

地木耳的营养成分与铅汞含量分析

袁 蕾, 谭 娅, 胡泽刚, 侯云燕, 晏 妮*

(贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550001)

摘 要: **目的** 分析地木耳的营养成分与铅汞含量。**方法** 通过室内索氏抽提法、2, 6-二氯酚靛酚滴定法、凯氏定氮法、火焰原子吸收光谱法分别测定地木耳中的粗脂肪, 维生素 C、蛋白质及钙、铁、锰、锌的含量; 采用石墨炉原子吸收光谱法、原子荧光光谱分析法测定了重金属铅和汞的含量。**结果** 不同环境下的地木耳营养成分及重金属含量变化较大, 其中维生素 C 含量最低为 5.43 mg/100 g~10.22 mg/100 g; 蛋白质含量为 19.90 g/100 g~27.90 g/100 g; 粗脂肪含量为 10.20 mg/100 g~13.25 mg/100 g; 重金属铅、汞的含量最低分别为 5.57 mg/kg, 1.61 mg/kg。**结论** 玉屏县地木耳营养成分含量丰富, 营养价值高, 但对照 GB 2762《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中有关食用菌中铅(1.0 mg/kg)、汞(0.1 mg/kg)的限量比较, 2 种重金属严重超标, 不宜食用。

关键词: 玉屏县; 地木耳; 营养成分; 重金属; 食用安全性

Analysis of nutrient composition and lead and mercury content of *Nostoc commune*

YUAN Lei, TAN Ya, HU Ze-Gang, HOU Yun-Yan, YAN Ni*

(School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the nutritional composition and lead and mercury content of *Nostoc commune*. **Methods** The content of crude fat, vitamin C, protein, calcium, iron, manganese, zinc in *Nostoc commune* was determined by Soxhlet extraction, 2, 6-dichlorindophenol titration, Kjeldahl determination, flame atomic absorption spectrometry, respectively, and the content of lead and mercury was determined by graphite furnace atomic absorption spectrometry and atomic fluorescence spectrometry. **Results** The nutrient composition and heavy metal content of *Nostoc commune* in different habitats changed greatly, which might be related to the ecological environment. Vitamin C was 5.43 mg/100 g to 10.22 mg/100 g. The content of protein and crude fat was 19.90 g/100 g–27.90 g/100 g and 10.20 mg/100 g to 13.25 mg/100 g, respectively. The minimum levels of heavy metals lead and mercury were 5.57 mg/kg and 1.61 mg/kg, respectively. **Conclusion** *Nostoc commune* in Yuping county has rich nutrient content and high nutritional value, but compared with the limits of lead (1.0 mg/kg) and mercury (0.1 mg/kg) in edible fungi in GB 2762 National food safety standards-Contaminants limit, the 2 heavy metals are seriously out of specification and not suitable for consumption.

KEY WORDS: Yuping county; *Nostoc commune*; nutrients; heavy metals; edible safety

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201810663022)

Fund: Supported by the National Student Innovation and Entrepreneurship Training Program (201810663022)

*通讯作者: 晏妮, 副教授, 主要研究方向为植物学、水域生态学。E-mail: yandy600@gznu.edu.cn

*Corresponding author: YAN Ni, Associate Professor, School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China E-mail: yandy600@gznu.edu.cn

1 引言

随着中国社会经济的发展、人类生活水平不断提高,更多人们开始追求健康的生活,采摘野生植物资源作为天然食物被视为了一种健康饮食方式,越来越多的野生植物资源未经过任何的营养成分及安全性检测就被放上了餐桌。全球食品安全事件的频发,给社会和人类造成了重大的安全问题与沉重的经济负担。我国仅在 2007~2013 年间就有 3950 起食源性疾病事件发生^[1],还没包括一些慢性重金属积累造成肝肾及神经系统的严重病变。不同地区由于环境和地球土壤化学元素的不同,植物所含的营养成分及富集的矿物质元素必然存在着差异,作为一种食物不能只关注其营养成分而忽视其食用的安全性问题。

地木耳,学名普通念珠藻(*Nostoc Commune*),别名地皮菜、地软、地耳等,属蓝藻门(Cyanophyta),蓝藻纲(Cyanophyceae),念珠藻目(Nostocales),念珠藻科(Nostocaceae),念珠藻属(*Nostoc*)^[2]。地木耳是世界广生种,在我国分布广泛,尤其石灰石和喀斯特岩溶地带常见^[3]。贵州是典型的喀斯特地貌的省份,地木耳食用历史久远,可以追溯到南朝齐梁时期,名医陶弘景以“地木耳”之名将其收录入《名医别录》,这是世界上最早关于地木耳的记录。在贵州的黔东南一带地区,食用人群广泛,食用量相对较大。但目前关于地木耳的研究主要集中在营养成分分析^[2, 4, 5]、多糖提取工艺^[6-9]、固氮特性^[10, 11]及抑菌^[12, 13]等方面,对于食用安全性方面报道较少。仅贵州李刚凤等^[4]做了《梵净山地木耳营养成分分析》。基于此,本研究选取贵州具有食用该藻类植物习俗且食用人群数量大的玉屏县作为研究地点,对当地地木耳主要营养成分及铅、汞 2 种常见的重金属的含量进行测定以评估该地区野生地木耳资源的价值及食用安全性,以期为开发和利用这一野菜资源提供基础研究数据。

2 材料与方法

2.1 研究区自然概况

玉屏侗族自治县地域地处贵州黔东北喀斯特丘丛—峰丛区^[14],云贵高原向湘西丘陵倾斜的过渡地带,低山多丘陵间有平地,海拔多在 400~600 m 之间,属亚热带季风性湿润气候,冬无严寒,夏无酷暑。年平均相对湿度 79%,年降水量 1174.1 mm,年照时数 1206.7 h。大部分土壤 pH 近中性偏碱^[15],有丰富的重晶石、石灰石、方解石、硫铁矿、大理石、铅、锌、锰等 30 余种矿产资源。

2.2 生境调查及样品采集

在玉屏县境内,走访菜市场、餐馆以及访问当地居民,并于 2018 年 10 月、2019 年 4 月和 6 月开展野外实地调查选择 5 个不同生境进行样品采样,采样点地理位置分布见表

1。每个样区采集样品后分装于密封袋并置于冰筒当日带回实验室。经去泥沙以及超纯水清洗 3 次并晾干后超低温冰箱预冻 2 h,再通过冷冻干燥,磨粉密封干燥存储备用。

表 1 采样点地理位置分布

样品编号	纬度	经度	采样环境
1#	N27°17'02.91"	E108°53'21.14"	人工桃林
2#	N27°17'05.17"	E108°53'14.68"	居民生活区
3#	N27°11'23.79"	E108°50'17.48"	农田田坎
4#	N27°11'53.69"	E108°50'01.60"	高速公路旁
5#	N27°11'49.49"	E108°50'00.91"	山坡树林

2.3 实验方法

地木耳蛋白质含量参照 GB 5009.5-2016《凯氏定氮法》测定^[16];粗脂肪按照国标 GB 5009.6-2016《索氏抽提法》测定^[17];维生素 C 采用 2,6—二氯酚靛酚滴定法测定^[18];矿质元素采用火焰原子吸收光谱法^[5];重金属铅采用 GB 5009.12-2017《原子吸收光谱法》^[19];重金属汞采用 GB 5009.17-2014《原子荧光光谱法》^[20]测定。

应用上述方法对样品成分蛋白质、粗脂肪、维生素 C 测定 3 次,4 种矿质元素分别测定 2 次,铅、汞也分别测定 2 次,相对标准偏差分别为 2%、5%、5%、10%、20%。

3 结果与分析

3.1 玉屏地木耳主要营养成分含量及分析

玉屏县不同环境下蛋白质的含量不同(见表 2)。人工桃林、农田田坎、高速公路旁 3 个环境下的蛋白质含量较高,平均值 27.03 g/100 g;居民生活区、高速公路旁两地含量接近,比平均含量低 8%左右。该结果与李刚凤^[4]对梵净山野生地木耳测得值(24.30±0.05) g/100 g 相近,高于云南昆明、陕西商洛两地野生地木耳蛋白质(17.45±0.01) g/100 g, (16.85±2.12) g/100 g 的含量^[2, 21]。总体上野生地木耳的蛋白质含量高于人工地木耳(12.85±0.02) g/100 g^[22],与花生的蛋白质含量相似^[23]。地木耳中粗脂肪对 DPPH 自由基、超氧阴离子、羟基自由基有良好的清除作用,能够抑制体内自由基引起的生物大分子损伤,减少自由基诱发的疾病^[13]。本研究中测得地木耳粗脂肪含量为(11.80±1.50) g/100 g,与张文平等^[2]研究结果报道的粗脂肪含量 11.08 g/100 g~11.10 g/100 g 差异不显著,但人工培养的地木耳粗脂肪含量为 0.53 g/100 g^[24],不足本研究测定含量的 4.49%。5 个环境的维生素 C 含量变化较大,高速公路旁>人工桃林>农田田坎>居民生活区>山坡树林。在正常情况下维生素 C 由葡萄糖醛酸经古洛糖酸和 L-古洛糖酸内脂合成^[25],光合作用减弱,有机物积累减少,维生素 C 的合成随之减少。高

速公路旁水分充足、空间开阔、光照强度高,利于维生素C合成,高达 10.22 mg/100 g。综合 3 种营养成分考虑,5 个样区中高速公路旁的地木耳营养价值较高。

3.2 玉屏地木耳矿质元素含量及分析

矿物质元素与生物活性物质如酶、激素、维生素等密切相关,参与机体的代谢过程,对机体具有重要的生物活性、营养作用和保健功能。玉屏县地木耳 4 种矿质元素测定含量如表 3 所示,不同生境下均以钙含量最多,铁含量次之,锰、锌含量相当且较少。地木耳喜钙,通过生物富集作用从环境中吸收矿质元素,是多钙性土壤的指示植物^[26]。位于喀斯特岩溶地区的玉屏县,碳酸岩(主要成分 CaCO_3)为地木耳提供了丰富的钙源。5 个不同环境中人工桃林的钙含量明显高,可能与果园长期喷施的用于增产和提高果实品质石硫合剂有关。不同地区研究结果比较,4 种矿质元素含量都表现出相同的规律。其中云南昆明的测得值与本研结果最为接近,这可能是云贵具有相似的喀斯特地貌所致。湖北鹤峰地木耳矿质营养最低,主要与其居住环境矿质元素含量本底值有关。研究揭示云贵的野生地木耳资源可以作为很好的补钙食物资源开发利用。

3.3 玉屏地木耳重金属分析

玉屏县地木耳中重金属 Pb、Hg 的含量都较高(如图 1 所示)。前人研究表明藻类细胞壁上的多糖、蛋白质、磷脂等多聚复合体提供了不同重金属吸附的位点而使藻类植物具有很强的重金属吸附能力^[30]。贵州省土壤的本底情况普查结果,Pb 含量背景值高达 24.7 mg/kg^[31],同时玉屏县紧邻中国汞都铜仁万山,富 Hg 及对 Hg 矿的开采造成当地 Hg 含量超标^[32]。从玉屏县 5 个不同生境分析,农田田坎、高速公路旁和山坡树林 3 个点位高于人工桃林、居民生活区。农田区域含量增高原因可能是人为施肥、施用农药等活动额外增加外源重金属的输入;高速公路旁的样点主要受到汽车尾气及轮胎摩擦产生的废气及粉尘、能源不完全燃烧产生的气体和粉尘^[33]影响,一方面以气溶胶的形态进入大气,经过呼吸和光合作用与外界物质交换进入地木耳中;另一方面,通过自然沉降和降水进入土壤。山坡树林样点所处区域为较偏远的林地区,理论上是为外源污染最小的,但地木耳重金属 Pb 含量却是 5 个点中最高的,达 25.4 mg/kg,推测其重金属含量主要与成土母质和成土过程有关,有待后期进一步对土壤元素成分分析揭示。

表 2 玉屏地木耳主要营养成分含量
Table 2 Major nutritional contents in *Nostoc commune* from Yuping county

生境	水分/(g/100 g)	蛋白质/(g/100 g)	粗脂肪/(g/100 g)	维生素 C/(mg/100 g)
人工桃林	14.20	27.4	10.45	8.70
居民生活区	14.70	22.8	11.80	5.48
农田田坎	9.79	27.9	12.60	7.61
高数公路旁	13.30	25.8	13.25	10.22
山坡树林	13.80	19.9	10.20	5.43

表 3 不同地区地木耳中矿质元素含量
Table 3 Content of mineral elements of *Nostoc commune* in different areas

地区	钙 Ca/(mg/kg)	铁 Fe/(mg/kg)	锰 Mn/(mg/kg)	锌 Zn/(mg/kg)
贵州玉屏人工桃林	20367.00	1283.00	46.00	240.00
贵州玉屏居民生活区	13857.00	1178.00	43.30	109.00
贵州玉屏农田田坎	11048.00	7275.00	92.80	123.00
贵州玉屏高速公路旁	13470.00	2461.00	235.00	120.00
贵州玉屏山坡树林	13035.00	2337.00	131.00	78.10
贵州梵净山 ^[4]	1478.41	649.56	313.46	26.18
云南昆明 ^[2]	20397.00	3684.00	20.70	1.50
山东胶南 ^[27]	111.60	2.06	2.65	19.03
湖北鹤峰 ^[28]	2.64	0.40	0.01	0.01
甘肃会宁 ^[29]	7218.12	536.32	25.66	43.22
江苏盱眙 ^[24]	128.80	52.76	2.01	5.70

注:上表中玉屏 5 个样区采用的数据均是平均值。

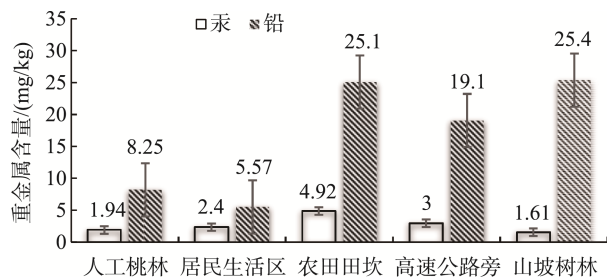


图 1 地木耳重金属含量

Fig.1 Heavy metal content in *Nostoc commune*

对照不同食用藻类资源及国家标准(表 4), 本次测得玉屏县的地木耳的 Pb、Hg 最低含量都远高于其他食用藻及国标食用限制规定值^[34]。

表 4 不同藻类资源重金属含量与国标的比较

Table 4 Comparison of heavy metal contents and national standards in different algae resources

	Pb/(mg/kg)	GB/(mg/kg)	Hg/(mg/kg)	GB/(mg/kg)
青海发菜 ^[35]	3.06	1	-	-
内蒙古发菜 ^[35]	2.18	1	-	-
螺旋藻 ^[36]	0.04	1	0.01	0.1
皱皮菜 ^[37]	<0.05	1	<0.1	0.1
脆江篱 ^[37]	<0.05	1	<0.1	0.1
玉屏地木耳	16.68	1	2.77	0.1

注: 表中“-”表示未检测到。

4 结 论

玉屏县野生地木耳富含人体所需的蛋白质、粗脂肪、维生素 C 和矿物质元素, 不同生境下野生地木耳的营养物质含量不同, 开阔、易采摘的区域营养成分含量往往较高, 但同时重金属铅、汞含量也严重超标。从安全性角度而言, 不宜食用。未来可基于资源开发利用角度深入研究藻类重金属吸附机理机制, 监控地木耳重金属富集作用。同时还可以从生物地球化学过程及地表物质循环的角度探讨地木耳生态监测及修复价值。

参考文献

- 王晓莉, 李勇强, 李清光, 等. 中国环境污染与食品安全问题的时空聚集性研究—突发环境事件与食源性疾病的交互[J]. 中国人口资源与环境, 2015, 25(12): 53–61.
Wang XL, Li YQ, Li QG, et al. A spatiotemporal aggregation study of environmental pollution and food safety issues in China—interaction between sudden environmental events and foodborne diseases [J]. China Popul Res Environ, 2015, 25(12): 53–61.
- 张文平, 马雅鸽, 杨灿娟, 等. 野生与人工栽培地木耳营养成分的对比分析[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(15): 44–48.

- Zhang WP, Ma YG, Yang CJ, et al. Comparative analysis of fungus cultivation in wild and cultivated ground [J]. Food Res Dev, 2016, 37(15): 44–48.
- 刁毅. 地木耳遗传多样性、生物活性及人工培养研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- Diao Y. Genetic diversity, bioactivity and artificial culture of *Nostoc commune* [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2014.
- 李刚凤, 霍蓓, 高健强, 等. 梵净山地木耳营养成分分析[J]. 北方园艺, 2016, (1): 121–123.
Li GF, Huo B, Gao JQ, et al. Analysis of fungus cultivation in Fanjing mountain [J]. Northern Horticult, 2016, (1): 121–123.
- 王淑荣, 焦锁国, 焦更生. FASS 法测定西北地木耳中 9 种元素的含量 [J]. 食品研究与开发, 2013, 34(20): 74–75.
Wang SR, Jiao ST, Jiao GS. FASS method for determination of 9 elements in *Nostoc commune* [J]. Food Res Dev, 2013, 34(20): 74–75.
- 刘继超, 刘晓风, 张璇, 等. 地木耳多糖热水提取工艺优化[J]. 分子植物育种, 2018, 16(13): 4425–4430.
Liu JC, Liu XF, Zhang X, et al. Optimization of hot water extraction technology for polysaccharide from *Nostoc commune* [J]. Molecul Plant Breed, 2018, 16(13): 4425–4430.
- 刘继超. 地木耳多糖的提取纯化、结构分析及抗氧化活性评价[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2018.
Liu JC. Extraction, purification, structural analysis and antioxidant activity evaluation of polysaccharides from *Nostoc commune* [D]. Lanzhou : Lanzhou University of Technology, 2018.
- 张唐伟, 李天才. 地木耳多糖的提取工艺研究[J]. 光谱实验室, 2011, 28(1): 144–148.
Zhang TW, Li TC. Studies on extraction technology of polysaccharides from *Nostoc commune* [J]. Spectral Lab, 2011, 28(1): 144–148.
- 刘丹丹, 朱志学, 马健, 等. 地木耳多糖的抗氧化活性与抗菌活性研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(4): 921–926.
Liu DD, Zhu ZX, Ma J, et al. Studies on antioxidant and antibacterial activities of polysaccharides from *Nostoc commune* [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(4): 921–926.
- 王静. 地木耳改变土壤含氮量的研究[J]. 兰州大学学报, 1995, (3): 97–99.
Wang J. Studies on changes of soil nitrogen content in *Nostoc commune* [J]. J Lanzhou Univ, 1995, (3): 97–99.
- 常锋毅, 潘晓洁, 沈银武, 等. 藻类在农业生产中的资源化利用[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(2): 139–144.
Chang FY, Pan XJ, Shen YW, et al. Utilization of algae resources in agricultural production [J]. J Huazhong Agric Univ, 2014, 33(2): 139–144.
- 牛黎丽, 毕阳, 张盛贵, 等. 地达菜中不同溶剂提取物抑菌能力的研究 [J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 68–70.
Niu LL, Bi Y, Zhang SG, et al. Studies on the bacteriostasis of different solvent extracts from Dida [J]. Food Ind Technol, 2010, 31(1): 68–70.
- 刁毅, 杨足君. 地木耳中脂溶性物质抑菌活性研究[J]. 生物技术通报, 2014, (4): 83–86.
Diao Y, Yang ZJ. Studies on bacteriostatic activity of liposoluble substances in *Nostoc commune* [J]. Biotechnol Bull, 2014, (4): 83–86.
- 李宗发. 贵州喀斯特地貌分区[J]. 贵州地质, 2011, 28(3): 177–181, 234.
Li ZF. Guizhou Karst landform zoning [J]. Guizhou Geol, 2011, 28(3): 177–181, 234.

- [15] 薛敏, 但仕勇, 黄芳. 玉屏县土壤主要肥力指标的分析与评价[J]. 耕作与栽培, 2018, (2): 8–11.
Xue M, Dan SY, Huang F. Analysis and evaluation of main soil fertility indexes in Yuping county [J]. Farm Cultiv, 2018, (2): 8–11.
- [16] GB 5009. 5–2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009. 5–2016 National food safety standard-Determination of protein in food [S].
- [17] GB 5009. 6–2016 食品安全国家标准 食品中粗脂肪的测定[S].
GB 5009. 6–2016 National food safety standard-Determination of crude fat in [S].
- [18] GB/T 6195–1986 食品中维生素 C 的测定[S].
GB/T 6195–1986 Determination of vitamin C in food [S].
- [19] GB/T 5009. 12–2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].
GB/T 5009. 12–2017 National food safety standard-Determination of lead in food [S].
- [20] GB/T 5009. 17–2014 食品安全国家标准 食品中汞的测定[S].
GB/T 5009. 17–2014 National food safety standards-Determination of Hg in food [S].
- [21] 范娜. 商洛野生地木耳营养成分及其重金属检测[J]. 商洛学院学报, 2014, 28(6): 73–74, 91.
Fan N. Determination of nutrient composition and heavy metals of *Nostoc commune* [J]. J Shangluo College, 2014, 28(6): 73–74, 91.
- [22] 阎春兰, 邓中洋, 胡征宇. 人工培养地木耳的群体显微结构及营养成分分析[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 22–25.
Yan CL, Deng ZY, Hu ZY. Analysis of population microstructure and nutrient composition of fungus [J]. Food Sci, 2010, 31(3): 22–25.
- [23] 林坤耀. 我国花生蛋白质的研究概况[J]. 广东农业科学, 2004, (S1): 15–16.
Lin KY. Research on peanut proteins in China [J]. Guangdong Agric Sci, 2004, (S1): 15–16.
- [24] 鄢贵龙, 纪丽莲, 韩铭海, 等. 地皮菜营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2010, 32(1): 97–98.
Yan GL, Ji LL, Han MH, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition of ground vegetable [J]. J Nutr, 2010, 32(1): 97–98.
- [25] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社.
Wang JY, Zhu SY, Xu CF. Biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press.
- [26] 赵丽娟, 王秀娟, 周成旭, 等. 宁波地木耳人工培养条件的研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2011, 24(4): 19–24.
Zhao LJ, Wang XJ, Zhou CX, et al. Study on artificial culture conditions of *Nostoc commune* from Ningbo [J]. J Ningbo Univ (Sci Technol Ed), 2011, 24(4): 19–24.
- [27] 崔桂友. 念珠藻的营养成分分析[J]. 食品科学, 2002, (6): 48–49.
Cui GY. Analysis of nutrient composition of *Y. chinensis* [J]. Food Sci, 2002, (6): 48–49.
- [28] 刘金龙. 葛仙米营养成分研究[J]. 中草药, 2000, (11): 64–65.
Liu JL. Studies on nutrient composition of Ge Xianmi [J]. Chin Herbs, 2000, (11): 64–65.
- [29] 焦扬, 折发文, 张娟娟, 等. 基于主成分与聚类分析的甘肃地区产地木耳品质综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 130–135.
Jiao Y, She FW, Zhang JJ, et al. Comprehensive evaluation of fungus quality based on principal component and cluster analysis [J]. Food Sci, 2019, 40(8): 130–135.
- [30] 黄灵芝. 黑藻生物吸附剂吸附水体中重金属离子的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2011.
Huang LZ. Studies on adsorption of heavy metal ions in water by biosorbent of black algae [D]. Changsha: Hunan University, 2011.
- [31] 方慧, 张珍明, 何腾兵, 等. 贵州磷肥施用对耕地土壤重金属铅的影响[J]. 耕作与栽培, 2016, (5): 57–61, 72.
Fang H, Zhang ZM, He TB, et al. Effect of Guizhou phosphate fertilizer application on heavy lead in cultivated soil [J]. Farm Cultiv, 2016, (5): 57–61, 72.
- [32] 林勇征. 贵州万山汞矿区地球化学特征及环境质量评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
Lin YZ. Geochemical characteristics and environmental quality assessment in Wanshan mercury mining area, Guizhou [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017.
- [33] 王恒. 吉林省土壤—水稻系统环境质量分析评估及重金属复合污染研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2014.
Wang H. Study on environmental quality analysis and heavy metal compound pollution of soil – rice system in Jilin province [D]. Beijing: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences (Northeast Institute of Geography and Agroecology), 2014.
- [34] 中国标准出版社第一编辑室. 食品卫生国家标准[M]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
China standard press first editorial room. National standard for food hygiene [M]. Beijing: China Standard Press, 2012.
- [35] 陈海燕, 陈伟. 不同产地发菜的营养成分分析[J]. 上海农业科技, 2011, (6): 90–91.
Chen HY, Chen W. Analysis of nutritional components of lettuce from different producing areas [J]. Shanghai Agric Sci Technol, 2011, (6): 90–91.
- [36] 董育红, 封涛, 张振兰, 等. 螺旋藻的营养成分分析[J]. 食品研究与开发, 2003, (3): 70–71.
Dong YH, Feng T, Zhang ZL, et al. Analysis of nutrient composition of *Spirulina* [J]. Food Res Dev, 2003, (3): 70–71.
- [37] 陈伟洲, 蔡少佳, 刘婕, 等. 养殖海藻皱紫菜和脆江蓠的主要营养成分分析[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 613–615.
Chen WZ, Cai SJ, Liu J, et al. Analysis of main nutritive constituents of *Porphyra sinensis* and *Gracilaria* [J]. J Nutr, 2013, 35(6): 613–615.

(责任编辑: 王欣)

作者简介



袁 蕾, 主要研究方向为生物科学。
E-mail: 572334059@qq.com



晏 妮, 副教授, 主要研究方向为植物学、水域生态学。
E-mail: yandy600@gznu.edu.cn