

应用电子鼻和气质联用仪研究不同采收季节 浒苔的挥发性物质

缪芳芳¹, 丁媛¹, 蔺佳良¹, 何红萍¹, 朱文荣², 苏秀榕¹

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315211) (2. 象山旭文海藻开发有限公司, 浙江宁波 315040)

摘要: 为研究春季浒苔与冬季浒苔的挥发性物质种类及成分的差异, 本文通过电子鼻和顶空固相微萃取与气质联用仪(HS-SPME-GC-MS)联合使用检测分析冬季与春季浒苔挥发性物质差异。电子鼻各传感器采集数值经过t检验分析结果得出春冬两季浒苔的挥发性物质种类及成分有明显差异; HS-SPME-GC-MS分析检测春季、冬季浒苔的挥发性化合物种类数分别为68、82种, 并且前者挥发性化合物中以烃类和醛类物质为主, 后者挥发性化合物中以醛类和酮类为主。两者挥发性物质相对含量差异主要体现在醇类、酮类、酸类、烃类以及杂环类物质。同时在杂环类物质中, 冬季浒苔检测出苦味物质甲基吡嗪, 相对含量为0.13%; 春季浒苔未检测出。由此得出浒苔在不同季节下其挥发性物质种类及含量有明显不同。

关键词: 浒苔; 挥发性物质; 电子鼻

文章篇号: 1673-9078(2014)8-258-263

Analysis of Volatile Compounds in *Enteromorpha prolifera* Harvested during Different Seasons by Electronic Nose and HS-SPME-GC-MS

MIAO Fang-fang¹, DING Yuan¹, LIN Jia-liang¹, HE Hong-ping¹, ZHU Wen-rong², SU Xiu-rong¹

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

(2. Xiangshan Xu Wen development of seaweed CO., Ltd, Xiangshan 315040, China)

Abstract: In this study, the composition and spectrum of volatile compounds in *Enteromorpha prolifera* harvested from winter and spring, were analyzed using electronic nose (E-nose) and head space solid-phase micro extraction combined with gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The data from E-nose sensors and t-test results showed significant differences in the composition and types of volatile compounds in *E. prolifera* between samples collected during the two seasons. HS-SPME-GC-MS analysis identified 68 and 82 different volatile compounds in *E. prolifera* harvested in spring and in winter, respectively. In addition, the main volatile compounds in the former were hydrocarbons and aldehydes, whereas those in the latter were aldehydes and ketones. The relative content of volatile compounds between samples contained in the two seasons differed mainly with respect to alcohols, ketones, acids, hydrocarbons, and heterocyclic compounds. At the same time, among the heterocyclic compounds, a bitter compound, methylpyrazine, was detected in *E. prolifera* harvested in winter, with a relative content of 0.13%, but it was not detected in samples harvested in spring. Therefore, significant differences were observed in the composition and the types of volatile compounds in *E. prolifera* harvested in different seasons.

Key words: *Enteromorpha prolifera*; volatile compounds; electronic nose

浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 俗称苔条、青海苔等, 为绿藻门石莼目石莼科浒苔属的藻类植物, 是一种大型绿藻。浒苔在我国野生藻类中资源丰富, 广泛分布于东南沿海, 尤其是浙江福建沿海地区并逐渐形成优势种^[1], 具有较高的经济价值。国内外多篇相

收稿日期: 2014-01-13

基金项目: 浙江省重大科技专项重点社会发展项目(2009C03017-1)

作者简介: 缪芳芳(1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 苏秀榕(1956-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程、食品安全、生物化学和分子生物学

关文献报道浒苔具有高膳食纤维、低脂肪且富含人体必需不饱和脂肪酸、活性多糖、矿物质、维生素等营养价值以及相关的药用价值^[2-4], 常被沿海居民用作食品、饲料和肥料等。此外, 浒苔所具备的独特食用风味使得其深受沿海一带居民食用喜爱。沿海一带浒苔在冬春季产量较高, 具有很高的食用价值; 夏秋藻体较老, 无食用价值。三田研究日本扁浒苔发现海藻蛋白以及碳水化合物的含量随季节而变化^[5], 由此可见季节对浒苔的生长有着比较重要影响, 进而可能会影响其风味。目前国内对于藻类的挥发性物质研究主

要集中于特定采收季节浒苔以及浒苔干制品等^[6-7], 禹海文等人对浒苔干制品的挥发性成分研究得出浒苔的苦味物质是甲基吡嗪并且随着温度的升高含量逐步增加, 宋绍华对于新鲜肠浒苔研究得出新鲜浒苔的主要挥发性风味物质是醛类、酮类、醇类以及二甲基硫醚, 其中以不饱和醛类为主, 但是国内外对于不同采收季节新鲜浒苔挥发性物质的报道较为少见。

目前电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 等检测技术的进步大力推动了对食品中挥发性成分的研究, 本研究利用电子鼻结合顶空固相微萃取 (HS-SPME) 与气质联用 (GC-MS) 对冬季和春季浒苔 (下文为冬苔和春苔) 进行挥发性成分分析, 以此进行比较, 为今后浒苔在食品工业中应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 原料

分别在 2012 年 4 月和 2013 年 1 月于浙江象山黄壁岙乡高泥湾村滩涂同一地点取新鲜浒苔, 每次取样重量均为 1000 g。用海水洗净浒苔, 去除泥沙等杂质, 于滤纸沥干水分, 待用。

1.2 主要仪器设备

电子鼻, 德国 AIRSENSE 公司 PEN 3 型; 气相色谱-质谱联用仪, 美国 Agilent 公司; 手动 SPME 进样器, 65 μm PDMS 美国 SUPELCO 公司; 6 位恒温消解仪, 意大利 VELP 公司。

1.3 方法

1.3.1 待测样品准备

精确称取 1.0 g 浒苔装入 15 mL 螺旋塞样品瓶中, 压盖密封, 静置至室温, 使瓶内样品与气体部分达到一个相的平衡, 每组均 5 个平行。

1.3.2 电子鼻检测

静置至室温后的样品使用电子鼻检测, 电子鼻数据采集时间为 150 s, 内部流量为 600 mL/min, 清洗时间为 1000 s。

1.3.3 HS-SPME-GC-MS 分析

顶空固相微萃取: 将萃取头在气相色谱的进样口老化, 温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 老化时间 0.5 h。萃取头插入样品瓶于 50~60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴吸附 30 min, 然后插入气质联用仪进样口于 220 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 5 min。

气相色谱条件: DB-5 毛细管色谱柱 (60 m \times 0.25 mm \times 2.5 μm); 载气 He, 流速 1 mL/min; 不分流模式进样, 进样时间 1 min, 恒流 1 mL/min; 进样口温度

和传输线温度均为 220 $^{\circ}\text{C}$; 程序升温: 起始柱温 60 $^{\circ}\text{C}$, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 160 $^{\circ}\text{C}$, 保留 5 min, 再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 220 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min。

质谱条件: 离子源为电子轰击源 (EI), 电离电压 70 eV, 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$, 扫描范围 45~400 u。

1.3.4 数据处理

多次预实验结果表明电子鼻的传感器信号响应值从 100 s 开始稳定, 为保证测试实验数据的稳定性和准确度, 电子鼻检测选取第 150 s 的测量数据进行数据处理, 数据统计分析采用 EXCLE 中的双样本 t 检验法。

气相色谱-质谱检测结果通过计算机检索, 利用 NIST 和 WILEY 谱库相互匹配进行定性分析。本文对谱库中化合物相似度低于 80 (最大值为 100) 的组分标为未鉴定出, 各组分相对百分含量按照峰面积归一化法计算。

2 结果与讨论

2.1 电子鼻检测

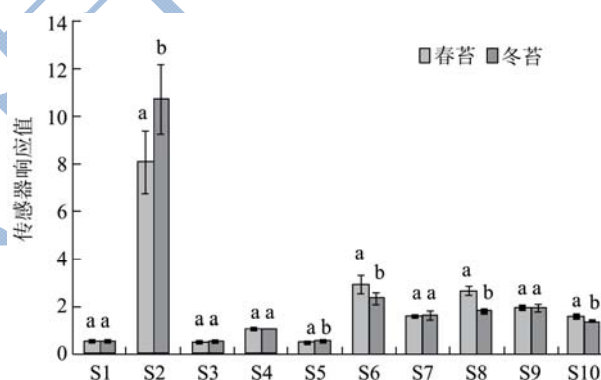


图 1 电子鼻传感器对春苔及冬苔挥发性物质显著性分析

Fig.1 Significant analysis of volatile components of spring and winter *Enteromorpha prolifera* by E-nose

注: “a-a” $P>0.05$, 两季节样本比较; “a-b” $P<0.05$, 两季节样本比较。

本研究中电子鼻检测系统具备 10 个传感器, 每一种气味都是由特定的一大类有机、无机气体物质所产生, 故 10 个传感器对不同气味有不同的响应值, 信号的相对强弱可通过各传感器所采集的数值反映出来。图 1 为不同季节浒苔电子鼻结果分析图, S1-S10 为电子鼻对挥发性物质检测的 10 个传感器。由图 1 可以得出 2 号、5 号、6 号、8 号和 10 号传感器对春苔和冬苔的挥发性物质检测结果有显著性差异; 其中 2 号传感器为广谱型传感器, 对所有的挥发性物质较敏感, 5 号传感器对烷烃类的芳香成分挥发性物质敏感, 6 号传感器对甲烷类物质敏感, 8 号传感器对醇类物质敏

感, 10 号传感器对烷烃较敏感。根据电子鼻检测分析, 可以得出: 不同季节的浒苔的挥发性物质具有明显差异。

2.2 不同季节浒苔挥发性物质

2.2.1 GC-MS 分析不同季节浒苔挥发性物质

根据 GC-MS 总离子图 (图略), 将各个色谱峰对应的质谱进行检索及人工解析, 确定其物质种类及含量 (见表 1)。从春苔中鉴定出的挥发性物质数量为 68 种, 占总峰面积 97.27%, 其挥发性物质包括: 酮类 11 种、醇类 7 种、醛类 15 种、烃类 27 种、杂环类 4 种、酸类 2 种及酯类 2 种, 各大类相对含量分别为: 8.5%、13.82%、27.63%、29.83%、6.28%、0.99% 和 10.22%; 从冬苔中鉴定出来的挥发性物质数量为 82 种, 占总峰面积 96.03%, 其中酮类 20 种、醇类 10 种、醛类 18 种、烃类 26 种、杂环类 5 种、酸类 1 种及酯类 2 种, 各大类相对含量分别为: 19.96%、8.34%、30.9%、13.74%、10.39%、3.64% 和 9.04%, 其中两者具有 40 种相同的物质。由图 2 可以看, 春苔挥发性物质成分中以烃类、醛类及醇类相对含量居多, 冬苔挥发性物质中则以醛类、酮类及烃类相对含量居多。春苔与冬苔间挥发性物质含量具有较明显差异: 酮类化合物由 8.50% 增加到 19.96%, 酸类化合物由 0.99% 增加到 3.64%, 杂环类化合物由 6.28% 增加到 10.41%, 醛类化合物由 27.63% 增加到 30.90%, 烃类化合物由 29.83% 减少至 13.74%, 醇类化合物由 13.82% 减少至 8.34%, 酯类化合物由 10.22% 减少至 9.04%。同时结合图 1 电子鼻传感器检测结果为对春苔和冬苔的烷烃类物质、醇类物质、以及所有的挥发性物质等有显著性差异, 由此可见 HS-SPME-GC-MS 分析得出的结果与电子鼻不同传感器检测结果基本相吻合。另外, 根据表 1, 在春苔的挥发性物质中, 检测出相对含量为 0.15% 的二甲基硫醚; 在冬苔中检测出相对含量约为 0.13% 的甲基-吡嗪。二甲基硫醚对浒苔的藻腥味有较大的贡献^[7], 甲基吡嗪对浒苔的苦味物质有较大贡献^[6]。由此可见, 季节对于浒苔挥发性物质的组成及含量有较大影响。

表 1 春苔与冬苔的挥发性成分化学组成及相对含量

Table 1 Chemical components and relative content in volatile components of spring and winter *Enteromorpha prolifera*

序号	保留时间	化合物名称 /min	相对含量/%	
			春苔	冬苔
酮类				
6	6.519	丙酮	-	0.16
15	11.373	Z-四氢-6-(2-戊烯基)-	1.24	-

		2H-吡喃-2-酮		
16	12.014	2-甲基-环丁酮	0.41	-
20	12.855	1-戊烯-3-酮	-	2.37
22	13.072	2, 2, 6-三甲基-环己酮	0.28	-
25	14.019	(E, E)-3, 5-辛二烯-2-酮	1.54	-
27	15.12	1, 7, 7-三甲基-双环 [2.2.1]庚烷-2-酮	0.41	-
30	16.786	环丁酮	0.75	-
31	16.97	1-癸烯-3-酮	-	0.57
43	21.61	丁烯酮	-	0.05
45	21.799	3, 3-二乙基-4, 5-二甲基-4-庚烯-2-酮	-	0.89
47	22.946	6-甲基-2-庚酮	0.47	0.35
49	23.522	双环丙基甲酮	-	2.97
52	23.972	2, 3-癸二酮	-	0.82
54	24.626	6-甲基-5-庚烯-2-酮	-	1.75
66	28.775	1-(2-咪喃基)-1-丁酮	-	0.1
67	29.155	异佛尔酮	-	1.02
70	29.272	二氢猕猴桃内酯	0.21	1.36
65	32.86	1-(1, 2, 2-三甲基环戊基)-2-戊烯-1, 4二酮	-	2.57
74	36.674	2, 3, 3A, 4, 5, 7A-六氢-5-甲基-1H-茚-1-酮	2.94	-
78	38.309	3, 5-二羟基-2-甲基-4H-吡喃-4-酮	-	0.53
79	38.45	6, 10-二甲基-2-十一酮	-	0.05
81	41.241	香叶基丙酮	0.11	0.31
82	41.452	α -紫罗兰酮	-	0.41
84	44.405	β -紫罗兰酮	0.14	2.7
86	44.743	3, 3-二甲基-4, 5-庚二烯-2-酮	-	0.86
90	45.805	N-[溴代丁基]-2-哌啶酮	-	0.12
小计			8.5	19.96
醇类				
4	3.592	3-丁炔-2-醇	0.74	-
5	3.972	3-甲基-1-丁醇	0.14	0.68
14	11.236	1-甲基-4(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇	1.42	-
28	15.436	(Z)-2-戊烯-1-醇	-	0.8
29	15.745	1-辛烯-3-醇	2.25	2.3
36	19.291	3-甲基-4-戊烯-1-醇	-	0.07
48	23.149	3-甲基-1-戊烯-3-醇	-	0.11
64	28.249	4-亚甲基环己基甲醇	1.22	-
56	25.034	1,7-庚二醇	-	0.21

转下页

接上页					-1H-茛				
62	28.149	1-庚炔-3-醇	1.11	1.96	51	23.761	3,5,5-三甲基-2-己烯	3.11	1.31
61	31.706	1-十三炔-4-醇	6.94	-	57	25.859	5-乙基-3-甲基-3,4-壬二烯-6-炔	2.28	-
67	33.83	3-甲基-3-己烯-2-醇	-	0.42	58	26.154	反-2,2-二甲基-3-庚烯	0.16	-
71	35.862	3,5-二甲基-环己醇	-	0.94	59	26.34	1-碘代十一烷	0.27	0.46
91	47.534	(Z)-3-十二烯-1-醇	-	0.85	61	28.066	(E)-3-十一烯-5-炔	1.84	0.32
小计			13.82	8.34	63	28.217	2,7-二甲基-2,6-辛二烯	1.8	0.79
醛类					65	28.466	1-乙烯基-3-亚甲基-环戊烷	0.47	0.67
7	6.624	2-己烯醛	1.16	0.81	74	30.02	2,4-辛二烯	0.7	0.47
8	8.198	(Z)-4-庚烯醛	0.49	0.97	77	30.964	4-辛炔	0.55	-
9	8.278	庚醛	1.11	2.6	80	31.974	4,5-二甲基-2,6-辛二烯	-	0.55
10	8.674	(E,E)-2,4-己二烯醛	0.3	-	81	32.553	1-碘代十二烷	0.33	0.28
12	10.514	苯甲醛	2.22	3.51	89	36.405	(Z)-4-癸烯-6-炔	1.22	0.63
24	13.841	2,2-二甲基-3,4-戊二烯醛	0.17	-	90	36.65	十四烷	0.49	0.7
33	17.173	己醛	1.5	2.51	92	36.678	1-溴-5-癸烯	-	0.35
35	17.285	2-甲基-4-戊醛	-	0.19	93	37.212	3-十一烯-5-炔	-	0.31
37	19.725	2-己醛	5.93	3.86	94	37.331	柠檬烯	0.66	0.2
46	22.39	(E,E)-2,4-庚二醛	-	0.25	97	39.851	十五烷	-	0.36
53	24.148	(E,E)-2,4-壬二烯醛	1.1	1.01	100	43.836	3-乙基-3-甲基庚烷	0.4	0.12
71	29.402	壬醛	0.64	0.83	102	44.722	2-十二烷烯-4-炔	-	1.2
72	29.492	苯乙醛	-	0.13	104	44.984	(E,E)-1,2-二甲基-1,5,9,11-四烯十三烷	1.92	0.22
56	29.591	十三醛	1.71	0.84	105	45.376	1,9-癸二烯	-	0.31
59	30.688	(E,E)-2,4-辛二醛	-	0.27	106	45.783	2-甲基二十四烷	-	0.27
62	31.833	(E)-2-壬醛	0.87	0.51	小计			29.83	17.34
66	33.443	3-乙基-苯甲醛	-	0.31	杂环类				
68	34.667	16-十七醛	7.6	9.18	1	2.348	二甲基硫醚	0.15	-
69	34.927	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛	2.1	3.03	23	13.151	甲氧甲基环丙烷	-	1.3
70	35.659	十一醛	0.73	0.09	40	21.286	甲基吡嗪	-	0.13
小计			27.63	30.9	55	24.942	顺-2-(2-戊烯基)咪喃	3.29	1.88
烷烃类					60	26.595	2-丙基-咪喃	1.4	6.92
11	10.354	2,4-二甲基-3-己烯	0.58	0.43	75	30.142	N,N'-亚甲基双丙烯酰胺	1.44	-
13	10.983	3,5,5-三甲基-2-庚烯	1.26	0.41	107	47.351	3-(羟基环己基)-2-甲基咪喃	-	0.16
18	12.33	3-乙基-1,4-己二烯	3.77	0.6	小计			6.28	10.39
19	12.56	2,4-辛二烯	0.58	0.4	酸类				
21	12.964	2-甲基-4-辛炔	0.53	-	3	3.094	2-丙烯酸	0.89	3.64
26	14.696	(E)-2-丁烯基-环丙烷	0.17	-	38	19.98	1,1-二甲基-环己烯羧酸	0.1	-
32	17.049	溴代环辛烷	0.79	-	小计			0.99	3.64
34	17.19	5-甲基-庚烯	0.37	0.51	酯类				
39	20.585	2,4-二甲基-2-(1-甲基乙基)-苯	3.18	-	2	2.534	2-丙炔-1-醇丙酸酯	1.37	-
41	21.428	2-甲基-6-亚甲基-2-辛烯	0.76	1.07	17	12.074	丙酸-2-丙烯酯	-	2.46
44	21.773	4-溴-环己烷	0.71	-					
50	23.613	2,3-二氢-1,1,6-三甲基	0.93	0.8					

转下页

接上页

42	21.455	环己烷甲基丙酸酯	8.85	6.58
小计			10.22	9.04

注: 各实验组均 3 个平行, “-”表示未检出, 化合物序号根据各化合物出峰时间顺序编号。

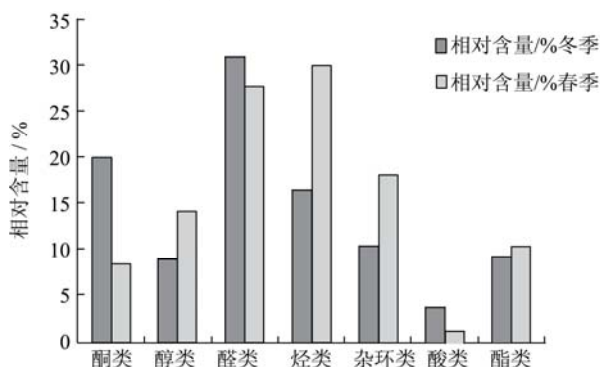


图 2 春苔与冬苔挥发性成分的比较

Fig.2 Comparison of volatile compounds between spring and winter *Enteromorpha prolifera*

2.2.2 春苔与冬苔挥发性物质分析

通过电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 联合分析可以得出两者的挥发性物质存在明显差异, 在酮类、醛类、烃类、醇类以及杂环类差异表现尤为显著。对两者的挥发性物质分析如下:

2.2.2.1 两者共有的挥发性物质以不饱和烃类以及卤代烃、饱和脂肪醛类、饱和醇类为主, 由于烃类物质的阈值比较高^[4], 因此对浒苔的整体风味物质中其贡献比较小; 醛类化合物的阈值通常比其他化合物的阈值低, 且具有脂肪香味, 此类化合物对浒苔的整体风味有重要作用, 如己醛、庚醛、壬醛, 这些饱和的低级脂肪醛赋予了浒苔清新香、青草香^[8]。饱和醇阈值较低, 两者的醇类挥发性物质中以 1-辛烯-3-醇相对含量居高, 具有蘑菇味, 赋予浒苔植物香、芳香, 对春苔及冬苔的藻腥味具有一定的贡献^[9]。

2.2.2.2 在两者有差异的挥发性成分中, 冬苔的酮类物质种类以及含量均明显多于春苔, 由于酮类的阈值比醛类高, 酮类物质多由不饱和脂肪酸自动氧化、氨基酸降解或微生物作用等产生; 低级酮一般有特殊的香气, 随着碳链的增加会呈现出更强的花香^[10], 这就使得冬苔整体藻香较春苔浓郁; 在其他类的挥发性成分中较为明显的为甲基吡嗪和二甲基硫醚, 冬苔中检测出的甲基吡嗪含有苦味基团-N=, 吡嗪类化合物一般由氨基酸降解产生的 α -氨基酮发生缩合反应产生的^[11]; 春苔中检测出的二甲基硫醚是藻类的二甲基- β -胱氨酸酶解作用的产物, 具有清新的海腥味^[12]。

根据本实验结果得出季节对于浒苔挥发性物质的组成及含量有较大影响。冬季与春季使浒苔周围的生

长环境如海水温度、光照强度、盐度、微生物种类组成等存在较大差异, 从而使得浒苔在其生长过程所经过的复杂生理代谢之间存在差异, 如以氨基酸及其衍生物、碳氢化合物及其衍生物、脂肪酸以及色素等作为大分子合成的前体物质^[13], 这些大分子物质之间存在必然的差异, 所以在不同的生长环境下经过浒苔自身的代谢、微生物分解等过程各自形成了复杂的挥发性成分, 这些复杂的挥发性成分中又含有多种风味化合物。

3 结论

通过本研究可以得出冬苔的挥发性物质的种类以醛类和酮类为主, 春苔以烃类、醛类为主。由于烃类挥发性物质的阈值较高, 醛酮类阈值较低, 所以从浒苔特有的藻香味的品质而言, 冬苔比春苔的藻香要浓郁; 从浒苔的品尝口感而言, 由于冬苔中含有苦味物质甲基吡嗪, 而春苔不含有, 这使得春苔口感优于冬苔。由于浒苔具有高产量, 高营养等特点, 所以本研究为浒苔在食品工业的进一步开发应用提供参考。

参考文献

- [1] 张勇, 刘鹏霞, 程祥圣. 浒苔的利用和研究进展[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(8): 97-100
ZHANG Yong, LIU Peng-xia, CHENG Xiang-sheng. Progress in the usage and researches of enteromorpha [J]. Ocean Development and Management, 2009, 26(8): 97-100
- [2] Aguilera-Morales M, Casas-Valdez M, Carrillo-Domínguez S, et al. Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha spp.* as a potential food source [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18(1): 79-88
- [3] Wong K H, Peter C K Cheung. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds part-proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties [J]. Food Chemistry, 2000, 71: 475-482
- [4] Antonio Galan, 张威, 苏秀榕, 等. 浒苔和龙须菜营养成分的研究[J]. 水产科学, 2010, 29(6): 329-333
ANTONIO Galan, ZHANG Wei, SU Xiu-rong, et al. Nutrient composition of seaweeds *enteromorpha prolifera* and *gracilaria sjoestedtii* [J]. Fisheries Science, 2010, 29(6): 329-333
- [5] 齐晓辉, 李红燕, 郭守东, 等. 4 种不同来源浒苔中多糖的提取分离及理化性质[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(5): 15-18
QI Xiao-hui, LI Hong-yan, GUO Shou-dong, et al. Isolation

- and composition analysis of the polysaccharides from the green algae *Enteromorpha prolifera* collected in different seasons and sea areas [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(5): 15-18
- [6] 禹海文, 苏秀榕, 张丽媛, 等. 气-质联用和电子鼻对浒苔苦味的研究[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(7): 212-215
YU Hai-wen, SU Xiu-rong, ZHANG Li-yuan, et al. Study on the bitter flavor of *Enteromorpha interspinilis* by GC-MS and electronic nose [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(7): 212-215
- [7] 宋绍华, 裘迪红. 浒苔挥发性风味成分分析[J]. *食品科学*, 2012, 33(12): 177-180
SONG Shao-hua, QIU Di-hong. Analysis of volatile flavor compounds from *Enteromorpha intestinalis* [J]. *Food Science*, 2012, 33(12): 177-180
- [8] Derek F K, Nigel P B, Michelle M, et al. Flavour profiling of fresh and processed fruit smoothies by instrumental and sensory analysis [J]. *Food Research International*, 2012, 45: 17-25
- [9] Maggi F, Papa F, Cristalli G, et al. Characterisation of the mushroom-like flavour of *Melittis melissophyllum* L. subsp. *melissophyllum* by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography (GC-FID) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) [J]. *Food Chemistry*, 2010, 123: 983-992
- [10] Mónica N R, Emerenciana G, Manuel L C. Chemical changes in volatile aldehydes and ketones from subcutaneous fat during ripening of Iberian dry-cured ham [J]. *Food Research International*, 2014, 55: 381-390
- [11] 夏延斌, 迟玉洁, 朱旗. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008
XIA Yan-bin, CHI Yu-jie, ZHU Qi. *Food flavor and chemistry* [M]. Beijing, Chemical Industry Press, 2008
- [12] Brewer M S. Irradiation effects on meat flavor: a review [J]. *Meat Science*, 2009, 81: 1-14
- [13] 纪明侯. 海藻化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004
JI Ming-hou. *Seaweeds chemistry* [M]. Beijing, Science Press, 2004