

紫菜特征挥发性物质分析

胡传明^{1,2}, 徐继林³, 朱建一⁴, 严小军³, 骆其君³, 杨家新¹, 许璞⁴

(1. 南京师范大学 生命科学学院, 江苏 南京 210097; 2. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007; 3. 宁波大学 海洋生物工程重点实验室, 浙江 宁波 315211; 4. 常熟理工学院 生物与食品工程系, 江苏 常熟 215500)

摘要: 应用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术, 对坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)、条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)与其一个突变品系的生长藻体挥发性物质进行分析, 共分离鉴定出 66 种挥发性组分, 3 个紫菜试样中分别含有 36、44 和 45 种。鉴定组分中有 21 种为紫菜共有挥发性物质, 其中 8-十七烯和十五烷的相对量值最大, 可能是紫菜重要的挥发性风味组分, 而一些短链醛、醇及酮类与紫菜的特征嗅感物质构成有关。野生型条斑紫菜与其突变品系 Y-gr 之间的风味组分无显著差别, 所含挥发物中醛、酮相对量值明显高于坛紫菜。

关键词: 紫菜; 挥发性化合物; SPME; GC/MS

中图分类号: TS254.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)04-0106-06

海藻食品除了有丰富的营养成分外, 其独特的风味也是引人向往的重要因素。目前, 对于食品的风味物质研究已被关注。风味物质包括味感物质和嗅感物质, 挥发性风味物质是嗅觉感知的一类化合物组分, 包括香气物质和香味物质, 其特点是易挥发, 含量极低。对食品挥发性风味物质的研究较多涉及茶叶、水果、酒类、肉制品、乳制品及食用调料等^[1-6], 在海产品中报道较少。

紫菜是重要的栽培海藻, 经济价值约占全世界海藻产业的 2/3。我国是主要紫菜生产国之一, 并是从从事条斑紫菜和坛紫菜两种紫菜人工栽培的唯一国家^[7]。紫菜因为其独特的风味和丰富的营养受到人们的喜爱, 在东亚地区尤为受欢迎。紫菜食品消费对品质的要求很高, 尤其以烤、调为主的紫菜加工品, 不仅以色泽、味感等评价产品质量, 并且还将香型等嗅感感受作为品质的重要评价指标。

虽然作为脂肪酸与氨基酸次级代谢产物的挥发性物质在绿藻、褐藻及红藻等多种海藻中已被分析鉴定^[8-9], 一些特征性挥发物组分也有阐述^[10], 但很少有对紫菜挥发性物质进行专门的研究, 关于特征性的挥发风味物质组成、含量等分析研究几乎未见报道。甘紫菜藻体中已被分析含有超过 100 种挥发性物质, 其鉴定物质中包括类胡萝卜素降解化合物(α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮和二氢猕猴桃内酯)、不饱和短链醛和长链醛等^[11-13]。

食品挥发性物质的研究进展得益于分离与分析

技术的进步。目前重要的分离方法有同时蒸馏萃取法(Simultaneous Distillation Extraction, SDE)、分子蒸馏法(Molecular Distillation, MD)、固相微萃取法(Solid Phase Microextraction, SPME)和顶空分析法(Head Space, HS)等。气质联用仪(GC/MS)、人工嗅辨器(GC-O)^[14]及电子鼻^[15]等检测技术的进步, 推动了挥发性物质的研究, 并使特征风味物质的研究成为可能。

本研究利用 HS-SPME-GC/MS 技术, 对坛紫菜、条斑紫菜及其一个突变品系 Y-gr 生长藻体的挥发性组分进行分离鉴定, 以期通过特征性化合物对紫菜风味成分的组成及作用进行分析讨论。

1 材料与方法

1.1 材料与样品制备

实验材料为紫菜叶状体藻体。坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)采自浙江象山栽培海区, 条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)及其突变品系 Y-gr 藻体采自江苏南通栽培海区。Y-gr 为条斑紫菜的绿色突变型品系, 生长藻体在同一栽培海区与一般野生型藻体可

收稿日期: 2010-04-20; 修回日期: 2010-11-18

基金项目: 江苏省高技术研究项目(BG2006333); “十一五”国家 863 计划项目(2006AA10A413); “十一五”国家支撑项目(2006BAD09A08-05)

作者简介: 胡传明(1980-), 男, 江苏新沂人, 硕士研究生, 研究方向: 水产生物化学, 电话: 0513-85232689, E-mail: hucharming@gmail.com; 通信作者: 许璞, E-mail: xupu66@sina.com

以明晰分辨。

采集的紫菜藻体经蒸馏水洗净, -70℃冷冻干燥, 4℃低温保存。分析样品经研磨成粉, 过 0.45 mm 筛备用。

1.2 实验方法

1.2.1 分析样品预处理

称取样品各 1.00 g, 分别加入 15 mL SPME 顶空瓶中, 75 μm Carboxen- PDMS 萃取头 GC 进样口 250℃老化 30 min, 80℃条件下插入顶空瓶中, 萃取 45 min, 室温下 15 min, 取出萃取头立即插入 250℃进样口, 脱吸附 2 min, GC/MS 分析。

1.2.2 GC/MS 条件

GC 条件: 采用 SPB-5 毛细管柱, 进样口温度 250℃, 载气为 99.999%的高纯氮, 进样时间 1 min, 柱流速 1.00 mL/min, 柱前压 60.5 kPa, 柱起始温度 32℃, 保持 3 min, 以 5℃/min 升温至 50℃, 保持 1 min, 然后以 20℃/min 升温至 200℃, 保持 15 min, 再以 30℃/min 升温至 270℃, 保持 15 min。

MS 条件: 电子轰击(electron impact EI)源能量 70 eV, 温度 200℃, 接口温度 300℃, 选取全程离子碎片扫描(SCAN)模式, 质量扫描范围为 40~500 m/z, 溶剂延迟 3.5 min。

1.2.3 质谱检索及数据处理

NIST 147 及 WILEY 7 谱库检索, 以标准图谱为基础, 结合弱极性 SPB-5 柱的特点和有关文献, 人工检索进行化合物的定性, 色谱峰面积归一法定量。

2 结果与分析

2.1 挥发性物质的鉴定

经质谱分析表明, 从分析试样的谱峰中共分离鉴定出 66 种挥发性化合物, 坛紫菜、条斑紫菜和 Y-gr 中各含有其中的 36、44 和 45 种, 它们的相对含量见表 1。

各试样含量最高的挥发性组分是 8-十七烯, 在坛紫菜、条斑紫菜和 Y-gr 中分别占到 65.82%、50.64%和 21.78%, 其次是十五烷, 分别占 6.90%、4.59%和 7.64%; 醛类化合物种类最多, 坛紫菜、条斑紫菜和 Y-gr 试样中分别含有 11、11 和 14 种。

2.2 共同挥发性组分及其分析

3 个紫菜试样中分离鉴定的共同挥发性组分 21 种, 其中醛 8 种、酮 5 种、醇 2 种、烯烃及烷烃 4 种

和 2 种含苯化合物。其含量组成一定程度上代表了紫菜的特征风味组成。

2.2.1 醛类化合物

由紫菜试样鉴定的共同醛类物质中, (E,Z)-2,6-壬二烯醛在条斑紫菜和绿藻中已有报道^[13,8], (E,Z)-2,4-庚二烯醛是鲫鱼的特征气味之一, 其被认为具有鱼腥味和金属味^[16], 它们可能构成紫菜鲜腥的气味。被检出的辛醛、壬醛、癸醛和十二醛等短直链饱和醛通常产生辛辣的刺激性气味^[17], 它们可能对紫菜的特征风味有重要贡献, 这些醛在条斑紫菜和 Y-gr 中相对含量分别为 7.57%和 17.10%, 远高于坛紫菜的含量(1.72%)。在孔石莼与蜈蚣藻中含量较大的十五醛未在三种紫菜试样中鉴定出^[18], 苯甲醛和苯乙醛在多种植物中被发现^[19-20], 具有苦杏仁和花的香味, 已经广泛应用于香料工业。

2.2.2 酮类化合物

共同的酮类物质在条斑紫菜及其突变品系中分别为 2.98%和 8.18%, 均高于坛紫菜的含量。酮类一般由不饱和脂肪酸热氧化或降解产生^[21], C₇₋₁₂ 酮是某些天然物质的香气成分^[22], 分子量较大的不饱和酮类化合物具有花香味, 碳链越长其散发的特征花香味越强烈^[23]。在紫菜 5 个共同酮类化合物中, 碳链数均大于 7, 而在条斑紫菜绿色型品系 Y-gr 含量显著, 这可能与作为烤制品时散发的清醇香味有关。

2.2.3 烃类和醇类化合物

紫菜中的 4 种烃类化合物所占含量比值最高, 坛紫菜高达 74.94%, 条斑紫菜为 56.49%, Y-gr 较低, 为 33.79%。8-十七烯和十五烷含量最高, 它们已知是淡水褐藻和一些海藻的特征风味物质^[24-25], 因而也可能是紫菜的重要风味物质之一。

海藻是挥发性卤素化合物的重要资源, 多种红藻中都存在卤化物^[26], 本实验鉴定分析的紫菜样品中都含有 1-溴-5-十七烯, 而在条斑紫菜中还发现另一种溴化物溴代己烷。

醇类物质中的 1-辛烯-3-醇存在多种淡水鱼类和海藻中^[10,27], 是水产品中常见的风味物质, 可能是腥味的来源之一。

2.3 条斑紫菜挥发物组成分析

表 1 结果表明, 有 33 种挥发性组分共存于条斑紫菜及其突变品系的生长藻体中, 它们的总含量在分析试样挥发物中, 分别占到 87.54%和 88.92%。利用 Origin 软件对条斑紫菜 2 个试样中的 33 种挥发性

表 1 紫菜挥发性成分鉴定结果

Tab. 1 Volatile constituents of *Porphyra*

序号	化合物	分子式	质量分数 (%)		
			坛紫菜	条斑紫菜	Y-gr
1	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	—	—	0.46
2	E-4-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	—	0.48	0.32
3	2,5-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	—	1.95	0.50
4	苯甲醛*	C ₇ H ₆ O	0.55	0.91	0.83
5	Z-1,5-二辛烯-3-醇*	C ₈ H ₁₄ O	0.64	1.4	0.76
6	1-辛烯-3-醇*	C ₈ H ₁₆ O	0.48	0.27	0.70
7	苯酚*	C ₆ H ₆ O	2.71	2.71	3.89
8	辛醛*	C ₈ H ₁₆ O	0.19	1.74	1.15
9	(E,E)-2,4-庚二烯醛*	C ₇ H ₁₀ O	0.16	0.30	0.35
10	2-乙基-己醇	C ₈ H ₁₈ O	0.22	—	—
11	3,4-二甲基-3-己烯-2-醇	C ₈ H ₁₄ O	—	—	0.34
12	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	0.20	—	—
13	苯乙醛*	C ₈ H ₈ O	0.20	0.24	0.47
14	Z-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	0.29	—	0.47
15	4(8)-p-薄荷烯	C ₁₀ H ₁₈	—	—	1.83
16	辛醇	C ₈ H ₁₈ O	—	1.64	—
17	3-环己烯-1-乙醇	C ₈ H ₁₄ O	5.00	—	—
18	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	—	1.63	0.83
19	3,5-辛二烯-2-酮*	C ₈ H ₁₂ O	0.27	0.58	1.31
20	壬醛*	C ₉ H ₁₈ O	0.89	3.07	7.57
21	3,4-二甲基-环己醇	C ₈ H ₁₆ O	—	0.54	0.76
22	(E,Z)-2,6-壬二烯醛*	C ₉ H ₁₄ O	1.13	0.41	2.00
23	Z-2-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	—	0.78	1.81
24	3,6-壬二烯-1-醇	C ₉ H ₁₆ O	1.59	—	—
25	壬醇	C ₉ H ₂₀ O	—	0.56	—
26	癸醇	C ₁₀ H ₂₂ O	—	—	0.95
27	1,10-癸二醇	C ₁₀ H ₂₂ O ₂	0.68	—	—
28	溴代己烷	C ₆ H ₁₃ Br	—	0.45	—
29	癸醛*	C ₉ H ₁₈ O	0.35	2.32	5.45
30	2-己基-3-甲基-顺丁烯二酰亚胺	C ₇ H ₉ NO ₂	—	0.68	0.67
31	α-月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	0.24	—	—
32	3-寅炔	C ₁₂ H ₂₂	—	1.67	2.57
33	Z-4-癸烯醛	C ₁₀ H ₁₈ O	0.36	—	—
34	3,3-二甲基-2,7-二辛酮*	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.13	0.42	0.70
35	E-2-十一烯-1-醇	C ₁₁ H ₂₂ O	0.20	—	—
36	十一醛	C ₁₁ H ₂₂ O	—	0.25	0.93
37	3-异戊基-2,5-二甲基吡嗪	C ₁₁ H ₁₈ N ₂	—	0.43	—
38	2,4-二十一烯-1-醇	C ₁₁ H ₂₀ O	—	—	0.28
39	2-薄荷烯	C ₁₀ H ₁₈	—	0.21	0.49
40	水云烯	C ₁₁ H ₁₆	—	0.40	—
41	2-甲基-1-癸醇	C ₁₁ H ₂₄ O	—	—	0.52
42	十四烯	C ₁₄ H ₂₈	0.45	—	—
43	十五烯	C ₁₅ H ₃₀	—	—	0.92

序号	化合物	分子式	质量分数 (%)		
			坛紫菜	条斑紫菜	Y-gr
44	十四烷*	C ₁₄ H ₃₀	0.39	0.30	2.19
45	十二醛*	C ₁₂ H ₂₄ O	0.29	0.44	2.93
46	α-紫罗兰酮*	C ₁₃ H ₂₀ O	0.14	0.47	1.26
47	橙花酮*	C ₁₃ H ₂₂ O	0.43	1.09	3.19
48	十二醇	C ₁₂ H ₂₆ O	0.16	—	—
49	十五醇	C ₁₅ H ₃₂ O	—	1.64	—
50	十五烷*	C ₁₅ H ₃₂	6.90	4.59	7.64
51	β-紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O	—	2.78	5.62
52	2-苄基-γ-丁内酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	—	0.39	0.76
53	二氢猕猴桃内酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	—	1.67	3.33
54	2-丁基辛醇	C ₁₂ H ₂₆ O	—	2.08	—
55	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	2.51	—	1.78
56	十四醛	C ₁₄ H ₂₈ O	0.36	—	0.51
57	油醇	C ₁₈ H ₃₆ O	—	0.71	—
58	8-十七烯*	C ₁₇ H ₃₄	65.82	50.64	21.78
59	乙酸诺卜酯	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	—	3.07	—
60	1-溴-5-十七烯*	C ₁₇ H ₃₃ Br	1.83	0.96	2.18
61	10-甲基-1-十八烯	C ₁₉ H ₃₈	—	1.01	—
62	十八烯	C ₁₈ H ₃₆	1.46	—	1.01
63	1-甲基癸基苯*	C ₁₇ H ₂₈	1.84	1.23	2.18
64	六氢金合欢基内酮*	C ₁₈ H ₃₆ O	0.45	0.42	1.80
65	十九烯	C ₁₉ H ₃₈	0.49	—	2.01
66	邻苯二甲酸异丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₂	—	0.47	—

注：“—”表示未检出该化合物；“*”表示紫菜共同含有的化合物

表 2 条斑紫菜 2 个试样的挥发性成分对 *t*-检验
Tab. 2 Paired sample *t*-test of volatile components in two *P. yezoensis*

样本	个体数	平均值	标准偏差	均值差	<i>P</i>	<i>t</i>
条斑紫菜	33	2.65	8.67	—	0.96	—
Y-gr	33	2.69	3.95	-0.04	0.96	-0.04

物质含量进行配对 *t*-检验(表 2), 在 95%置信区间没有显著差别, 显示条斑紫菜的特征挥发性成分在 2 种被检藻体中基本相似。

在条斑紫菜分析试样中, 相对含量较高的有烃类化合物 8-十七烯、十五烷与 3-寅炔, 以及短链醛壬醛、癸醛与辛醛。另外, 仅在条斑紫菜中被检出而为其特有的化合物中, 2 种吡嗪类物质 2,5-二甲基吡嗪和 3-乙基-2,5-二甲基吡嗪, 以及 β-紫罗兰酮和二氢猕猴桃内酯的含量也相对较高。吡嗪是含氮的杂环化合物, 具有独特的香味, 在烤食中经常出现^[28-29], 它们可能是条斑紫菜烤制食品中香味的重要来源。α-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮和二氢猕猴桃内酯属于类胡萝

卜素降解物质, 具有花香味, 曾在条斑紫菜和甘紫菜中发现^[11,13]。条斑紫菜 Y-gr 品系的醛、酮和类胡萝卜素降解化合物相对量值明显增高, 其在感官上表现出的更具清香味可能得益于此。

2.4 坛紫菜挥发物组分分析

在坛紫菜试样中, 烃类化合物 8-十七烯含量的相对比值高达 65.82%, 其次成分是十五烷, 占 6.90%, 其他化合物成分均较低。坛紫菜与条斑紫菜的特有组分中, 以短链烯醇 3-环己烯-1-乙醇与 3,6-壬二烯-1-醇含量较大, 甲醇和 2-月桂烯的量值较低, 前二者与新鲜的淡水鱼类气味相关^[30], 后二者多见于陆生植物中^[31-32]。坛紫菜还有 5 种挥发性组分与条斑紫菜突变品系 Y-gr 相同, 分别为十六烷、十八烯、十九烯、十四醛与 Z-2-辛烯醛, 总含量占坛紫菜 5.78%。

从坛紫菜的挥发物组成看, 个别烃类化合物含量出现显著高值, 而大多数挥发性组分均为低值,

这是否就决定了坛紫菜的嗅感性质?一般讲,食品的气味与所含挥发性物质的成分、量值相关,影响气味的感受程度与含量有紧密关系。但在另一方面,OAV(气味活化值)也是影响气味感受的重要因素之一,不同的挥发性化合物具有不同的OAV,其量值与气味感受成反比,挥发物OAV越低,其表现的气味越浓郁^[23]。挥发物含量变化与嗅觉感受并非都成比例,因此挥发性物质含量及组成是否能够代表紫菜食品气味的整体构架,尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] 赵龙飞, 徐亚军, 周红杰. 微生物固态发酵提高普洱茶品质风味研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(4): 155-156.
- [2] 潘永贵, 陈维信. 果蔬主要挥发性成分与采后生理和品质的关系[J]. 植物生理学通讯, 2005, 48(2): 242-246.
- [3] 谷向春, 肖东光, 邹静, 等. 气相色谱外标法测定荔枝酒中的风味物质[J]. 酿酒科技, 2006, 149: 99-103.
- [4] 袁华根, 高峰, 徐骏, 等. 鸡肉挥发性风味化合物分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 139-141.
- [5] 李锋, 华欲飞. 大豆酸奶的风味物质研究[J]. 中国乳品工业, 2004, 32(12): 19-22.
- [6] 刘杨岷, 张家骊, 王利平, 等. 食醋风味成分比较研究[J]. 食品与机械, 2005, 21(5): 40-42.
- [7] 张学成, 秦松, 马家海, 等. 海藻遗传学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 196-204.
- [8] Akakabe Y, Matsui K, Kajiwara T. 2,4-Decadienals are produced via (R)-11-HPITE from arachidonic acid in marine green alga *Ulva conglobata*[J]. Bioorganic and Medicinal Chemistry, 2003, 11(17): 3607-3609.
- [9] Boonprab K, Matsui K, Akakabe Y, et al. Formation of aldehyde flavor (n-hexanal, 3Z-nonenal and 2E-nonenal) in the brown alga, *Laminaria angustata* [J]. Journal of Applied Phycology, 2006, 18(3-5): 409-412.
- [10] 汪秋安. 海藻等水产品的香气成分分析[J]. 海洋科学, 1997, 2: 26-29.
- [11] Flament I, Ohloff G. Volatile constituents of alga-odoriferous constituents of seaweeds and structure of nor-terpenoids identified in Asakusa-nori flavor[M]. Washington, DC: American Chemical Society, 1984: 281-300.
- [12] Kajiwara T, Kashibe M, Matsui K, et al. Volatile compounds and long-chain aldehydes formation in conchocelis-filaments of a red alga, *Porphyra tenera*[J]. Phytochemistry, 1990, 29(7): 2193-2195.
- [13] Kajiwara T, Matsui K, Akakabe Y, et al. Antimicrobial browning-inhibitory effect of flavor compounds in seaweeds[J]. Journal of Applied phycology, 2006, 18(3-5): 413-422.
- [14] Misry B S, Reineccius T, Olson L K. Gas chromatography-olfactometry for the determination of key odorants in foods[M]. New York: Marcel Dekker, 1996: 265-292.
- [15] Marsili R. Techniques for analyzing food Aroma[M]. New York: Food Science and Technology, 1996:81-112.
- [16] 陈婉珠, 芮汉明, 张玲. 海带腥味物质的HS-SPME-GC-MS分析[J]. 食品工业科技, 2006, 27(12): 71-73.
- [17] 章超桦, 平野敏行, 铃木健, 等. 鲫的挥发性成分[J]. 水产学报, 2000, 4: 354-358.
- [18] de Oliveira A M, Pereira N R, Marsaioli A, et al. Studies on the aroma of cupuassu liquor by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1025(1): 115-124.
- [19] 王秀娟, 徐继林, 严小军. 2种海藻中半挥发性物质的成分分析[J]. 海洋科学, 2010, 34(1): 25-28.
- [20] Jürgens A, Witt T, Gottsberger G. Flower scent composition in *Dianthus* and *Saponaria* species (Caryophyllaceae) and its relevance for pollination biology and taxonomy[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2003, 31(4): 345-357.
- [21] Cha Y J, Cadwallader K R, Baek H H. Volatile flavor components in snow crab cooker effluent and effluent concentrate[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(3): 525-530.
- [22] Chung H Y, Cadwallader K R. Aroma extract dilution analysis of blue crab claw meat volatiles[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(12): 2867-2870.
- [23] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 309-360.
- [24] Juttner F. β -Cyclocitral and alkanes in Microcystis (Cyanophyceae) [J]. Z Naturforsch C, 1976, 31: 491-495.
- [25] Kajiwara T, Kodama K, Matsui K, et al. Volatile compounds from Japanese marine brown algae[J]. American Chemistry Society, 1993, 525: 103-120.

- [26] Laturnus F, Wiencke C, Kloser H. Antarctic macroalgae-sources of volatile halogenated organic compounds[J]. *Marine Environment Research*, 1996, 41(2): 169- 181.
- [27] 江健, 王锡昌, 陈西瑶. 顶空固相微萃取与 GC-MS 联用法分析淡水鱼肉气味成分[J]. *现代食品科技*, 2006, 22(2): 219- 222.
- [28] Ishizaki S, Tachihara T, Tamura H, et al. Evaluation of odour-active compounds in roasted shrimp (*Sergia lucens* Hansen) by aroma extract dilution analysis[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 1996, 20(6): 562- 566.
- [29] Schnermann P, Schieberle P. Evaluation of key odorants in milk chocolate and cocoa mass by aroma extract dilution analyses[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(3): 867- 872.
- [30] Josephson D B, Lindsay R C, Stuibler D C. Variations in the occurrences of enzyme calli derived volatile aroma compounds in salt and fresh water fish[J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 1984, 32: 1344-1347.
- [31] 李彩芳, 方明月, 李昌勤, 等. SPME-GC-MS 法分析小叶女贞挥发性化学成分[J]. *天然产物研究与开发*, 2007, 19: 443-446.
- [32] Steinhaus M, Schieberle P. Comparison of the most odor-active compounds in fresh and dried hop cones (*Humulus lupulus* L. Variety Spalter Select) based on GC-olfactometry and odor dilution techniques[J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2000, 48(5): 1776-1783.

Characteristic volatile matters in *Porphyra* (Bangiales)

HU Chuan-ming^{1,2}, XU Ji-lin³, ZHU Jian-yi⁴, YAN Xiao-jun³, LUO Qi-jun³, YANG Jia-xin¹, XU Pu³

(1. School of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 2. Institute of Oceanology & Marine Fisheries, Nantong 226007, China; 3. Key Laboratory of Marine Biotechnology, Ningbo University, Ningbo, 315211, China; 4. Biology and Food Engineering Department, Changshu Institute of Technology, Changshu, 215500, China)

Received: Apr., 20, 2010

Key words: *Porphyra*; volatile matter; SPME; GC/MS

Abstract: Head space solid microextraction and GC-MS were employed to investigate the profiles of volatile compounds from *Porphyra haitanensis*, *Porphyra yezoensis* and a green mutant of *P. yezoensis*. Sixty-six volatile compounds were identified in the three *Porphyra* in which *Porphyra haitanensis* contains 36 components, *Porphyra yezoensis* contains 44 components and the green mutant 45 components. Among the 66 volatile compounds, 21 were identified in all three *Porphyra* with high relative amounts of 8-heptadecene and pentadecane, which might be responsible for the flavor of *P. yezoensis*. Volatile compounds of short chain aldehyde, alcohol and ketone forms the characteristic flavor of *P. yezoensis*. The volatile components are similar between the wild-type and the green mutant of *P. yezoensis*, except that aldehydes and ketones were of greater abundance in *P. yezoensis* than in *P. haitanensis*.

(本文编辑: 张培新)