

超声辅助海藻碘制备工艺及其 氨基酸组成分析

Study on preparation technology and amino acid composition of ultrasonic-assisted seaweed iodine

刘文倩^{1,2,3} 岳元媛^{1,2,3} 李加兴^{1,2,3}

LIU Wen-qian^{1,2,3} YUE Yuan-yuan^{1,2,3} LI Jia-xing^{1,2,3}

欧阳华峰^{1,2,3} 王 茹^{1,2,3} 王依平^{2,3}

OUYANG Hua-feng^{1,2,3} WANG Ru^{1,2,3} WANG Yi-ping^{2,3}

(1. 雪天盐业集团股份有限公司, 湖南 长沙 410004; 2. 湖南省井矿盐工程技术研究中心,
湖南 长沙 410004; 3. 湖南省轻工盐业集团技术中心, 湖南 长沙 410004)

(1. Snowsky Salt Industry Group Co., Ltd., Changsha, Hunan 410004, China; 2. Hunan Well Salt
Engineering Technology Research Center, Changsha, Hunan 410004, China; 3. Hunan Light Industry
and Salt Industry Group Technology Center Co., Ltd., Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:目的:提高海藻碘制备效率、降低成本。方法:研究在海带浸提工段加入超声波辅助技术。通过单因素和响应面设计优化了超声波辅助提取海藻碘的工艺,利用高效液相色谱法对终产品中氨基酸组成进行了分析。**结果:**超声辅助浸提的最优工艺条件为超声功率 125 W、超声时间 130 min、超声温度 57 ℃,该工艺条件下海藻碘的提取率为 39.85%,是不使用超声辅助工艺的 1.6 倍。制备的海藻碘产品含有 11 种氨基酸,包括 2 种必需氨基酸,2 种鲜味氨基酸,同时还检测出了二碘酪氨酸。**结论:**超声辅助技术可以提高海藻碘的生产效率。

关键词:超声波;海藻碘;提取;氨基酸

Abstract: Objective: This study aimed to improve the preparation efficiency seaweed iodine and reduce the cost. **Methods:** The ultrasonic assisted technology was applied in kelp extraction section. The ultrasonic-assisted extraction technology of seaweed iodine was optimized by single factor and response surface test design. The amino acid composition in the final product was analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC). **Results:** The optimal extraction conditions were as follows: ultrasonic power 125 W, ultrasonic time 130 min and ultrasonic temperature 57 ℃. Under the control of these conditions, the

extraction yield was 39.85%, which was 1.6 times higher than that without ultrasonic-assisted extraction. The seaweed iodine products contained 11 kinds of amino acids, including 2 kinds of essential amino acids and 2 kinds of umami amino acids, and diiodotyrosine was also detected. **Conclusion:** Ultrasonic-assisted preparation can improve the production efficiency of iodine in seaweed.

Keywords: ultrasonic; seaweed iodine; extraction; amino acids

碘是合成甲状腺激素所必需的元素,为了消除碘缺乏病,中国从 19 世纪 90 年代开始实施食盐加碘政策。目前食用盐中使用的碘的来源包括碘化钾、碘酸钾和海藻碘^[1-3]。海藻碘即富含碘的海带提取液,是以海带为原料,经水浸提、过滤、浓缩等物理工序加工而成。与碘酸钾、碘化钾等碘营养强化剂相比,其最大的特点在于碘的形态多样。海藻碘中既有无机碘,又有有机碘^[4-5],其中无机碘主要以碘离子的形式存在,有机碘主要与氨基酸、色素、多酚、多糖类物质结合。此外,海藻碘液中还含有多种矿物质、褐藻糖、甘露糖醇等^[6-7]。不少学者^[8-10]对海藻碘的食用安全性进行了研究,认为相对于无机碘,海藻碘的稳定性更好,更容易吸收,是更加安全和科学的碘营养强化剂。目前有多位学者开展了海藻碘中碘的形态研究,Liu 等^[11]、Yun 等^[12-13]和迟玉森等^[14]采用色谱和质谱对有机碘的结构进行了研究,认为酪氨酸碘是有机碘的主要形态,除此之外,还发现了 4-碘苯酚和 2-碘苯

作者简介:刘文倩,女,湖南省轻工盐业集团技术中心工程师,硕士。

通信作者:岳元媛(1982—),女,湖南省轻工盐业集团技术中心副研究员,硕士。E-mail:13554829@qq.com

收稿日期:2022-08-01 **改回日期:**2022-12-27

甲酸。因此,提高终产品中碘的含量是制备海藻碘的关键工艺^[15-17]。

通过调研中国海藻碘生产企业发现,大多海藻碘生产企业以上游原料供应商提供的海带浓缩液(来源于海带烫漂水)为原料,通过分阶段进行 3~5 次蒸发浓缩,分离去掉结晶体(如盐、甘露糖),以制得达到国标要求的海藻碘终产品。而经多次浓缩,一方面容易导致产品灰分含量超标,另一方面会增加汽耗成本。通过微波辅助^[18]、超声辅助^[19-20]、酶法提取^[21]、离子液体萃取^[22]等辅助手段可以提高提取效率。由于海藻碘只能采取水提的方式(GB 1903.39—2018《食品安全国家标准 海藻碘》规定),而且超声设备对于生产企业来说应用范围较广。因此,研究拟以水作为提取溶剂,辅以超声辅助提取工艺,通过响应面法进一步优化超声提取条件,并对提取后的海藻碘液进行氨基酸组成分析,旨在为海藻碘的营养研究及利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 原材料

干海带:产地山东荣成,市售。

1.1.2 化学试剂

硫代硫酸钠、碘化钾、甲醇、乙腈:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

褐藻糖标准品:食品级,北京曼哈格生物科技有限公司;

17 种氨基酸标准品:分析标准品,上海源叶生物科技有限公司;

OPA、FMOC 衍生试剂:试剂纯,安捷伦科技有限公司。

1.2 仪器与设备

水浴锅:HH-S26S 型,金坛市大地自动化仪器厂;

紫外分光光度计:UV-2450 型,岛津企业管理(中国)有限公司;

超声清洗机:KQ-500DE 型,昆山市超声仪器有限公司;

旋转蒸发仪:RE-52AA 型,上海亚荣生化仪器厂;

高效液相色谱仪:1260 Infinity 型,安捷伦科技(中国)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 海藻碘的提取工艺 将干海带剪切成 1 cm×1 cm 左右的小块,超纯水粗洗掉盐粒等杂质,加入超纯水($m_{\text{干海带}} : m_{\text{超纯水}} = 1 : 5$)放入超声波清洗器中进行超声浸提,使海带中的碘溶出形成初级海藻碘液,沥出浸提液,在 60 ℃下旋转蒸发浓缩至原体积的 1/3,取出后离心(3 000 r/min,3 min)分离,取上清液进行真空干燥(干燥温度 60 ℃,真空度 100 Pa)后得到海藻碘终产品。

1.3.2 海藻碘提取率的计算 按式(1)进行计算。

$$c = \frac{m}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——海藻碘得率, %

m ——终产品中碘的质量, g;

M ——海带中碘的质量, g。

1.3.3 海藻碘制备工艺条件优化 按照 1.3.1 的提取方法,以海藻碘得率为指标,固定超声温度 60 ℃,超声时间 180 min,研究不同超声功率(0, 50, 75, 100, 125, 150 W)对海藻碘得率的影响;固定超声温度 60 ℃,超声功率 125 W,研究不同超声时间(60, 90, 120, 150, 180 min)对海藻碘得率的影响;固定超声功率 125 W,超声时间 150 min,研究不同超声温度(20, 30, 40, 50, 60, 90 ℃)对海藻碘得率的影响。

基于单因素的试验数据,以海藻碘得率为响应值,以超声波效率、超声时间、超声温度为条件因子,通过 Design-Expert 8.0 软件设计 Box-Behnken 中心组合试验的数学模型优化提取条件。

1.3.4 海藻碘液的营养成分分析

(1) 灰分、碘、褐藻糖、甘露糖醇检测:按 GB 1903.39—2018《食品安全国家标准 食品营养强化剂 海藻碘》执行。

(2) 氨基酸分析:采用高效液相色谱法^[23]。色谱柱:EC-C₁₈ 柱(3.0 mm×150 mm, 2.7 μm);流动相 A:40 mmol/L NaH₂PO₄,用 10 mol/L 的 NaOH 溶液调 pH 至 7.8;流动相 B:乙腈/甲醇/水($V_{\text{乙腈}} : V_{\text{甲醇}} : V_{\text{水}} = 45 : 45 : 10$);采用梯度洗脱,洗脱程序见表 1;柱温:40 ℃;波长:338 nm。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

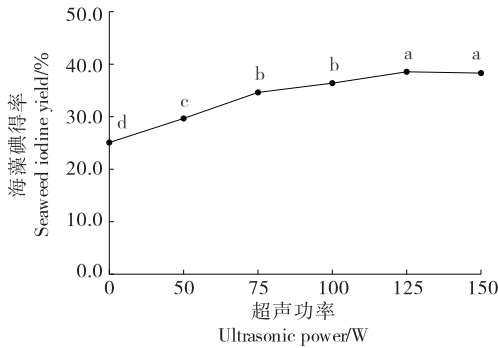
2.1.1 超声功率对海藻碘得率的影响 由图 1 可知,辅以超声的试验组海藻碘得率均高于对照组(25.0%);50,

表 1 高效液相色谱仪测氨基酸的洗脱梯度

Table 1 The elution gradient for amino acid determination by HPLC

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0.0	95	5
1.9	95	5
18.1	43	57
18.6	0	100
22.3	0	100
23.2	95	5
26.0	95	5

75,100 W 的效果差异显著;125 W 后无显著性增加。这是由于在水提过程中,超声波的强烈震动可以破坏海带细胞,加速植物分子的运动,有利于碘的浸出,相比不使用超声辅助手段的对照组来说,浸提效果更明显。超声辅助处理可以使溶剂快速穿过植物细胞壁并深入渗透,同时提高目标分析物的提取率。银慧慧等^[24]认为加大超声功率后,加速了提取溶剂的流动,有利于目标产物的溶出。综合提取周期和能耗考虑,超声波功率取125 W 左右较为适宜。



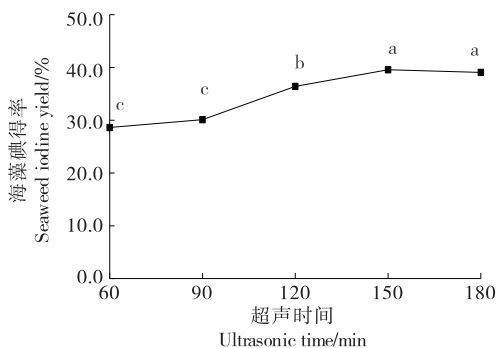
字母不同表示存在显著性差异($P < 0.05$)

图1 超声功率对海藻碘得率的影响

Figure 1 Effects of different ultrasonic power on the yield of seaweed iodine

2.1.2 超声时间对海藻碘得率的影响 由图2可知,海藻碘液中的碘含量随超声时间的增加呈上升趋势,但超声时间达到150 min 后海藻碘得率未有明显变化。其原因可能是随着超声时间的延长,海藻糖、褐藻胶等物质也相应浸出,造成溶液密度增大,可溶出物逐渐达到饱和,从而影响了碘的浸出速率和溶解度。因此,超声时间取150 min 左右较为适宜。

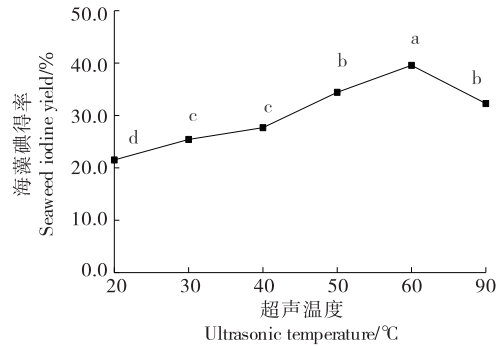
2.1.3 超声温度对海藻碘得率的影响 由图3可知,超声温度为30~60℃时,随温度升高,碘的溶出会增加,但超声温度升高至90℃时,海藻碘液中的碘含量下降至



字母不同表示存在显著性差异($P < 0.05$)

图2 超声时间对海藻碘得率的影响

Figure 2 Effects of different ultrasonic time on the yield of seaweed iodine



字母不同表示存在显著性差异($P < 0.05$)

图3 超声温度对海藻碘得率的影响

Figure 3 Effects of different ultrasonic temperature on the yield of seaweed iodine

32.3%,这是由于温度越高、海带中含有的糖醇的溶解度越大,造成溶液杂质溶出增加,不利于碘离子和有机碘的浸出。而且高温下保温时间长,可能会引起碘氨基酸等有机碘成分的分解^[20],从而降低总碘的得率。因此,超声温度取60℃左右较为适宜。

2.2 响应面优化海藻碘提取工艺

2.2.1 响应面试验设计方案及结果 响应面试验因素及水平见表2,结果及分析见表3、表4。

根据表3建立数学回归模型,得到海藻碘得率的拟合方程为:

$$R = 39.74 + 0.36A - 0.075B - 0.96C - 0.3AB - 0.32AC - 0.8BC - 1.43A^2 - 1.56B^2 - 1.98C^2 \quad (2)$$

由表4可知,此回归模型显著($P < 0.0001$),海藻碘得率失拟项 $P = 0.2853 > 0.05$,不显著,模型系数的显著性检验结果 $R^2 = 0.9904$,变异系数为0.71%,说明该模型能解释99.04%的响应值的变化。试验所建立的模型中,超声时间一次项、超声功率和超声时间的交互项没有显著性影响,其余均对海藻碘得率有显著影响,其中超声功率和超声温度交互达到显著水平($P < 0.05$),超声功率、超声温度一次项,超声时间和超声温度交互项、超声功率、超声时间、超声温度二次项达到极显著水平($P < 0.01$)。

2.2.2 因素间的交互作用对海藻碘得率的影响 图4(a)中,超声功率和超声时间的二维等高线图接近圆形,说明

表2 响应面试验因素水平表

Table 2 Factors and levels for orthogonal experimental design center combination

水平	A 超声功率/W	B 超声时间/min	C 超声温度/°C
-1	100	120	50
0	125	150	60
1	150	180	70

表 3 Box-Behnken 中心组合试验方案及结果

Table 3 Experimental schemes and results of Box-Behnken

试验号	A	B	C	得率/%
1	-1	0	-1	36.4
2	1	-1	0	37.5
3	-1	0	1	35.5
4	0	0	0	39.5
5	1	0	1	35.6
6	-1	1	0	36.6
7	0	0	0	39.8
8	0	1	1	34.2
9	0	-1	-1	36.6
10	0	0	0	39.6
11	1	1	0	36.7
12	0	0	0	39.7
13	0	0	0	40.1
14	-1	-1	0	36.2
15	0	-1	1	35.9
16	0	1	-1	38.1
17	1	0	-1	37.8

表 4 响应面模型方差分析[†]

Table 4 Response surface and contour maps of the interaction of various factors on seaweed iodine yield

方差来源	自由度	偏差平方和	均方和	F 值	P 值
模型	9	51.30	5.70	79.88	<0.000 1**
A	1	1.05	1.05	14.73	0.006 4**
B	1	0.05	0.05	0.63	0.453 2
C	1	7.41	7.41	103.86	<0.000 1**
AB	1	0.36	0.36	5.05	0.059 5
AC	1	0.42	0.42	5.92	0.045 2*
BC	1	2.56	2.56	35.88	0.000 5**
A ²	1	8.64	8.64	121.08	<0.000 1**
B ²	1	10.21	10.21	143.14	<0.000 1**
C ²	1	16.55	16.55	231.91	<0.000 1**
残差	7	0.50	0.07		
失拟项	3	0.29	0.10	1.81	0.285 3
纯误差	4	0.21	0.05		
总变异	16	51.80			

[†] ** . $P < 0.01$, 差异极显著; * . $P < 0.05$, 差异显著; R^2 为 0.990 4。

超声功率和超声时间交互作用影响不明显。

图 4(c)中, 超声功率和超声温度等高线图, 说明超声功率与超声温度的交互作用显著。图 4(d)中, 超声温度一定时, 海藻碘得率随超声功率的升高先增大后降低的现象。这是由于超声波的穿透效应可以加速碘化合物的溶出, 但是超声功率过大, 分子运动加剧, 对

碘化物的浸出也可能造成负效应。

图 4(e)中, 超声时间和超声温度的等高线图, 说明超声时间和超声温度也存在显著性交互影响。图 4(f)中, 超声温度一定时, 随着超声时间的延长, 海藻碘得率先增大后减小, 这是由于温度较低时, 需要充足的时间使目标分子溶解, 相反若温度增加, 分子运动剧烈,

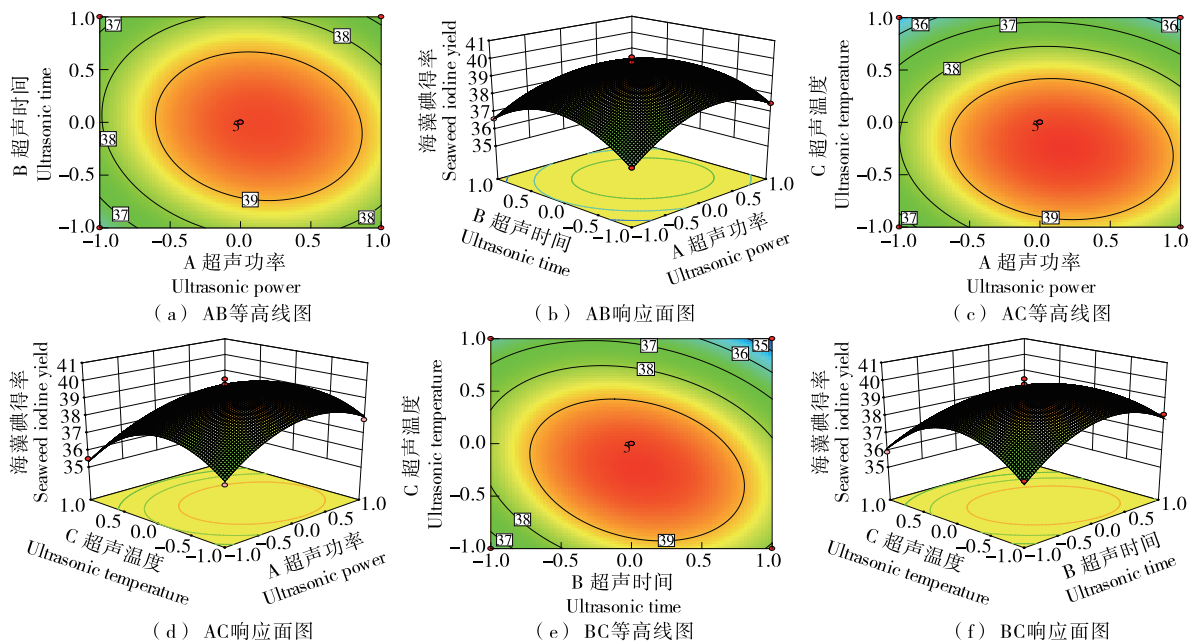


图 4 各因素交互作用对海藻碘得率影响的响应面图和等高线图

Figure 4 Response surface plot and contour plot of anthocyanins extraction under the interaction of different treatment factors

则相对缩短时间可以达到较好效果。

2.2.3 最佳工艺参数的确定及模型验证 通过响应面试验获得最佳工艺条件,优化后,超声工艺辅助海藻碘提取的最佳条件为:超声功率 128.75 W、超声时间 129.00 min、超声温度 57.40 ℃,实际制备中,将提取工艺条件修正为超声功率 125 W、超声时间 130 min、超声温度 57 ℃,3次平行实验海藻碘得率平均值为 39.85%,是优化前的 1.6 倍,具有实用价值。

2.3 海藻碘终产品成分分析

2.3.1 理化成分分析 按照 1.3.1 海藻碘的提取工艺,取浓缩后不经冷冻干燥的海藻碘液进行分析,结果显示,其褐藻糖、甘露糖醇可以达到国家标准要求,但是灰分含量超出国家标准范围,碘含量也未达到国家标准的要求,因此在实际生产工艺中,需要原液进行除盐除渣后再浓缩,以控制灰分指标^[16-17],同时提高碘的浓度,而研究目的在于解决前端海带一次提取中尽量获得较多的碘,以减少后续浓缩过程工序,降低浓缩成本。

表 5 海藻碘液的理化成分含量

Table 5 The content of physical and chemical components of seaweed iodine solution

项目	单位	测定值	国标 ^[25] 要求
灰分	%	23.2	≤20.0
总碘	%	0.57	3.0~5.0
二碘酪氨酸	mg/g	0.72	/
褐藻糖	%	3.96	≥0.3
甘露糖醇	%	18.94	≥7.0

2.3.2 氨基酸组成分析 通过液相色谱分析,提取的海藻碘终产品中氨基酸总含量为 9.022 mg/g,共检测出 11 种氨基酸,其中包括苏氨酸、异亮氨酸 2 种必需氨基酸和天冬氨酸、谷氨酸 2 种鲜味氨基酸,这两种鲜味氨基酸对于海带加工产品的风味有重要意义,也会导致添加海藻碘的食用盐相比添加化学碘酸钾的食用盐鲜味更加突出和明显。同时还检测出了有机碘——二碘酪氨酸,其含量为 0.72 mg/g,约占总碘含量的 0.16%,与韩丽君等^[4]研究发现的海带中有机碘占总碘 20%的结果不一致,说明水对碘酪氨酸的提取有局限性。

3 结论

研究以干海带为原料提取海藻碘,利用单因素和响应面设计对海藻碘制备过程中超声辅助的工艺条件进行了优化,结果表明,最优提取条件为超声功率 125 W、超声时间 130 min、超声温度 57 ℃,该条件下海藻碘的提取率为 39.85%,是不使用超声辅助工艺的 1.6 倍,说明辅助超声手段对于快速提高碘的得率具有显著影响,可以提高生产效率。对制备的海藻碘进行了理化分析和氨基酸

表 6 海藻碘液的氨基酸组成及含量[†]

Table 6 Amino acid composition and content of seaweed iodine solution

化合物	保留时间/min	含量/(mg·g ⁻¹)
天冬氨酸 [#]	2.294	3.039
谷氨酸 [#]	4.909	5.289
丝氨酸	7.642	0.018
组氨酸	8.833	0.061
精氨酸	9.014	0.040
苏氨酸 [*]	9.523	0.007
丙氨酸	10.174	0.428
酪氨酸	11.235	0.033
胱氨酸	12.052	0.049
甲硫氨酸	15.282	0.032
异亮氨酸 [*]	13.422	0.027
合计		9.022

† * 为必需氨基酸;# 为鲜味氨基酸。

分析,发现含有 2 种必需氨基酸和 2 种鲜味氨基酸。

研究证实了超声辅助工艺在海藻碘生产工艺中的可行性,相比于添加酶法提取的过程,更符合国家标准的要求,同时超声辅助设备相比于微波设备,成本更低。研究主要从生产制备方向开展试验,对于海藻碘加工过程中碘的形态构成与变化未做深入研究,碘的形态研究对于加工的指导意义和产品功能性分析可作为今后深入研究探讨的方向。

参考文献

- [1] 梁廷霞,郝莉. 浅析食用盐中碘剂的应用[J]. 中国井矿盐, 2010, 41(2): 9-10.
- [2] LIANG T X, HAO L. Brief discussion on the application of iodine agent in edible salt[J]. China Well and Rock Salt, 2010, 41(2): 9-10.
- [3] 2018 年全国第三届碘与甲状腺疾病大会共识[J]. 盐科学与化工, 2019, 48(1): 31.
- [4] Consensus of the third national conference on iodine and thyroid diseases in 2018[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2019, 48(1): 31.
- [5] 刘忠斌,洪光前,孔庆娟. 海藻碘盐的研制与开发[J]. 海湖盐与化工, 1997(2): 4-5.
- [6] LIU Z B, HONG G Q, KONG Q X. Preparation and development of seaweed iodine[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 1997(2): 4-5.
- [7] 韩丽君,范晓,李宪瑾. 海藻中有机碘的研究 II: 存在形态及含量[J]. 海洋科学集刊, 2001(43): 129-135.
- [8] HAN L J, FAN X, LI X C. Studies on organic iodine in seaweed II: The states and content of organic iodine in seaweed[J]. Studia Marina Sinica, 2001(43): 129-135.
- [9] 韩丽君,范晓. 海藻中有机碘的研究 I: 海藻中有机碘含量测

- 定[J]. 水生生物学报, 1999, 23(5): 489-493.
- HAN L J, FAN X. Studies on organic iodine from seaweed [J]: The determination of the contents of organic iodine in seaweed[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(5): 489-493.
- [6] HORTAS R V, BARRERA B P, PIEIRO M J, et al. Speciation of the bio-available iodine and bromine forms in edible seaweed by high performance liquid chromatography hyphenated with inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Analytica Chimica Acta, 2012, 745: 24-32.
- [7] HORTAS R V, BIANGA J, PIEIRO M, et al. Speciation of iodine-containing proteins in Nori seaweed by gel electrophoresis laser ablation ICP-MS[J]. Talanta, 2014, 127: 175-180.
- [8] 王雨馨, 郭莹莹, 赵芸, 等. 海藻有机碘检测方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(5): 1 424-1 430.
- WANG Y X, GUO Y Y, ZHAO Y, et al. Research progress on the detection methods of organic iodine in seaweed[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(5): 1 424-1 430.
- [9] MILANESI A, BRENT A G. Iodine and thyroid hormone synthesis, metabolism, and action[C]// COLLINS J F. Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of major and Trace Minerals. [S.l.]: Nikki Levy, 2017: 143-150.
- [10] 丁海燕, 赵艳芳, 孙晓杰, 等. 海藻中碘的形态及其食用安全性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(12): 3 659-3 664.
- DING H Y, ZHAO Y F, SUN X J, et al. Research process on the speciation and edible safety of seaweeds iodine[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(12): 3 659-3 664.
- [11] LIU D, LIN X Y, YU F G, et al. Effects of 3,5-diiodotyrosine and potassium iodide on thyroid function and oxidative stress in iodine-excess wistar rats[J]. Biological Trace Element Research, 2015, 168(2): 447-452.
- [12] YUN L F, PENG Y E, CHANG Q, et al. Identification of organic iodine compounds and their transformation products in edible iodized salt using liquid chromatography-high resolution mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(26): 5 384-5 389.
- [13] 云莉芬. 液相色谱串联高分辨质谱筛查鉴定未知卤代有机物的策略及应用研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2018: 47-50.
- YUN L F. Strategy for the screening and identification of unknown halogenated organic compounds based on liquid chromatography tandem high resolution mass spectrometry and the application[D]. Wuhan: University of Geosciences, 2018: 47-50.
- [14] 迟玉森, 庄桂东, 黄国清, 等. 海带生物有机活性碘的提取、分离、纯化和结构验证测定[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(6): 781-785.
- CHI Y S, ZHUANG G D, HUANG G Q, et al. Extraction, purification, and structural identification of an organic active iodide from kelp[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2009, 28(6): 781-785.
- [15] 梁永胜, 刘鑫, 宋海妹, 等. 一种以浓缩海带漂烫液为原料制备海藻碘的方法: CN201510306082.7[P]. 2015-09-16.
- LIANG Y S, LIU X, SONG H M, et al. A preparing method of seaweed iodine from concentrated kelp blanching solution: CN 201510306082.7[P]. 2015-09-16.
- [16] 张金浩, 李国强. 一种海藻碘的提取方法: CN201811632081.1 [P]. 2020-07-07.
- ZHANG J H, LI G Q. A method for extracting iodine from seaweed: CN201811632081.1[P]. 2020-07-07.
- [17] 左斌, 尹广庆, 杨辉, 等. 一种海藻碘的制备方法及其在海藻碘盐中的应用: CN201910102760.6[P]. 2020-08-11.
- ZUO B, YIN G Q, YANG H, et al. A preparation method of seaweed iodine and its application in seaweed iodine salt: CN201910102760.6[P]. 2020-08-11.
- [18] HORTAS R V, PINEIRO M A, BARRERA B P. Microwave assisted extraction of iodine and bromine from edible seaweed for inductively coupled plasma-mass spectrometry determination[J]. Talanta, 2009, 79(3): 947-952.
- [19] HORTAS R V, BARRERA B P, PINEIRO M A. Ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis for iodinated amino acid extraction from edible seaweed before reversed-phase high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Chromatography A, 2013, 1 309: 33-40.
- [20] WANG X T, XUA J C, WANG L Z. Optimization of microwave ultrasound assisted enzymatic hydrolysis extraction of iodine amino acids in laminaria by high performance liquid chromatography with a photodiode array detector [J]. Algal Research, 2019, 39: 101452.
- [21] 杨洁茹, 沈照鹏, 余俊红, 等. 酶法提取海带成分分析[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 277-282.
- YANG J R, SHEN Z P, YU J H, et al. Analysis of the components of kelp extract after enzymolysis[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(7): 277-282.
- [22] PENG L Q, YU W Y, XU J J, et al. Pyridinium ionic liquid-based liquid-solid extraction of inorganic and organic iodine from Laminaria[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 1 075-1 084.
- [23] HENDERSON W J, RICKER D R, BIDLINGMEYER A B, et al. Rapid, accurate, sensitive and reproducible HPLC method for amino acid analysis [EB/OL]. (2006-05-25) [2022-01-01]. [http://www.agilent.com.cn/cs/library/applications/5980-1193\(72dpi\).pdf.html](http://www.agilent.com.cn/cs/library/applications/5980-1193(72dpi).pdf.html).
- [24] 银慧慧, 廖海洪, 赵武, 等. 响应面法优化超声辅助提取桃金娘叶三萜工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 23(42): 74-79.
- YIN H H, LIAO H H, ZHAO W, et al. Response surface optimization of ultrasonic assist extraction of triterpenoids from rhodomyrtus tomentosa leaves and its antioxidant activity[J]. Food Research and Development, 2021, 42(23): 74-79.
- [25] 食品安全国家标准 食品营养强化剂 海藻碘: GB 1903.39—2018[S]. (2018-06-21) [2022-01-01]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/3/53172.html>.
- National standards for food safety Food nutrition fortifier Seaweed iodine: GB 1903.39—2018[S]. (2018-06-21) [2022-01-01]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/3/53172.html>.