数据处理

数据应用Excel 2003和DPS 7.05软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 福秀5669子实体中氨基酸含量

如表1所示,福秀5669的17种氨基酸,除蛋氨酸比台秀57低了45%外,其他16种氨基酸含量均高于台秀57,其中谷氨酸增幅最大,含量提高了26.86%,胱氨酸次之,含量提高了22.22%,增幅最低的天门冬氨酸的含量提高了3.45%,氨基酸总量提高13.47%。经方差分析,福秀5669中的16种氨基酸含量与台秀57的差异达显著水平。根据氨基酸性质把

秀珍菇氨基酸分为 7 类,除硫氨基酸低于台秀 57,福秀 5669 中的鲜味氨基酸、甜味氨基酸、支链氨基酸、芳香族氨基酸、儿童氨基酸和必需氨基酸的总量比台秀 57 分别高了 18.62%、14.15%、12.41%、15.43%、12.88% 和 9.41%,两者差异均达极显著水平,表明福秀 5669 中氨基酸含量优于原菌株台秀 57。

2.2 福秀 5669 子实体中粗蛋白和粗灰分含量

如表 2 所示,福秀 5669 中粗蛋白含量比台秀 57 高 51.90%,差异达极显著水平。福秀 5669 的粗灰分

含量比台秀 57 高 11.92%,粗灰分含量处于参考值之内,差异达极显著水平。粗灰分中含有大量矿物质,具有调节机体生理机能的作用,是评价营养成分的参考指标。从粗蛋白和粗灰分指标分析,台秀 57 的含量稍高于参考值的低值,而福秀 5669 的含量均接近于参考值上限。

表 1 福秀 5669 与台秀 57 子实体中氨基酸含量(%)

Table 1 The amino acid content of strain Fuxiu 5669 and Taixiu 57(%)

氨基酸 Amino acid	台秀 57 Taixiu 57	福秀 5669 Fuxiu 5669	增幅/% Percent increase
天门冬氨酸 Asp	2.61bB	2.70aA	3.45
苏氨酸 Thr	1.26bB	1.42aA	12.70
丝氨酸 Ser	1.23bB	1.38aA	12.20
谷氨酸 Glu	4.91bB	6.22aA	26.68
甘氨酸 Gly	1.17bB	1.27aA	8.55
丙氨酸 Ala	1.64bB	1.99aA	21.34
胱氨酸 Cys	0.18bA	0.22aA	22.22
缬氨酸 Val	1.37bB	1.56aA	13.87
蛋氨酸 Met	0.60aA	0.33bB	-45.00
异亮氨酸 Ile	1.12bB	1.26aA	12.50
亮氨酸 Leu	1.78bB	1.98aA	11.24
酪氨酸 Tyr	0.76bB	0.85aA	11.84
苯丙氨酸 Phe	1.12bB	1.32aA	17.86
赖氨酸 Lys	1.80bB	1.99aA	10.56
组氨酸 His	0.66bB	0.76aA	15.15
精氨酸 Arg	1.98bB	2.22aA	12.12
脯氨酸 Pro	1.12bB	1.25aA	11.61
总量 Total	25.31bB	28.72aA	13.47
鲜味氨基酸 Delicious amino acid	7.52bB	8.92aA	18.62
甜味氨基酸 Sweet amino acid	5.16bB	5.89aA	14.15
硫氨基酸 Sulphur amino acid	0.78aA	0.54bB	-30.77
支链氨基酸 Branched chain amino acid	4.27bB	4.8aA	12.41
芳香族氨基酸 Aromatic amino acid	1.88bB	2.17aA	15.43
儿童氨基酸 Children's amino acid	2.64bB	2.98aA	12.88
必需氨基酸 Essential amino acid	9.99bB	10.92aA	9.31

注:同行不同大、小写字母分别表示在 0.05 与 0.01 水平上差异显著。下同。

Note:Different uppercases and lowercases indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

表 2 福秀 5669 与台秀 57 子实体中粗蛋白和粗灰分含量(%)

Table 2 The content of crude protein and crude ash in strain Fuxiu 5669 and Taixiu 57(%)

项目 Treatment	台秀 57 Taixiu 57	福秀 5669 Fuxiu 5669	参考值 ^[14-15] Reference value
粗蛋白 Crude protein	23.7bB	36.0aA	19.68~39.34
粗灰分 Crude ash	5.79bB	6.48aA	5.04~6.69

2.3 福秀 5669 子实体中重金属含量

铅、砷、汞、镉是国家食品安全标准绿色食品食用菌产品认证检验必检项目指标。如表 3 所示,福秀 5669 的汞含量比台秀 57 高了 1 倍,但含量远低于国家食品安全标准范围。福秀 5669 的铅含量比台秀 57 低了 28.95%,差异达显著水平,但是超过国家食品安全标准。砷含量比台秀 57 低 47.62%,镉含量也远低于台秀 57,两项指标的差异均达显著水平,并且砷、镉含量均符合国家食品安全标准(GB 2672—2012)。

2.4 福秀 5669 子实体中农药残留量

参考国家食品安全标准和国家绿色食品标准(NY/T 749—2012)中“污染物、农药残留、食品添加剂限量”要求,结合生产上常用防治病虫害的农药品种,以百菌清、联苯菊酯、溴氰菊酯、氯氰菊酯、甲氰菊酯、滴滴涕、六六六、甲胺磷、毒死蜱、敌敌畏、甲基托布津、多菌灵等 12 种农药作为秀珍菇中农药残留量的检测指标。另外,栽培场地常用甲醛和硫磺进行环境消毒,因此甲醛和二氧化硫含量也列入检测指标。结果如表 4 所示,福秀 5669 和台秀 57 的六六六、甲胺

表 3 福秀 5669 与台秀 57 子实体中重金属含量(mg·kg⁻¹)

Table 3 The content of heavy metals in strain Fuxiu 5669 and Taixiu 57(mg·kg⁻¹)

项目 Treatment	台秀 57 Taixiu 57	福秀 5669 Fuxiu 5669	食品安全国家标准 (GB 2762—2012) National standards for food safety
汞 Mercury	0.02bA	0.04aA	0.10
铅 Lead	3.35aA	2.38bA	1.00
砷 Arsenic	0.21aA	0.11bA	0.50
镉 Cadmium	0.63aA	<0.01bB	0.20

磷、联苯菊酯、敌敌畏、氯氰菊酯、百菌清、滴滴涕、毒死蜱、甲氰菊酯、多菌灵、溴氰菊酯和甲基托布津的残留量均符合国家食品安全标准(GB 2763—2014)的要求,二氧化硫和甲醛残留量也符合该标准要求。

3 讨论

蛋白质与氨基酸是生命的基础,是评价食物营养价值的要素之一。本研究的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射选育秀珍菇福秀 5669 含有 17 种氨基酸,除蛋氨酸外,其他 16 种氨基酸含量均高于原菌株台秀 57,氨基酸总量比原菌株高 13.47%;7 类氨基酸中的鲜味氨基酸、甜味氨基酸、支链氨基酸、芳香族氨基酸、儿童氨基酸和必需氨基酸也高于原菌株,结果与翁伯琦等^[7]利用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射选育姬松茸 J3 品种的氨基酸含量规律一致, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射使秀珍菇、姬松茸菌株的子实体中大多数氨基酸含量升高而蛋氨酸含量降低的机理及其对其他食用菌是否有相同规律要进一步研究。与张晓玉等^[2]调查统计的秀珍菇氨基酸数据比较分析后发现,福秀 5669 的氨基酸总量、必需氨基酸含量均超过统计数据最高值(26.9%、9.6%),而鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量也接近统计数据最高值(9.1%、5.9%),表明福秀 5669 氨基酸含量优于目前大部分秀珍菇品种。同时,要全面了解福秀 5669 的品种特性,还需对多糖、

脂肪酸等营养物质含量进行比较分析。本研究结果与黄挺俊等^[16]研究茶薪菇新品种中氨基酸含量,王楠等^[17]研究辐射选育的菌株菌丝体多糖产量提高 2 倍的结果相似。本文也证实了 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射使选育的新菌株营养成分含量优于原菌株,是选育高优食用菌品种的途径之一^[18-20]。

福秀 5669 的粗蛋白与粗灰分含量高于原菌株台秀 57,一方面说明其子实体中氨基酸、嘌呤、吡啶等含氮营养物质含量高;另一方面表明其含有对人体有益的微量元素多。粗灰分主要以微量元素等为主,但也含有少量的重金属元素。福秀 5669 的 4 种重金属总含量比台秀 57 低,而粗灰分含量高,则说明微量元素含量比原菌株高。福秀 5669 汞含量比台秀 57 高,铅、砷、镉含量均低于台秀 57,但铅含量超过国家食品安全标准,研究结果与黎志银^[21]研究相似,即在非污染条件下,秀珍菇的铅含量为 $3.050\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,超过国家食品安全标准,而汞、砷、镉含量均在标准范围之内。福秀 5669 中 12 种农药和甲醛、二氧化硫含量指标均符合国家相关食品质量安全标准,与高陈玲^[22]开展秀珍菇农药残留量的调查结果相似。黎志银^[21]研究发现秀珍菇能吸收富集培养料中重金属和农药,因此生产中对秀珍菇栽培原材料及农药喷施量与时间的控制是非常必要的。

4 结论

同等栽培条件下, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射选育的秀珍菇新菌株福秀 5669 中 16 种氨基酸、6 类氨基酸、氨基酸总量、粗蛋白、粗灰分的含量均高于原菌株台秀 57,差异极显著($P<0.01$);福秀 5669 中重金属(铅、砷、镉)含量低于台秀 57,差异显著($P<0.05$),两个秀珍菇品种的铅含量均超过国家食品安全标准;福秀 5669 的汞含量高于台秀 57,比食品安全国家标准低;两品种秀珍菇中农药残留量均符合国家食品安全标准。综上所述 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射选育的秀珍菇品种福秀 5669 优于出发菌株台秀 57,具有示范推广前景。

参考文献:

- [1] 李碧琼,陈政明,林俊扬,等. 秀珍菇杂交亲本筛选试验[J]. 中国食用菌, 2015, 34(4): 16-20.
LI Bi-qiong, CHEN Zheng-ming, LIN Jun-yang, et al. Screening of hybrid parent on *Pleurotus geesteranus*[J]. *Edible Fungi of China*, 2015, 34(4): 16-20.
- [2] 张晓玉,张博,辛广,等. 秀珍菇营养成分、生物活性及贮藏保鲜的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(6): 2314-2319.

表 4 福秀 5669 与台秀 57 子实体中农药残留量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 4 Pesticide Residues in strain Fuxiu 5669 and

Taixiu 57($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

项目 Treatment	食品安全国家标准 (GB 2763—2014) National standards for food safety		
	台秀 57 Taixiu 57	福秀 5669 Fuxiu 5669	
六六六 Benzenhexachloride	<0.01	<0.01	≤ 0.05
甲胺磷 Methamidophos	<0.01	<0.01	≤ 0.05
联苯菊酯 Bifenthrin	<0.01	<0.01	≤ 0.05
敌敌畏 Dichlorvos	<0.01	<0.01	≤ 0.05
氯氰菊酯 Cypermethrin	<0.01	<0.01	≤ 0.05
百菌清 Chlorothalonil	<0.01	<0.01	≤ 2.00
滴滴涕 Dichloro diphenyl trichloroethane	<0.01	<0.01	≤ 0.05
毒死蜱 Chlorpyrifos	<0.01	<0.01	≤ 0.05
甲氰菊酯 Fenprothrin	<0.01	<0.01	≤ 0.1
多菌灵 Carbendazim	<0.01	<0.01	≤ 1.00
溴氰菊酯 Fenprothrin	<0.01	<0.01	≤ 0.05
甲基托布津 Thiophanate-methyl	<1.0	<1.0	≤ 2.0
二氧化硫 Sulfur dioxide	<1.0	<1.0	≤ 50.0
甲醛 Formaldehyde	<0.01	<0.01	≤ 0.1

- ZHANG Xiao-yu, ZHANG Bo, XIN Guang, et al. Research progress of *Pleurotus geesteranus* nutrition, biological activity and storage [J]. *Journal of Food Safety and Quality Control*, 2016, 7(6):2314-2319.
- [3] 黄良水, 徐立胜, 洪金良, 等. 秀珍菇新菌株青秀2号的选育与应用[J]. 中国食用菌, 2011, 30(2):20-21.
- HUANG Liang-shui, XU Li-sheng, HONG Jin-liang, et al. The breeding and application of new strain Qingxiu 2 of *Pleurotus Pulmonarius*[J]. *Edible Fungi of China*, 2011, 30(2):20-21.
- [4] 陈小平, 毛小伟, 戴秀爱. 秀珍菇菌株的比较[J]. 食用菌, 2015(2):23-24.
- CHEN Xiao-ping, MAO Xiao-wei, DAI Xiu-ai. Comparison of *Pleurotus geesteranus* strains[J]. *Edible Fungi*, 2015(2):23-24.
- [5] 高燕红, 鲁琳, 刘应亮. 6种食用菌蛋白质与氨基酸的含量分析及评价[J]. 现代预防医学, 2010, 37(10):1843-1846.
- GAO Yan-hong, LU Lin, LIU Ying-liang. Analysis and evaluation on the protein & amino acid content of the six sorts of edible fungi[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2010, 37(10):1843-1846.
- [6] 姜萍萍, 韩焱, 顾赛红, 等. 五种食用菌氨基酸含量的测定及营养评价[J]. 氨基酸和生物资源, 2009, 31(2):67-71.
- JIANG Ping-ping, HAN Ye, GU Sai-hong, et al. Determination of amino acids in five edible fungi and their nutritional evaluation[J]. *Amino Acids & Biotic Resources*, 2009, 31(2):67-71.
- [7] 翁伯琦, 江枝和, 肖淑霞, 等. 姬松茸⁶⁰Co辐射新菌株J₃营养成分与农药残留分析[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2):244-248.
- WENG Bo-qi, JIANG Zhi-he, XIAO Shu-xia, et al. Analysis on nutrients and pesticide residues in strain J₃ *Agaricus Blazei* Murrill irradiated by ⁶⁰Co[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(2):244-248.
- [8] 胡清秀, 杨昕, 杨小红, 等. 外源重金属对杏鲍菇生长发育的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2):236-243.
- HU Qing-xiu, YANG Xi, YANG Xiao-hong, et al. Effect of exogenous heavy metals on growth and development of *Pleurotus eryngii*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(2):236-243.
- [9] Demirbas A. Accumulation of heavy metals in some edible mushrooms from Turkey[J]. *Food Chemistry*, 2000, 68(4):415-419.
- [10] San A, Tuzen M. Kinetic and equilibrium studies of biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Amanita rubescens*) biomass[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164(2/3):1004-1011.
- [11] Mishra S, Srivastava S, Tripathi R D, et al. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2006, 44(1):25-37.
- [12] 鲍士旦. 农畜水产品品质化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996:120-123.
- BAO Shi-dan. The chemical analysis on quality of agricultural and aquatic products[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996:120-123.
- [13] 江枝和, 翁伯琦, 雷锦桂, 等. 姬松茸⁶⁰Co辐射新菌株J₃的营养成分、重金属含量与农药残留分析及其安全性评价[J]. 热带作物学报, 2010, 31(10):1702-1705.
- JIANG Zhi-he, WENG Bo-qi, LEI Jin-gui, et al. Analysis of heavy metals and pesticide residues in strain J₃ *Agaricus blazei* Murrill irradiated by ⁶⁰Co[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2010, 31(10):1702-1705.
- [14] 袁菁艺. 利用甘草渣栽培秀珍菇和姬菇的研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016:54-68.
- YUAN Jing-yi. Use of liquorice residue cultivation *Pleurotus geesteranus* and *Pleurotus cornucopiae* research[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016:54-68.
- [15] 葛乐. 秀珍菇品种优选及高效栽培关键技术研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015:24-25.
- GE Le. Study on varieties optimizing and high efficient key cultivation techniques of *Pleurotus Geesteranus*[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2015:24-25.
- [16] 黄挺俊, 翁伯琦, 江枝和, 等. 不同剂量⁶⁰Co γ -射线辐照茶薪菇菌种对子实体氨基酸含量的影响[J]. 食用菌学报, 2002, 29(4):22-25.
- HUANG Ting-jun, WENG Bo-qi, JIANG Zhi-he, et al. Effect of ⁶⁰Co γ -ray irradiation with different dosages to *Agrocybe chaxing* strains on the amino acid content of their fruitbodies[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2002, 29(4):22-25.
- [17] 王楠, 任大明, 龚涛, 等. ⁶⁰Co- γ 射线辐照诱变尖端菌丝选育猴头菌多糖高产菌株[J]. 中国食用菌, 2009, 24(6):37-39.
- WANG Nan, REN Da-ming, GONG Tao, et al. Screening of high polysaccharide yield strain of *Herichium erinaceus* by ⁶⁰Co-gamma irradiation[J]. *Edible Fungi of China*, 2009, 24(6):37-39.
- [18] 江枝和, 翁伯琦, 黄俊民, 等. ⁶⁰Co γ 射线辐射对姬松茸子实体中Er、Dy、Tb和P、K及微量元素含量的影响[J]. 电子显微学报, 2005, 24(3):221-225.
- JIANG Zhi-he, WENG Bo-qi, HUANG Jun-min, et al. Effects of ⁶⁰Co γ ray irradiation on the contents of Er, Dy, Tb, P, K and trace elements in fruitbodies of *Agaricus Blazei* Murrill[J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 2005, 24(3):221-225.
- [19] 陶巧静, 臧丽丽, 刘蓉, 等. ¹³⁷Cs- γ 辐射对葡萄种子发芽和幼苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(4):761-768.
- TAO Qiao-jing, ZANG Li-li, LIU Rong, et al. Effect of ¹³⁷Cs- γ rays irradiation on germination and seedling growth and chlorophyll fluorescence characteristics of grape[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2015, 29(4):761-768.
- [20] 刘秀清, 章铁. ⁶⁰Co γ 射线低剂量辐照对生菜种子萌发、幼苗生长及酶活性的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(6):868-872.
- LIU Xiu-qing, ZHANG Tie. Effect of low dose irradiation of ⁶⁰Co γ -rays on seed germination, seedling growth and enzymes activity of *Lactuca sativa*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2012, 26(6):868-872.
- [21] 黎志银. 食用菌重金属、农药的吸收规律与残留研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010:61.
- LI Zhi-yin. Study on the absorption law of heavy metal and pesticide and their residues in edible fungi[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010:61.
- [22] 高陈玲. 五种食用菌对重金属吸收规律以及农药对其生长影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
- GAO Chen-ling. Five kinds of mushroom absorption of heavy metals and pesticide laws affect their growth[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015.