

羊栖菜营养成分分析与安全性评价

张晓梅¹,郭 芮¹,苏 红¹,刘红英^{2,*}

(1.河北农业大学食品科技学院,河北保定 071000;

2.河北农业大学海洋学院,河北秦皇岛 066000)

摘 要:对羊栖菜的主要营养成分、氨基酸组成与含量、脂肪酸组成与含量及部分微量元素含量进行研究。结果显示,羊栖菜鲜藻水分含量为83.16%,干基中碳水化合物、粗蛋白及粗脂肪含量分别为45.77%、6.05%和0.74%。除色氨酸外,羊栖菜粉中共检测出16种氨基酸,其中呈味氨基酸含量占总氨基酸含量的49.73%,必需氨基酸与非必需氨基酸比值为81.84%,组成比例符合优质蛋白质标准。羊栖菜含有的14种脂肪酸中多不饱和脂肪酸含量是总脂肪酸含量的36.82%,其中花生四烯酸含量占总脂肪酸含量的20.82%,营养价值丰富。羊栖菜中铅、镉含量分别为4.96、0.54 mg/kg,有不同程度的超标现象。本文的研究为羊栖菜的深加工及高值化利用提供参考。

关键词:羊栖菜,营养成分,安全性评价

Nutritional composition analysis and safety evaluation of *Sargassum fusiforme*

ZHANG Xiao-mei¹, GUO Rui¹, SU Hong¹, LIU Hong-ying^{2,*}

(1.College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China;

2.Ocean College of Hebei Agricultural University, Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: The mainly nutrient content, amino acids composition and content, fatty acids composition and relative content, and parts of content of microelements in *Sargassum fusiforme* were studied. The results indicated that the moisture content of fresh *S. fusiforme* was 83.16%, the contents of carbohydrate, crude protein and crude fat in dry base were 45.77%, 6.05% and 0.74%; In addition to tryptophan, 16 kinds of amino acids were detected in *S. fusiforme*, the content of flavor amino acids was 49.73% of total amino acids, the ratio of essential amino acids to nonessential amino acids was 81.84%, and the composition ratio was consistent with the standards of high quality protein. In the 14 fatty acids contained in *S. fusiforme*, the contents of polyunsaturated fatty acids were 36.82% of the total fatty acids, and the content of arachidonic acid was 20.82% of the total fatty acids, rich in nutrition. The content of Pb, Cd in *S. fusiforme* were 4.96 mg/kg and 0.54 mg/kg, there had different degrees of excessive phenomenon. The study provided a reference for the deep processing and efficient utilization of *S. fusiforme*.

Key words: *Sargassum fusiforme*; nutrient composition; safety evaluation

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)04-0296-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.04.054

羊栖菜(*S. fusiforme*), 又称玉海草、灯笼藻、胡须泡、药茶、鹿尾菜, 其干燥藻体可全部入药, 称为海藻, 习称“小叶海藻”^[1-2], 隶属褐藻门马尾藻科马尾藻属, 是暖温带-亚热带性海藻^[3], 其生长范围广, 在我国北自辽东半岛南到广东雷州半岛均有分布, 生物量大, 是继海带、裙带菜、紫菜、石花菜之后, 又一个具广阔发展前途的经济藻类^[4]。海藻中各基本营养成分含量因生长地域、环境、季节等变化呈现显著

差异, 国外已有关于季节变化对羊栖菜营养成分影响的研究^[5], Nagato Yuko 等^[6]分析了日本九州北部的羊栖菜在十个月的时间里的营养形态和繁殖状态的季节性变化。我国羊栖菜营养成分的相关研究已十分充分, 崔海峰^[3]分析了浙江洞头不同品系羊栖菜的营养成分及其随生长时间的变化; 林建云等^[7]分析了福建海域羊栖菜的营养成分。多数研究只是单一分析某海域羊栖菜的营养, 未就某营养成分与其他

收稿日期: 2017-07-14

作者简介: 张晓梅(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程, E-mail: zxm12177@163.com。

*通讯作者: 刘红英(1962-), 女, 博士, 教授, 主要从事水产品加工及贮藏方面的研究, E-mail: liu066000@sina.com。

基金项目: 河北省食品科学与工程“双一流”建设资金项目(2016SPGCA18); 河北省科技计划新型食品加工关键技术及包装材料开发项目(17227117D)。

海域羊栖菜进行比较,且原料来源多集中于大连沿海、浙江洞头及福建沿海等地区,而渤海地区羊栖菜的营养成分分析未见报道。本文分析渤海地区羊栖菜的营养价值,与其他褐藻、红藻、绿藻等的常规营养成分进行比较;对羊栖菜氨基酸组成和含量进行分析与营养评价;将羊栖菜的脂肪酸组成含量与其它产地羊栖菜进行比较分析,同时测定羊栖菜中部分微量元素含量,进行安全性分析,以期对渤海地区羊栖菜的深加工及高值化利用提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

羊栖菜 渤海养殖;磷酸二氢钾 天津市凯通化学试剂有限公司;氯化钾 天津欧博凯化工有限公司;硝酸、硫酸、盐酸 天津市风船化学试剂科技有限公司;正己烷 色谱纯,天津欧博凯化工有限公司;乙腈、甲醇 色谱纯,成都市科隆化学有限公司;石油醚、氢氧化钠、四氯化碳、氨水、无水葡萄糖、苯酚 分析纯,天津市凯通化学试剂有限公司;硫酸铜、氢氧化钾、二乙基二硫代氨基甲酸钠、乙酸 分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;高氯酸 分析纯,天津市鑫源化工有限公司;钼酸铵、酚红、硝酸 分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;无水乙醇 分析纯,天津市东丽区泰兰德化学试剂厂;乙酸钠、过氧化氢 分析纯,天津欧博凯化工有限公司;亚硫酸钠、2,4-二硝基苯 分析纯,国药试剂化学试剂有限公司;标准品:金属铜,金属镉,金属铅,纯度均大于99.99% 济南众标科技有限公司;18种氨基酸标准品、26种脂肪酸甲酯标准品 中国计量科学研究院。

FD-1 型冷冻干燥机 北京德天佑科技发展有限公司;DC-100 型高速多功能磨粉机 浙江武义鼎藏日用金属制品厂;FM11 高温马弗炉 北京安捷来勒科技有限公司;721 型分光光度计 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;QL-861 型涡旋振荡器 海门市其林贝尔仪器制造有限公司;Neofuge 15R 高速冷冻离心机 上海力申科学仪器有限公司;TANK 微波消解仪 济南海能仪器股份有限公司;ZEE nit 700P 原子吸收光谱仪 德国耶拿分析仪器股份公司;高效液相色谱仪 Waters e2695 Separations Module, 2998 PDA Detector;气质联用仪 Agilent Technologies 7890B GC, 5977A MSD, 7693 Autosampler; AFS-3100 双道原子荧光光度计 北京科创海光仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 羊栖菜预处理 预处理采用冷冻干燥法,具体操作如下:羊栖菜冲洗沥干,脱脂滤纸除去表面水分,适当剪切后置于冷冻干燥托盘,样品厚度不超过1 cm, -50 ℃下真空冷冻干燥24 h。样品冷冻干燥后磨粉,过100 目标准筛,用自封袋收集,于内置有效干燥剂的干燥器中保存。

1.2.2 羊栖菜常规营养成分及含量分析 水分:直接干燥法^[8];粗蛋白:凯氏定氮法^[9];粗脂肪:索氏抽提法^[10];粗纤维:酸碱水解法^[11];灰分:灼烧残渣法^[12];总糖:苯酚-硫酸法^[3,13-14],取一定量羊栖菜粉末

悬浊液,加入苯酚、浓硫酸,迅速振荡均匀,放置30 min,在波长490 nm处测定吸光度,与系列标准葡萄糖溶液对比,计算总糖含量。

1.2.3 羊栖菜氨基酸测定及评价方法 氨基酸测定:采用柱前衍生反相高效液相色谱法^[15]对羊栖菜的氨基酸组成及含量进行分析。标准品和盐酸水解后的样品均以2,4-二硝基氯苯为柱前衍生剂,进行柱前衍生,过有机膜后上机测定。氨基酸的评价:根据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO)和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)在1973年建议的氨基酸评分模式^[16]及中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白质评分标准模式^[17]对羊栖菜的氨基酸组成及含量进行营养评价。氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)、必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)^[18]的计算公式如下:

$$AAS = [\text{待评蛋白质氨基酸含量 (mg/gN)}] / [\text{FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量 (mg/gN)}]$$

$$CS = [\text{待评蛋白质氨基酸含量 (mg/gN)}] / [\text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (mg/gN)}]$$

$$EAAI = \sqrt[n]{ \frac{\text{赖氨酸}_t}{\text{赖氨酸}_s} \times \frac{\text{亮氨酸}_t}{\text{亮氨酸}_s} \times \dots \times \frac{\text{缬氨酸}_t}{\text{缬氨酸}_s} \times \frac{\text{色氨酸}_t}{\text{色氨酸}_s} } \times 100$$

式中:n为参与比较的氨基酸数目;t为待评蛋白质的氨基酸含量,mg/g N;s为全鸡蛋蛋白质的氨基酸,mg/g N;mg/g N为每克氮中氨基酸的毫克数(羊栖菜粗蛋白中氨基酸的含量×62.5)。

1.2.4 羊栖菜脂肪酸组成及含量分析 脂肪酸组成及含量分析采用气质联用色谱法^[15]。羊栖菜粉以氯仿-甲醇提取脂肪酸混合物,硫酸-甲醇进行甲酯化,正己烷萃取,过有机膜,自动进样。GC分析条件:色谱柱:HP-INNOWAX 石英毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度240 ℃;进样类型:分流式,分流比25:1;进样量1 μL;柱流速1.46 mL/min;载气为氦气;升温程序如表1。

表1 柱箱升温程序
Table 1 Work condition of microwave digestion

	速率 (℃/min)	值(℃)	保持时间 (min)	运行时间 (min)
初始值		80	0	0
梯度1	10	110	3	6
梯度2	3	195	10	44.33
梯度3	15	235	23	70
梯度4	0.1	236	3	83

MS分析条件:离子源温度230 ℃;接口温度250 ℃;四极杆温度150 ℃;调谐类型EI;采集方式:全扫描;扫描范围33~500 amu/s。

1.2.5 部分微量元素含量分析 铜含量:二乙基二硫代氨基甲酸钠法^[19];汞含量:原子荧光光谱法^[20];砷含量:原子荧光光谱法^[21];铅、镉含量:微波消解-火焰原子吸收法^[22],微波程序如表2所示,原子吸收参数:元素Pb谱线波长283.3 nm,元素Cd谱线

表3 羊栖菜与其他几种藻类基本营养成分比较(% ,干重)

Table 3 The content of general nutrients compositions of *Sargassum fusiforme* and some other algae(% ,dry weigh)

样品	采集地	水分	灰分	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	总糖
羊栖菜	渤海	7.38 ±0.05	15.07 ±0.04	6.05 ±0.21	0.74 ±0.01	10.16 ±0.43	35.61 ±0.69
羊栖菜 ^[23]	浙江温州洞头	12.98	35.80	10.94	3.51	8.30	38.77
羊栖菜 ^[24]	大连黑石礁	-	23.90	14.90	0.22	64.30 ^a	
海带 ^[7]	福建沿海	-	14.62~16.96	9.12~13.92	0.21~0.26	12.9~13.8	59.07~50.18
江蓠 ^[7]	福建沿海	-	15.48~25.28	18.00~28.50	0.16~0.24	5.08~9.06	42.63~50.66
长茎葡萄蕨藻 ^[25]	海南陵水县	-	25.31	14.37	1.80	7.81	50.71

注:“-”表示未测定或文献未注明,a 表示粗纤维与总糖含量之和。

波长 228.2 nm,灯电流 10 mA,火焰类型:乙炔-空气,燃气流量 65 L/h,燃烧头高度 6 mm,狭缝宽度 1.2 nm,背景校正:D2 灯扣背景,除谱线波长外,两者参数相同。

表2 微波消解仪工作条件

Table 2 Work condition of microwave digestion

步骤	爬坡时间 (min)	温度 (℃)	压力 (PSI)	保温时间 (min)
1	10	170	800	20

1.3 数据分析

本文数据用 Excel 处理,采用三次平行实验的平均值,以平均值 ± 标准差的形式表示,小数点后保留两位有效数字。

2 结果与分析

2.1 一般营养成分及含量

结果表明,羊栖菜鲜藻的含水量为 83.16%,冷冻干燥后羊栖菜粉含水量降低至 7.38%,主要成分为碳水化合物,含量约 45.77%,其中粗纤维含量 10.16%,比浙江洞头羊栖粗纤维含量稍高,总糖含量基本一致,粗蛋白含量为 6.05%,灰分含量 15.07%,与浙江洞头及大连羊栖菜相比,渤海羊栖菜蛋白质及灰分含量均偏低,而粗脂肪含量 0.74%,介于两者之间。本文原料羊栖菜来自渤海,与李八方^[23]、李波^[26]等测定的浙江温州洞头县羊栖菜的各项营养成分相比,含量有较大变化,说明羊栖菜的营养成分含量与地域和原料前处理方式有关。除产地、前处理等因素外,羊栖菜营养成分的变化还与其藻龄、季节等因素有关^[27]。羊栖菜脂肪含量比海带(褐藻)、江蓠(红藻)高,粗纤维含量比江蓠和长茎葡萄蕨藻(绿藻)的高,灰分含量与海带、江蓠不相上下,而稍低于长茎葡萄蕨藻,说明羊栖菜脂肪含量相对丰富,且富含膳食纤维,可以为人体提供必需的营养素,同时可作为矿物质源,为人类提供矿物质。

2.2 氨基酸组成分析

羊栖菜氨基酸含量见表 4。除色氨酸水解被破坏,胱氨酸未检出以外,一共检测到 16 种氨基酸,必需氨基酸(essential amino acid,EAA)含量为 20.01 mg/g,非必需氨基酸(non-essential amino acid,NEAA)总量为 24.45 mg/g,氨基酸总量(total amino acid,TAA)为 44.46 mg/g。EAA/TAA 为 45.01%,EAA/NEAA 为 81.84%,符合 WHO/FAO 在 1973 年推荐的理想蛋白

质模式(EAA/TAA 在 40% 左右,EAA/NEAA 在 60% 以上)^[25],说明羊栖菜氨基酸组成比例合理,可以提供优质蛋白质。羊栖菜中鲜味氨基酸^[15](Asp、Glu)含量 10.85 mg/g,占氨基酸总量的 24.40%,与甘味有关的氨基酸^[15](Gly、Ala、Ser、Pro)含量 11.26 mg/g,占氨基酸总量的 25.33%,呈味氨基酸占氨基酸总量的 49.73%,与林建云^[7]所测羊栖菜呈味氨基酸含量(47.9%)基本一致。利用羊栖菜浓郁的海藻鲜味加工即食羊栖菜^[28]、羊栖菜保健休闲食品,例如果冻、蛋糕、面包^[29-31]等,以及羊栖菜调味料^[32]等具有独特风味的海藻食品,可实现羊栖菜的高值化利用。

表4 羊栖菜的氨基酸组成及含量

Table 4 Amino acids composition and content of *Sargassum fusiforme*

氨基酸	缩写	粗蛋白中含量 (g/100 g)	干基含量 (mg/g)
天冬氨酸	Asp	8.48	5.13 ±0.79
谷氨酸	Glu	9.45	5.72 ±0.56
组氨酸	His	1.00	0.61 ±0.10
丝氨酸	Ser	3.99	2.41 ±0.29
甘氨酸	Gly	5.95	3.60 ±0.37
苏氨酸*	Thr	3.90	2.36 ±0.30
牛磺酸	Tau	0.45	0.27 ±0.01
脯氨酸	Pro	3.53	2.13 ±0.15
丙氨酸	Ala	5.16	3.12 ±0.53
缬氨酸*	Val	4.77	2.89 ±0.28
甲硫氨酸*	Met	2.01	1.21 ±0.14
异亮氨酸*	Ile	7.49	4.53 ±0.40
亮氨酸*	Leu	6.18	3.74 ±0.42
苯丙氨酸*	Phe	4.23	2.56 ±0.29
赖氨酸*	Lys	4.49	2.72 ±0.48
酪氨酸	Tyr	2.41	1.46 ±0.31
胱氨酸	Cys	-	-
必需氨基酸	EAA	33.07	20.01
非必须氨基酸	NEAA	40.42	24.45
氨基酸总量	TAA	73.49	44.46
EAA/TAA (%)			45.01
EAA/NEAA (%)			81.84

注:“*”为必需氨基酸,“-”表示未检出。

以氨基酸评分、化学评分及必需氨基酸指数对羊栖菜蛋白质的氨基酸进行评价,结果如表 5 所示。由表中的 AAS 和 CS 可知,羊栖菜的限制性氨基

表5 羊栖菜必需氨基酸组成的评价
Table 5 Evaluation of essential amino acids in *Sargassum fusiforme* (mg/g, N)

必需氨基酸 EAA	FAO/WHO 评分模式 FAO/WHO evaluation mode	鸡蛋蛋白 ^[17] Egg protein	羊栖菜 <i>S.fusiforme</i>	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS
苏氨酸 Thr	250	292	244	0.98	0.84
赖氨酸 Lys	340	441	281	0.83	0.64
缬氨酸 Val	310	441	299	0.96	0.68
亮氨酸 Leu	440	534	386	0.88	0.72
异亮氨酸 Ile	250	331	468	1.87	1.47
甲硫氨酸 + 胱氨酸 (Met + Cys)	220	386	125	0.57	0.32
苯丙氨酸 + 酪氨酸 (Phe + Tyr)	380	565	415	1.09	0.73
EAAI		100			70.94

酸^[18]为甲硫氨酸 + 胱氨酸, EAAI 为 70.94, 为良好蛋白质来源。

2.3 脂肪酸组成分析

从渤海羊栖菜粉所提取的油脂中共检测出 14 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸 (saturated fatty acid, SAFA) 6 种, 含量占脂肪酸总量的 47.76%, 单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA) 4 种, 含量 15.41%, 多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 4 种, 含量 36.82%。SAFA 以棕榈酸 (C16:0) 为主, 含量为脂肪酸总量的 42.76%, MUFA 中油酸 (C18:1n-9) 含量最高, 占总脂肪酸含量的 7.76%, PUFA 中含量最高的花生四烯酸 (C20:4n-6, arachidonic acid, AA), 占 20.82%, 是人体的一种必需脂肪酸, 作为结构脂类, 广泛存在于哺乳动物的器官、肌肉组织中, 同时也是多种生物活性物质的前体^[34]。羊栖菜中亚油酸和亚麻酸含量约为脂肪酸总量的 10.83%, 两者不仅是磷脂的重要组成部分, 也是合成前列腺的前体物质, 还对胆固醇的代谢有重要作用^[35]。羊栖菜中 EPA (C20:5n-3, eicosapentaenoic acid, EPA) 含量为脂肪酸总量的 5.17%, 具有抗炎、调节免疫等生理活性, 对心脑血管疾病、过敏性疾病及癌症等具有一定程度的预防作用^[36], 是人体和动物的必需脂肪酸, 有研究表明, 海洋藻类是最为理想 EPA 来源, 产率比利用真菌和细菌培养高出 1~2 个数量级^[37]。由表 6 可以看出, 不同海域羊栖菜的脂肪酸组成及含量虽有一定差异, 但其特征脂肪酸均为 C16:0, 含量高达总脂肪酸含量的 40%, 且三者均含有陆生植物中罕有的奇数脂肪酸 C15:0, 羊栖菜油脂具有水生与陆生植物油脂的共性, 具有较高的营养价值。

2.4 部分微量元素含量

在海洋环境污染日益严重的情况下, 对海洋藻类中的金属含量进行分析和安全性评价显得尤为重要。经测定, 羊栖菜中的 Pb、Cd、Cu、Hg、As 含量分别为 4.96、0.54、6.64、0.0003、0.22 mg/kg, 根据 GB 19643-2016 食品安全国家标准 藻类及其制品中的污染物限量标准^[38]和 GB 2762-2017 食品中污染物限量标准^[39], 藻类及其制品中铅的限量标准为 1 mg/kg (干重), 参照药用植物及制剂外经贸绿色行业标准^[40]中重金属及砷盐限量标准, 重金属总量 ≤ 20.0 mg/kg,

表6 不同海域羊栖菜的脂肪酸组成及含量比较
Table 6 Comparison of fatty acid composition and content of *Sargassum fusiforme* in different seas

编号	脂肪酸	渤海 (%)	浙江温州 洞头 ^[33] (%)	福建 沿海 ^[7] (%)
1	C12:0	-	0.21	-
2	C14:0	2.33	5.43	5.80
3	C15:0	0.35	0.42	0.50
4	C16:0	42.76	39.3	39.20
5	C16:1	3.28	4.08	4.20
6	C18:0	0.94	1.78	2.10
7	C18:1n-7	-	-	4.10
8	C18:1n-9	7.76	11.76	7.70
9	C18:2n-6	3.06	3.70	3.40
10	C18:3n-3	7.77	6.58	7.90
11	C20:0	0.69	0.67	-
12	C20:1n-3	-	-	1.40
13	C20:1n-9	2.06	2.46	-
14	C20:4n-6 (AA)	20.82	9.18	2.60
15	C20:5n-3 (EPA)	5.17	5.39	5.40
16	C22:0	0.69	3.65	-
17	C22:1n-9	2.31	4.39	-
18	C24:0	-	-	0.20
	饱和脂肪酸 (SAFA)	47.76	51.46	47.80
	单不饱和脂肪酸 (MUFA)	15.41	22.69	36.70
	多不饱和脂肪酸 (PUFA)	36.82	26.40	19.30

注:“-”表示未检出。

Pb ≤ 5.0 mg/kg, Cd ≤ 0.3 mg/kg, Hg ≤ 0.2 mg/kg, Cu ≤ 20.0 mg/kg, As ≤ 2.0 mg/kg, 羊栖菜中铜、汞、砷含量符合标准, 但铅、镉含量有不同程度的超标, 可能是养殖水域环境中铅、镉等金属污染所致; 另外藻类可通过主动运输和被动吸收等途径, 在体内蓄积海洋中的金属离子^[41-42], 也是海藻中金属含量超标不可忽视的因素。

3 结论

渤海养殖褐藻羊栖菜的主要成分为碳水化合物, 包括总糖和粗纤维, 含量 45.77%。粗蛋白含量 6.05%, 检测出的 16 种氨基酸中呈味氨基酸含量为

表7 羊栖菜部分微量元素含量

Table 7 Parts of content of microelements in *Sargassum fusiforme*

元素种类	回归方程	线性范围	相关系数	含量(mg/kg)
Pb	$Y = 0.0312X + 0.001$	0.1~1.0 $\mu\text{g/mL}$	0.9997	4.96
Cd	$Y = 0.1595X + 0.0053$	0.1~1.0 $\mu\text{g/mL}$	0.9983	0.54
Cu	$Y = 0.0241X - 0.0006$	0.5~2.5 $\mu\text{g/mL}$	0.9939	6.64
Hg	$Y = 52.057X + 0.4172$	0~0.8 $\mu\text{g/L}$	0.9991	0.0003
As	$Y = 51.28X - 19.472$	0~10.0 $\mu\text{g/L}$	0.9913	0.22

总氨基酸含量的49.73%,限制性氨基酸为甲硫氨酸+胱氨酸,EAA/TAA为45.01%,EAA/NEAA为81.84%,EAAI为70.94,氨基酸组成比例均衡,为良好蛋白质来源。粗脂肪含量0.74%,包含14种脂肪酸,特征脂肪酸为C16:0,不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸含量的52.23%,其中花生四烯酸含量为20.82%,亚油酸和亚麻酸含量约10.83%,EPA含量5.17%,人体必需脂肪酸含量高且具有多种生理活性成分。对羊栖菜中部分微量元素含量进行分析,发现重金属铅、镉含量有超标现象,说明羊栖菜对重金属具有一定的富集现象,羊栖菜应用于食品行业时对重金属含量的把控环节应引起重视,同时可利用羊栖菜对重金属的富集功能,扩展羊栖菜在重金属吸附领域的应用。

参考文献

- [1] 张华芳.羊栖菜研究进展概述[J].时珍国医国药,2005,16(6):480-481.
- [2] 周书娟.褐藻羊栖菜等化学成分及其抗氧化活性的研究[D].温州:温州大学,2015:1.
- [3] 崔海峰.不同品系羊栖菜形态和营养成分的初步分析[D].哈尔滨:东北林业大学,2013:1,7.
- [4] 张展,刘建国.羊栖菜的研究述评[J].渔业科学进展,2002,23(3):67-74.
- [5] 姚海芹,王飞久,刘福利,等.食用海带新品系营养成分分析与评价[J].食品科学,2016,37(12):95-98.
- [6] Nagato Y, Kawaguchi S. Seasonal changes of *Sargassum fusiforme* at Shikanoshima on the northern coast of Kyushu, Japan, according to the fluctuations in weight of main branches[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 2003, 69:30-35.
- [7] 林建云,林涛,林丽萍,等.福建近海几种海藻的营养成分与饲用安全评价分析[J].福建农业学报,2011,26(6):997-1002.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.3-2016 食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [13] 赵萍.羊栖菜多糖的分离纯化以及抗衰老活性的研究[D].长春:东北师范大学,2015:10-11.
- [14] 康彩峰.羊栖菜褐藻糖胶的分离纯化及其免疫活性的研究[D].长春:东北师范大学,2015:18.
- [15] 李娜.贝类中氨基酸、脂肪酸和重金属的含量分析及其产品质量评价[D].保定:河北农业大学,2011:12-16.
- [16] Organization W H, University U N. Energy and protein requirements[M]. World Health Organization, 1973:481-486.
- [17] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所.食物成分表:全国代表值[M].北京:人民卫生出版社,1991.
- [18] 董辉,王颖,刘亚琼,等.杂色蛤软体部营养成分分析及评价[J].水产学报,2011,35(2):276-282.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.13-2003 食品安全国家标准 食品中铜的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.17-2014 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.11-2014 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [22] 黄志伟,黎中良,韦庆敏.微波消解-火焰原子吸收光谱法测定紫菜中八种微量元素[J].广东微量元素科学,2007,14(1):40-44.
- [23] 李八方.羊栖菜功能多糖化学及其生物活性研究[D].北京:中国科学院研究生院(海洋研究所),2003:14.
- [24] 陶平,许庆陵,姚俊刚,等.大连沿海13种食用海藻的营养组成分析[J].辽宁师范大学学报自然科学版,2001,24(4):406-410.
- [25] 姜芳燕,宋文明,杨宁,等.海南长茎葡萄蕨藻的营养成分分析及评价[J].食品工业科技,2014,35(24):356-359.
- [26] 李波.羊栖菜褐藻糖胶的提取纯化和结构研究[D].江南大学,2005:23.
- [27] 常秀莲,王文华,冯咏梅.海藻吸附重金属离子的研究[J].海洋通报,2003,22(2):39-44.
- [28] 张井,曹荣,薛长湖.真空软包装即食羊栖菜食品的研究与开发[J].食品工业科技,2009(5):218-220.
- [29] 朱莉莉.羊栖菜保健果冻和复合蔬菜纸的研究[D].陕西科技大学,2012:27,55.
- [30] 周峙苗,洪映君.羊栖菜蛋糕的研制[J].现代食品科技,2001,17(1):42-43.
- [31] 周峙苗,李国兴.羊栖菜面包的研制[J].食品工业科技,2001(4):60-62.

(下转第311页)

Stress: Effects, Mechanisms and Management [M]. Netherlands: Springer, 2009: 153–188.

[38] Cho S W, Kim T S, Kwon S J, et al. Effect of pre-germination by treatment of soaking on germination of soybean [J]. Korean Journal of Crop Science, 2015, 60(1): 123–137.

[39] 陈文杰, 陈渊, 梁江, 等. 不同浸水时间对大豆种子发芽的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(12): 1981–1984.

[40] Rajapakse N C, He C, Cisneros-Zevallos L, et al. Hypobaric and hypoxia affects growth and phytochemical contents of lettuce [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122: 171–178.

[41] Tang Y, Gao F, Guo S, et al. Effects of hypobaric and hypoxia on seed germination of six plant species [J]. Life Sciences in Space Research, 2014, 3: 24–31.

[42] Wang Z F, Wang J F, Bao Y M, et al. Quantitative trait loci controlling rice seed germination under salt stress [J]. Euphytica, 2011, 178(3): 297–307.

[43] Lin H M, Chang R Z, Shao G H, et al. (eds.) Research on tolerance to stresses in Chinese soybean [M]. Beijing: China Agriculturae Press, 2009: 68–69.

[44] 肖朝霞. 盐碱胁迫对大豆种子萌发及抗氧化性的影响[J]. 甘肃农业科技, 2011(1): 31–33.

[45] 何士敏, 秦家顺, 吴刚. 晒浸种对大豆种子萌发的生理生化效应[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 158–160.

[46] 梁淑轩, 高宁, 孙汉文. 大豆种子萌发和幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(4): 1110–1114.

[47] Yin Y, Yang R, Guo Q, et al. NaCl stress and supplemental CaCl_2 regulating GABA metabolism pathways in germinating soybean [J]. European Food Research and Technology, 2014, 238: 781–788.

[48] Wang Y J, Zhou Y, Xu M, et al. Germination parameters and mineral levels in soybean plants under salt stress [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(6): 1565–1571.

[49] Hilal M, Zenoff A M, Ponessa G, et al. Saline stress alters the temporal patterns of xylem differentiation and alternative oxidase expression in developing soybean roots [J]. Plant Physiology, 1998, 117(2): 695–701.

(上接第 300 页)

[32] 胡嘉鹏. 羊栖菜调味酱的研制[J]. 中国调味品, 2001(6): 19–20.

[33] 夏静芬, 汪财生, 钱国英. 羊栖菜和海带脂肪酸组成的比较分析[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(12): 5–8.

[34] 唐春华, 陈韬. 花生四烯酸生物活性及其对机体的免疫作用[J]. 畜禽业, 2009(6): 20–22.

[35] 刘祥义, 付惠, 张加研. 云南元宝枫种子含油量及其脂肪酸成分分析[J]. 天然产物研究与开发, 2003, 15(1): 38–39.

[36] 郭玉华, 李钰金. 水产品中 EPA 和 DHA 的研究进展[J]. 肉类研究, 2011, 25(1): 82–86.

[37] 郝颖, 汪之和. EPA、DHA 的营养功能及其产品安全性分析[J]. 现代食品科技, 2006, 22(3): 180–183.

[38] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 19643

[50] Franco O L, Eneas Filho J, Prisco J T, et al. Effects of CaCl_2 on growth and osmoregulator accumulation in NaCl stressed cowpea seedlings [J]. Revista Brasileira De Fisiologia Vegetal, 1999, 11(3): 145–151.

[51] Neves G Y S, Zonetti P D C, Ferrarese M D L L, et al. Seed germination and seedlings growth of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under salt stress [J]. Bioscience Journal, 2005, 21(1): 77–83.

[52] Fercha A, Capriotti A L, Caruso G, et al. Shotgun proteomic analysis of soybean embryonic axes during germination under salt stress [J]. Proteomics, 2016, 16: 1537–1546.

[53] Corbineau F, Xia Q, Bailly C, et al. Ethylene, a key factor in the regulation of seed dormancy [J]. Frontiers in Plant Science, 2014, 5: 539.

[54] Liu C, Zhao Y, Liu J, et al. The effects of ethylene on the HCl-extractability of trace elements during soybean seed germination [J]. Electronic Journal of Biotechnology, 2015, 18: 333–337.

[55] 赵萌萌, 崔向军, 汪斌, 等. 超声波处理对黄豆种子萌发过程的影响[J]. 湖南农业科学, 2013, 7: 47–50.

[56] Yang H, Gao J, Yang A, et al. The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts [J]. Food Research International, 2015, 77: 704–710.

[57] 刘金文, 彭东君, 韩毅强, 等. 微波处理对大豆种子萌发及其产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2013(4): 10–14.

[58] 吴旭红, 冯晶旻. 微波热击处理对大豆种子萌发及活力的影响[J]. 微波学报, 2011, 27(5): 93–96.

[59] Arc E, Sechet J, Corbineau F, et al. ABA crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination [J]. Frontiers in Plant Science, 2013, 4: 63.

[60] Gaba V, Kathiravan K, Amutha S, et al. The uses of ultrasound in plant tissue culture [M]. Netherlands: Springer, 2008: 417–426.

[61] Goussous S J, Samarah N H, Alqudah A M, et al. Enhancing seed germination of four crop species using an ultrasonic technique [J]. Experimental Agriculture, 2010, 46(2): 231–242.

–2016 食品安全国家标准 藻类及其制品[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[39] 中华人民共和国卫生部. GB 2762–2012 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

[40] 中华人民共和国商务部. WM/T 2–2004 药用植物及制剂外经贸绿色行业标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

[41] Miao L, Yan W, Zhong L, et al. Effect of heavy metals (Cu, Pb, and As) on the ultrastructure of *Sargassum pallidum* in Daya Bay, China. [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2014, 186(1): 87–95.

[42] Chang X, Wang W, Feng Y, et al. Investigation of Cadmium (II) Biosorption on *Sargassum kjellmanum* [J]. Marine Science Bulletin, 2003.