

2010 年绿潮藻营养成分分析及其食用安全性评价

吴 闯¹, 马家海^{1*}, 高 嵩¹, 睢 敏¹,
胡 翔², 杨建强², 徐 韧³, 叶属峰³

(1. 上海海洋大学教育部水产种质资源发掘利用重点实验室, 上海 201306;

2. 国家海洋局北海分局, 山东 青岛 266033;

3. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 200137)

摘要: 近几年来, 中国南黄海海域连续暴发的绿潮灾害引起了广泛关注, 为综合利用绿潮藻, 实验采用国标规定方法, 对 2010 年采自江苏和山东的绿藻类海藻的基本营养成分、叶绿素、氨基酸、矿质元素及其重金属含量进行了测定与分析。结果显示, 碳水化合物占绿潮藻组成成分的 35.82%~52.43%; 粗蛋白含量随采集时间的不同变化较大, 为 31.04%~12.11%; 粗脂肪含量很低, 不足藻体的 1%; 叶绿素含量差异较大, 随采集时间的延后其含量显著下降; 氨基酸含量较高, 其中必需氨基酸占总氨基酸的含量可达 37.45%, 呈味氨基酸天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量较高; 矿质元素含量丰富, 其中 Ca、Fe、Zn 等含量都较高, 重金属元素 Pb、Hg、Cd 等含量均低于国家标准中的限量要求。固着绿藻的成分变化不明显。

关键词: 绿潮藻; 固着绿藻; 营养成分分析; 安全性评价

中图分类号: S 917.3

文献标志码: A

2007 年以来, 我国黄海海域连续 4 年爆发了大规模的“绿潮”灾害。“绿潮”是由绿藻等海藻大量增殖所引起的一种异常生态现象。在一些富营养化海区出现由于浮游生物的异常繁殖, 导致海水颜色异常的现象, 被称为“赤潮”(red tide), 与此相对应, 从潮间带到浅海区域, 水体富营养化等导致大型绿藻等海藻异常大量增殖的现象, 即为“绿潮”(green tide)^[1-2]。

绿藻门海藻在富营养化海区近岸大量增殖的现象世界各地都屡见不鲜^[3], 尤其在欧洲、北美、地中海和热带海域的富营养化内湾和潮间带都很常见。引起“绿潮”的海藻主要是绿藻门石莼科石莼属的一些海藻, 这些海藻有较强的光合作用能力, 与其他的海藻相比, 繁殖方式较多, 生长特别快, 能够很快地覆盖海藻的生长区域^[4-5]。目前国内外对“绿潮”大规模爆发的环境机制尚无直接的证据, 主要将其归结为海水富营养化、春夏

季水温变化、增殖海域水动力交换缓慢导致局部种群密度增大等因素^[6]。“绿潮”的大面积爆发会造成各种环境问题, 同时, 这些海藻腐败散发出的异臭也造成了严重的社会问题。因此, 需要及时打捞绿潮藻, 对其进行无害化处理, 而对绿潮藻营养成分进行分析以及资源化利用的安全性进行评价又是绿潮灾害无害化处理的一个重要方面。绿潮藻中不乏营养丰富、具有食用和药用价值的经济海藻, 可以将其加工成食品、药品等加以利用, 达到变废为宝、化害为利的目的。

目前国内关于绿潮藻的研究多见于其种类鉴定、生活史、组织培养、实验生态等方面^[7-16], 对绿潮藻营养成分分析的研究已经有了一定进展^[17-21], 但多集中在对具体某一个地点或某一海域的绿潮藻进行成分分析, 关于绿潮藻在整个漂移过程中成分变化情况的研究, 尤其是绿潮藻在整个漂移过程中的品质变化情况的研究鲜有报

收稿日期:2011-09-18 修回日期:2012-12-03

资助项目:国家海洋局“绿潮”专项(LC-03-01);国家海洋局公益性专项(201205010);科技部国家科技支撑计划(2012BAC07B03)

通信作者:马家海, E-mail:jhma@shou.edu.cn

道,制约了绿潮藻的资源化利用和有针对性地进行绿潮藻资源的开发。本研究通过对在不同采集地点和不同采集时间收集到的绿潮藻基本营养成分、氨基酸、矿质元素、重金属元素等进行测定,并对它们的变化情况进行了分析,为有针对性地对绿潮藻资源进行综合开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

根据对绿潮藻漂移路线的监测^[22-23],在绿潮

藻从江苏海域到山东海域向北漂移的过程中,跟踪其漂移路径,2010年在江苏和山东近海的不同地点采集海藻样品。样品采集后放入样品袋置于采集箱中密封冷冻保存,并及时带回实验室进行处理。样品先用海水多次冲洗,除净泥沙和其他附着杂物,再用淡水冲洗,去其表面盐分,挑选形态上单一的藻体,然后晾干或55℃下烘干,用粉碎机打磨成粉状并过筛,最后置于样品袋中密封保存,于4℃冰箱中备用。各海藻样品按其采集产地和时间顺序列于表1和表2。

表1 2010年固着绿藻样品的采集时间、地点和生态习性

Tab.1 The collection sites, dates and ecological habit of attached green algae in 2010

采集地点 collection sites	采集时间 collection dates	种类 species	生态习性 ecological habit
江苏如东外沙 Rudongwaisha Jiangsu	2010-03-15	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	2010-04-07	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏如东洋口 Rudongyangkou Jiangsu	2010-04-10	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	2010-04-12	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏启东吕泗 Qidonglvsi Jiangsu	2010-04-15	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏如东东安 Rudongdongan Jiangsu	2010-04-16	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏如东长沙 Rudongchangsha Jiangsu	2010-04-16	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	2010-04-16	<i>U. prolifera</i>	固着 attached
江苏如东遥望港 Rudongyaowanggang Jiangsu	2010-04-16	<i>U. prolifera</i>	固着 attached

表2 2010年绿潮藻样品的采集时间、地点和生态习性

Tab.2 The collection sites, dates and ecological habit of green tide algae in 2010

采集地点 collection sites	采集时间 collection dates	生态习性 ecological habit
江苏如东环港 Rudonghuangang Jiangsu	2010-04-16	漂浮 floating
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	2010-04-16	漂浮 floating
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	2010-04-16	漂浮 floating
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	2010-05-13	漂浮 floating
江苏射阳 Sheyang Jiangsu	2010-05-13	漂浮 floating
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	2010-05-28	漂浮 floating
江苏如东太阳岛 Rudongtaiyangdao Jiangsu	2010-06-06	漂浮 floating
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	2010-07-04	漂浮 floating
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	2010-07-04	漂浮 floating
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	2010-07-04	漂浮 floating
山东日照电厂 Rizhaodianchang Shandong	2010-07-04	漂浮 floating
山东青岛栈桥 Qingdao zhanqiao Shandong	2010-07-06	漂浮 floating
山东青岛 Qingdao Shandong	2010-07-06	漂浮 floating
山东日照万平口 Rizhaowanpingkou Shandong	2010-07-07	漂浮 floating
山东青岛 Qingdao Shandong	2010-07-26	漂浮 floating

1.2 实验方法

基本营养成分测定^[24-27] 粗蛋白:凯氏定氮法。称取 0.2 g 处理好的样品,移入消化管内,加入催化剂和 10 mL 浓硫酸于消化炉上,420 °C 消化 1.5 h,冷却后用 FOSS Kjeltac2300 凯氏定氮仪测定。粗脂肪:索氏抽提法。灰分:550 °C 高温灼烧法。粗纤维:重量法^[28]。碳水化合物:减差法。水分:105 °C 下红外线快速水分测定仪测定。叶绿素和类胡萝卜素:丙酮提取法^[29]。

蛋白质的氨基酸组成测定^[30] 称样 50 ~ 60 mg,直接移入已准备好的水解管中,加入约 5 mL 的 6 mol/L HCl,真空封管,在(110 ± 1) °C 烘箱内水解 24 h,开管将样品全部移入蒸发皿中,水浴蒸发除去浓盐酸,样品过滤、定容,用日立 L-8800 高速氨基酸分析仪测定。氨基酸分析条件:进样量 20 μL,泵 1 流速 0.4 mL/min,压力 10.5 MPa,泵 2 流速 0.35 mL/min,压力 0.8 MPa,分离柱温度 50 °C,反应柱温度 136 °C。

矿质元素含量测定 采用文献[31-35]中的方法对样品进行消解,用原子吸收分光光度计测定绿潮藻中 Zn、Ca、Fe、Cu、Mn 的含量;P 用分光光度法测定。

重金属元素的测定 Pb、Cd、Cr 用石墨炉原子吸收光谱法^[36-38]测定;汞用原子荧光光谱分析法测定。

2 结果

2.1 基本营养成分含量分析

本研究测定了不同采集地点绿潮藻和固着绿藻样品中的基本营养成分含量(表 3 和表 4)。结

果显示:固着绿藻的各种营养成分变化不明显,粗蛋白含量均较高;随着样品采集时间的延后,绿潮藻粗蛋白含量有较大的变化,在“绿潮”爆发前期收集到的样品中,粗蛋白含量较高,达 31.04%,而在后期收集到的绿潮藻样品,粗蛋白含量下降到 12.11%,这说明绿潮藻在其漂移过程中损失了大量的蛋白质,绿潮藻“绿潮”后期的品质相比前期已严重下降;绿潮藻粗脂肪含量较低,皆不足藻体的 1%;其灰分含量变化也不大,占藻体的 1/5 左右;碳水化合物是这些海藻的主要营养成分,占藻体的 35.82%~52.43%;绿潮藻中粗纤维含量也较丰富,占藻体的 5.26%~8.86%,现代医学和营养学认为粗纤维对人体健康有很多重要的生理功能,并称之为与传统的六大营养素并列的“第七大营养素”,这已被国内外大量的研究事实与流行病学调查所证实^[43],所以绿潮藻是一种富含蛋白质、低脂肪、含较高纤维素的具有利用前景的海藻资源。

2.2 叶绿素、类胡萝卜素含量分析

表 5 显示了 2010 年绿潮藻的叶绿素和类胡萝卜素含量。从表 5 中可以看出,叶绿素 a 和叶绿素 b 在江苏绿潮藻样品中的含量较高,而在山东绿潮藻样品中的含量偏低;类胡萝卜素的含量从江苏至山东也呈现下降的趋势。2010 年江苏绿潮藻样品总叶绿素含量最高能达到 12.893 mg/g,类胡萝卜素最高可达 1.863 mg/g,各地均值比山东绿潮藻样品的叶绿素和类胡萝卜素含量高,这与程红艳等^[39]对于青岛样品的测定结果存在一定的差异,可能是由于海藻采集时间的不同而造成的。

表 3 2010 年固着绿藻的基本组分及其含量

Tab.3 Basic component contents of attached green algae in 2010

采集地点 collection sites	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat	灰分 ash	粗纤维 crude fiber	碳水化合物 carbohydrate	水分 moisture
江苏如东外沙 Rudongwaisha Jiangsu	30.37	0.94	18.23	6.11	38.14	12.32
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	30.23	0.84	17.25	6.47	39.25	12.43
江苏如东洋口 Rudongyangkou Jiangsu	32.83	0.91	18.32	5.21	35.20	12.74
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	31.32	0.81	19.21	6.56	36.21	12.45
江苏启东吕泗 Qidonglvsi Jiangsu	32.29	0.74	18.38	5.83	35.98	12.61
江苏如东东安 Rudongdongan Jiangsu	31.14	0.87	18.11	6.23	37.66	12.22
江苏如东长沙 Rudongchangsha Jiangsu	29.43	0.82	17.93	6.41	39.51	12.31
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	30.12	0.92	18.45	6.34	37.93	12.58
江苏如东遥望港 Rudongyaowanggang Jiangsu	31.24	0.77	18.37	5.85	37.49	12.13

表 4 2010 年绿潮藻的基本组分及其含量
Tab. 4 Basic component contents of green tide algae in 2010

采集地点 collection sites	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat	灰分 ash	粗纤维 crude fiber	碳水化合物 carbohydrate	水分 moisture
江苏如东环港 Rudonghuangang Jiangsu	30.64	0.92	18.93	5.89	37.04	12.47
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	31.04	0.86	19.54	6.04	36.25	12.31
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	30.18	0.84	20.58	5.26	35.82	12.58
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	29.94	0.77	20.23	6.68	36.34	12.72
江苏射阳 Sheyang Jiangsu	22.87	0.89	19.45	6.21	44.18	12.61
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	28.12	0.68	20.26	6.45	38.77	12.17
江苏如东太阳岛 Rudongtaiyangdao Jiangsu	28.72	0.82	21.28	6.72	36.84	12.34
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	26.83	0.74	19.87	6.32	39.75	12.81
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	23.12	0.73	20.42	7.53	42.11	13.62
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	22.21	0.87	21.53	7.12	42.86	12.53
山东日照电厂 Rizhaodianchang Shandong	21.14	0.68	20.06	8.41	46.04	12.08
山东青岛栈桥 Qingdao zhanqiao Shandong	16.76	0.57	21.54	7.35	48.59	12.54
山东青岛 Qingdao Shandong	16.43	0.49	20.67	8.61	49.98	12.43
山东日照万平口 Rizhaowanpingkou Shandong	14.56	0.62	21.04	8.86	51.50	12.28
山东青岛 Qingdao Shandong	12.11	0.42	22.73	7.93	52.43	12.31

表 5 绿潮藻的叶绿素和类胡萝卜素含量
Tab. 5 The contents of chlorophyll and carotenoid of green tide algae

采集地点 collection sites	叶绿素 a chlorophyll a	叶绿素 b chlorophyll b	类胡萝卜素 carotenoid	叶绿素 a、b chlorophyll a、b
江苏如东环港 Rudonghuangang Jiangsu	8.568	4.325	1.863	12.893
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	8.621	4.026	1.631	12.647
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	7.968	3.573	1.326	11.541
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	6.759	3.221	0.856	9.980
江苏如东太阳岛 Rudongtaiyangdao Jiangsu	5.423	3.612	0.349	9.035
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	5.214	3.081	0.742	8.295
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	5.135	3.624	0.784	8.759
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	5.109	3.431	0.687	8.540
山东日照电厂 Rizhaodianchang Shandong	5.066	3.741	0.975	8.807
山东青岛栈桥 Qingdao zhanqiao Shandong	2.342	1.067	0.652	3.409
山东青岛 Qingdao Shandong	1.481	0.909	0.319	2.390

2.3 氨基酸含量分析

根据绿潮藻出现的时间顺序,在其漂移路径中选择了江苏如东太阳岛、山东日照电厂和山东青岛近岸这 3 个地点的样品进行了氨基酸测定,从表 6 可以看出,绿潮藻样品的氨基酸含量随其采集时间的推后会显著的下降,说明绿潮藻在漂移过程中品质急剧下降,这就提示资源化利用过程中应在“绿潮”爆发前期及时打捞绿潮藻,以保证原藻的品质。

表 6 绿潮藻总氨基酸含量

采集地点 collection sites	氨基酸总量/% total amino acid
江苏如东太阳岛 Rudongtaiyangdao Jiangsu	27.56
山东日照电厂 Rizhaodianchang Shandong	19.03
山东青岛近岸 Qingdao coast Shandong	11.55

从氨基酸组成来看,呈味氨基酸含量较高,谷氨酸含量最高可达到总氨基酸的 16.45%,天门

冬氨酸含量也较高,最高可达到 13.21%。绿潮藻含有人体不能合成的必需氨基酸(EAA),必需氨基酸占氨基酸总量的 34.78%~37.45%,这 3 个绿潮藻样品中呈味氨基酸(谷氨酸、天门冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸)分别占氨基酸总量的 41.22%、42.59%和 45.21%,因此绿潮藻有较强的

海藻鲜味,可作为食品、动物饲料等天然调味剂(表 7~表 9)。由此可见,绿潮藻的蛋白质品质较好,不仅氨基酸含量高,而且氨基酸种类比较齐全,EAA 比例较高,还含有丰富的呈味氨基酸,是一种良好的植物蛋白源。

表 7 江苏如东绿潮藻的氨基酸组成和含量

Tab.7 The amino acid composition and content of green tide algae from Jiangsu Rudong

必需氨基酸(E) essential amino acid	含量/(g/100 g) content	百分比/% percentage	非必需氨基酸(N) nonessential amino acid	含量/(g/100 g) content	百分比/% percentage
苏氨酸 Thr	1.319 0	4.79	天门冬氨酸 Asp	3.203 9	11.62
缬氨酸 Val	1.685 7	6.12	丝氨酸 Ser	1.234 4	4.48
甲硫氨酸 Met	0.484 8	1.76	谷氨酸 Glu	4.314 0	15.65
异亮氨酸 Ile	1.188 1	4.31	甘氨酸 Gly	1.648 9	5.98
亮氨酸 Leu	2.238 5	8.12	丙氨酸 Ala	2.198 1	7.97
苯丙氨酸 Phe	1.492 6	5.42	胱氨酸 Cys	0.340 6	1.24
赖氨酸 Lys	1.403 6	5.09	酪氨酸 Tyr	0.671 3	2.44
组氨酸 His	0.427 9	1.55	精氨酸 Arg	1.711 9	6.21
			脯氨酸 Pro	1.259 9	4.57
			氨 NH ₃	0.740 3	2.69
氨基酸总量 total contents	27.563 5				
E/T		37.15			
N/T		62.85			

表 8 山东日照绿潮藻的氨基酸组成和含量

Tab.8 The amino acid composition and content of green tide algae from Shandong Rizhao

必需氨基酸(E) essential amino acid	含量/(g/100 g) content	百分比/% percentage	非必需氨基酸(N) nonessential amino acid	含量/(g/100 g) content	百分比/% percentage
苏氨酸 Thr	1.118 9	5.88	天门冬氨酸 Asp	2.440 2	12.82
缬氨酸 Val	1.399 8	7.36	丝氨酸 Ser	1.074 3	5.65
甲硫氨酸 Met	0.277 2	1.46	谷氨酸 Glu	2.584 0	13.58
异亮氨酸 Ile	0.790 1	4.15	甘氨酸 Gly	1.227 2	6.45
亮氨酸 Leu	1.412 6	7.42	丙氨酸 Ala	1.853 9	9.74
苯丙氨酸 Phe	1.046 0	5.50	胱氨酸 Cys	0.478 9	2.52
赖氨酸 Lys	0.829 3	4.36	酪氨酸 Tyr	0.320 4	1.68
组氨酸 His	0.251 7	1.32	精氨酸 Arg	0.984 8	5.18
			脯氨酸 Pro	0.593 9	3.12
			氨 NH ₃	0.345 0	1.81
氨基酸总量 total contents	19.028 2				
E/T		37.45			
N/T		62.55			

表 9 山东青岛近岸绿潮藻的氨基酸组成和含量
Tab. 9 The amino acid composition and content of green tide algae from Shandong Qingdao

必需氨基酸(E) essential amino acid	含量/(g/100 g) content	百分比/% percentage	非必需氨基酸(N) nonessential amino acid	含量/(g/100 g) content	百分比/% percentage
苏氨酸 Thr	0.669 8	5.80	天门冬氨酸 Asp	1.525 8	13.21
缬氨酸 Val	0.843 5	7.30	丝氨酸 Ser	0.632 8	5.48
甲硫氨酸 Met	0.148 2	1.28	谷氨酸 Glu	1.899 6	16.45
异亮氨酸 Ile	0.427 6	3.70	甘氨酸 Gly	0.735 1	6.36
亮氨酸 Leu	0.715 9	6.20	丙氨酸 Ala	1.061 9	9.19
苯丙氨酸 Phe	0.593 6	5.14	胱氨酸 Cys	0.343 7	2.98
赖氨酸 Lys	0.479 7	4.15	酪氨酸 Tyr	0.158 2	1.37
组氨酸 His	0.138 8	1.20	精氨酸 Arg	0.587 9	5.09
			脯氨酸 Pro	0.346 8	3.00
			氨 NH ₃	0.241 3	2.09
氨基酸总量 total contents	11.550 2				
E/T		34.78			
N/T		65.22			

2.4 矿质元素 P、Ca、Zn、Fe、Cu 和 Mn 的含量分析

表 10 显示了绿潮藻矿质元素 P、Ca、Zn、Fe、Cu 和 Mn 的含量情况。测定结果显示:绿潮藻含有大量的 P、Ca 和 Fe,并且富含 Zn、Cu 等矿质元素,这与王明清等^[40]、赵艳芳等^[41]的结果相一

致。Fe 是血红蛋白及许多酶的主要成分,在组织呼吸、生物氧化过程中起着重要作用;Cu 参与造血过程,可防止贫血;Zn 参与多种酶的合成,加速生长发育,并且是一种促进智力发育的元素。因此绿潮藻中高含量的矿质元素可以满足人体的正常需要,可以作为食品或药品加以开发和利用。

表 10 绿潮藻的 P、Ca、Zn、Fe、Cu 和 Mn 含量
Tab. 10 The contents of P, Ca, Zn, Fe, Cu and Mn of green tide algae mg/g

采集地点 collection sites	P	Ca	Zn	Fe	Cu	Mn
江苏如东环港 Rudonghuangang Jiangsu	0.79	16.87	0.064	0.89	0.024	0.046
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	0.84	18.54	0.057	0.96	0.027	0.055
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	0.79	17.21	0.072	0.87	0.031	0.047
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	0.93	16.3	0.069	0.82	0.023	0.038
江苏射阳 Sheyang Jiangsu	0.52	14.56	0.035	0.43	0.013	0.032
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	0.77	18.48	0.074	0.77	0.026	0.054
江苏如东太阳岛 Rudongtaiyangdao Jiangsu	0.68	19.22	0.086	0.73	0.018	0.041
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	1.31	17.93	0.053	0.56	0.022	0.037
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	1.65	18.59	0.074	0.71	0.028	0.051
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	1.76	19.33	0.067	0.62	0.031	0.042
山东日照电厂 Rizhaodianchang Shandong	0.71	18.34	0.091	0.58	0.024	0.037
山东青岛栈桥 Qingdaozhanchiao Shandong	1.26	16.34	0.062	0.47	0.036	0.031
山东青岛 Qingdao Shandong	0.94	14.92	0.025	0.42	0.032	0.026
山东日照万平口 Rizhaowanpingkou Shandong	0.46	15.11	0.047	0.53	0.017	0.024
山东青岛 Qingdao Shandong	0.38	13.48	0.054	0.32	0.022	0.021

2.5 重金属元素 Pb、Cd、Cr 和 Hg 含量分析

表 11 显示了绿潮藻重金属元素 Pb、Cd、Cr 和 Hg 的含量情况。在 2010 年采集到的绿潮藻

样品中,Pb、Cd、Cr 和 Hg 的含量较低,绿潮藻中的各项重金属含量均未超过《GB 19643 - 2005 藻类制品卫生标准》和《NY 5056 - 2005 无公害食

品《海藻》中规定的相应的限量要求,这与宁劲松等^[42]的结论一致,从而可以看出,绿潮藻符合食用安全的标准,可以进行食品深加工等资源化利用。

表 11 绿潮藻的 Pb、Cd、Cr 和 Hg 的含量
Tab. 11 The contents of Pb, Cd, Cr and Hg of green tide algae

采集地点 collection sites	Pb	Cd	Cr	Hg
江苏如东环港 Rudonghuangang Jiangsu	0.43	0.36	0.73	0.39
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	0.38	0.42	0.66	0.25
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	0.47	0.48	0.62	0.28
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	0.36	0.39	0.72	0.36
江苏射阳 Sheyang Jiangsu	0.23	0.25	0.57	0.14
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	0.42	0.46	0.65	0.36
江苏如东太阳岛 Rudongtaiyangdao Jiangsu	0.32	0.58	0.84	0.27
江苏如东洋口港 Rudongyangkougang Jiangsu	0.41	0.47	0.71	0.24
江苏大丰港 Dafenggang Jiangsu	0.53	0.51	0.68	0.31
江苏射阳港 Sheyanggang Jiangsu	0.43	0.43	0.74	0.33
山东日照电厂 Rizhaodianchang Shandong	0.39	0.59	0.91	0.16
山东青岛栈桥 Qingdaoqianqiao Shandong	0.53	0.67	0.78	0.22
山东青岛 Qingdao Shandong	0.48	0.71	0.69	0.34
山东日照万平口 Rizhaowanpingkou Shandong	0.37	0.36	0.63	0.18
山东青岛 Qingdao Shandong	0.31	0.31	0.58	0.13

3 讨论

3.1 绿潮藻的基本营养成分

本研究通过对 2010 年不同采集地点和时间的绿潮藻和固着绿藻各种成分的测定与分析,研究了绿潮藻在其漂移过程中成分变化情况,并与固着绿藻进行了比较。研究表明:绿潮藻在黄海海域自南向北漂移过程中,粗蛋白、色素等含量会不断减少,绿潮藻的品质会严重下降,这与其生物量大爆发相一致,绿潮藻漂移过程中生物量的急剧增加需要绿潮藻中的营养成分提供物质支持。固着绿藻的成分变化不明显,蛋白质等含量较高,藻体色泽也较好,这可能与生态习性有关,因为固着绿藻生活在一个相对稳定的环境里,不进行漂浮迁移。本文从绿潮藻的漂移路径着手,为有针对性地开发和利用绿潮藻提供了理论依据。

本实验结果显示,随采集时间和地点的不同,固着绿藻的各种营养成分变化不明显,粗蛋白含量均较高;而绿潮藻则变化较大,粗蛋白含量最高可达到 31.04%,粗脂肪含量不足 1%,灰分含量在 20% 左右,粗纤维含量为 5.26%~8.86%,固着绿藻的各营养成分也很高,而且不随环境而变

化,两藻相比,绿潮藻是高蛋白、低脂肪、富含纤维素的天然海藻资源。海藻的化学成分与陆生植物有较大的区别,这是由其特殊的生活环境造成的,但随着海藻生长海区和季节的变化,其化学成分也有明显的差别。尽管如此,绿潮藻还是具有一定的利用价值,可根据海藻的不同特点和不同用途而加以利用。笔者对绿潮藻的基本营养成分进行了初步的定量分析,旨在为开发和利用绿潮藻资源奠定初步的理论基础。

3.2 绿潮藻的叶绿素

绿潮藻的叶绿素和类胡萝卜素含量在“绿潮”爆发的初期较高,其中叶绿素含量为 12.893 mg/g,但是叶绿素含量随着绿潮藻采集时间的延后有较大幅度的下降,色素含量的多少可反映产品的质量,产品的颜色、色泽通过这些色素表现出来,是产品质量感官鉴定的重要指标。绿潮藻与海带、紫菜相比较^[43],叶绿素含量较高。从蛋白质、叶绿素等测定结果来看,随着时间的推移,绿潮藻的品质从“绿潮”爆发初期到后期出现前高后低的趋势,这提示我们,在“绿潮”爆发初期要及时打捞,以保证原藻的品质,同时也能一定程度上防止绿潮藻的大面积繁殖集聚,而在进行绿潮藻资源化利用时,要根据绿潮藻的品质情况进行合理的开发和利用。

3.3 绿潮藻的氨基酸

绿潮藻中含有丰富的氨基酸,江苏如东太阳岛、山东日照电厂和山东青岛近岸 3 个地点的绿潮藻样品氨基酸含量分别为 27.56%、19.03% 和 11.55%,其中人体不能合成的必需氨基酸(EAA)占氨基酸总量的 34.78%~37.45%,从氨基酸组成来看,呈味氨基酸天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量较高,在江苏如东太阳岛、山东日照电厂和山东青岛近岸 3 个绿潮藻样品中,4 种呈味氨基酸分别占其氨基酸总量的 41.22%、42.59% 和 45.21%,因此绿潮藻有较强的海藻鲜味,可作为食品、饲料等的天然调味剂。根据 FAO/WHO 的理想模式,质量较好的蛋白质氨基酸组成为必需氨基酸与总氨基酸的比值在 40%~60% 之间,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值在 60% 以上。绿潮藻的这两个比值接近要求,证明绿潮藻的蛋白质品质较好,不仅氨基酸含量高,而且氨基酸种类比较齐全,EAA 比例较高,还含有丰富的呈味氨基酸,是一种良好的植物蛋白源。

另外,绿潮藻中天冬氨酸(可达氨基酸总量的 13.21%)对于细胞内线粒体的能量代谢、氮代谢,中枢神经系统兴奋神经递质产生以及体内尿素循环等方面起着重要作用,在临床医疗中广泛用于治疗肝炎、肝硬化、肝昏迷。因此,绿潮藻中高含量的天冬氨酸使它具有重要的保健功能^[44]。

3.4 绿潮藻的矿质元素

从绿潮藻矿质元素的测定结果来看,绿潮藻含有大量的 P、Ca 和 Fe,并且富含 Zn、Cu、Mn 等矿质元素。在 2010 年的绿潮藻样品中,Fe、Zn、Cu、Mn 含量随着样品采集时间的推移都出现下降的趋势,而 P 的含量在绿潮藻中出现相反的趋势,“绿潮”爆发前期的样品中 P 含量低于“绿潮”中后期的含量,这可能是由于绿潮藻在其漂移过程中,吸收了大量的海水中的 P 元素,这与其能净化水质的作用相符合。

3.5 绿潮藻的重金属元素

本研究的结果表明,在所测定的 2010 年绿潮藻样品中,未发现有 Pb、Cd、Cr 和 Hg 超过国家标准中规定的相应的限量值,根据《GB 19643 - 2005 藻类制品卫生标准》和《NY 5056 - 2005 无公害食品 海藻》中的规定,藻类制品中铅 ≤ 1.0 mg/kg,鲜海水藻类中铅 ≤ 0.5 mg/kg,镉 ≤ 1.0 mg/kg,汞 ≤ 1.0 mg/kg;从实验结果可以看出,对

应于两项国家卫生标准中主要关注的各项参数,绿潮藻无论以干质量或湿质量计,其测定结果均低于相应标准限量要求,因此绿潮藻符合食用安全标准,可以进行开发利用。

参考文献:

- [1] Shimada S, Hiraoka M, Nabata S, *et al.* Molecular phylogenetic analyses of the Japanese *Ulva* and *Enteromorpha* (Ulvales, Ulvophyceae), with special reference to the free-floating *Ulva* [J]. *Phycological Research, Engineering and Management*, 2003, 51 (2): 99 - 108.
- [2] Charlier R H, Morand P, Finkl C W, *et al.* Green tides on the Brittany coasts [J]. *Environmental Research*, 2007, 3(41): 52 - 59.
- [3] Ohno M, Werlinger C, Shimada S, *et al.* A 'green tide' problem caused by *Enteromorpha* spp [M]. Dichato, Chile: Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium, 2001: 781 - 1164.
- [4] 马家海, 张天夫, 王金辉, 等. 对有分枝长石莼(缘管浒苔)的研究 [J]. *水产学报*, 2010, 34 (9): 1371 - 1378.
- [5] 梁宗英, 林祥志, 马牧, 等. 浒苔漂流聚集绿潮现象的初步分析 [J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2008, 38(4): 601 - 604.
- [6] Leskinen E, Alstrom-rapaport C, Pamilo P. Phylogeographical structure, distribution and genetic variation of the green algae *Ulva intestinalis* and *U. compressa* (Chlorophyta) in the Baltic Sea area [J]. *Molecular Ecology*, 2004, 13(8): 2257 - 2265.
- [7] 丁兰平, 栾日孝. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 的分类鉴定、生境习性及其分布 [J]. *海洋与湖沼*, 2009, 40(1): 68 - 71.
- [8] 丁怀宇, 马家海, 王晓坤, 等. 缘管浒苔的单性生殖 [J]. *上海水产大学学报*, 2006, 15(4): 493 - 496.
- [9] 王晓坤, 马家海, 叶道才, 等. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生活史的初步研究 [J]. *海洋通报*, 2007, 26(5): 112 - 116.
- [10] 叶乃好, 张晓雯, 毛玉泽, 等. 黄海绿潮浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生活史的初步研究 [J]. *中国水产科学*, 2008, 15(5): 853 - 859.
- [11] 马家海, 嵇嘉民, 徐韧, 等. 长石莼(缘管浒苔)生活史的初步研究 [J]. *水产学报*, 2009, 33 (1): 45 - 52.
- [12] 吴洪喜, 徐爱光, 吴美宁. 浒苔实验生态的初步研究 [J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2000, 19 (3): 230 - 234.

- [13] 王建伟,林阿朋,李艳燕,等. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 藻体发育的显微观察[J]. 生态科学, 2006, 25(5): 400 - 404.
- [14] 林阿朋,王建伟,阎斌伦,等. 浒苔 *Enteromorpha prolifera* 组织培养初步研究[J]. 生态科学, 2006, 25(4): 320 - 324.
- [15] 王建伟,阎斌伦,林阿朋,等. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生长及孢子释放的生态因子研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 60 - 65.
- [16] 忻丁豪,任松,何培民,等. 黄海海域浒苔属 (*Enteromorpha*) 生态特征初探[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(2): 190 - 192.
- [17] 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.
- [18] 徐大伦,黄晓春,杨文鸽,等. 浒苔营养成分分析[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2003, 22(4): 318 - 320.
- [19] 何清,胡小波,周峙苗,等. 东海绿藻缘管浒苔营养成分分析及评价[J]. 海洋科学, 2006, 30(1): 34 - 38.
- [20] 林文庭. 浅论浒苔的开发与利用[J]. 中国食物与营养, 2007(9): 23 - 25.
- [21] 林英庭,朱风华,徐坤,等. 青岛海域浒苔营养成分分析与评价[J]. 饲料工业, 2009, 30(3): 46 - 49.
- [22] 王国伟,李继龙,杨文波,等. 利用 MODIS 和 RADARSAT 数据对浒苔的监测研究[J]. 海洋湖沼通报, 2010(4): 1 - 8.
- [23] 衣立,张苏平,殷玉齐. 2009 年黄海绿潮浒苔爆发与漂移的水文气象环境[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(10): 015 - 023.
- [24] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 3 - 2003 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 25 - 28.
- [25] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 4 - 2003 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 32 - 33.
- [26] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 5 - 2003 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 36 - 39.
- [27] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 6 - 2003 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 44 - 46.
- [28] 范晓,韩丽君,周天成,等. 中国沿海经济海藻化学成份的测定[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(2): 199 - 207.
- [29] 谢恩义,马家海,陈扬建. 宽礁膜营养成分分析及营养学评价[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(2): 129 - 133.
- [30] 孙伟红,冷凯良,王志杰,等. 浒苔的氨基酸和脂肪酸组成研究[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(2): 106 - 114.
- [31] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 13 - 2003 食品中铜的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 100 - 103.
- [32] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 14 - 2003 食品中锌的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 105 - 108.
- [33] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 87 - 2003 食品中磷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 630 - 632.
- [34] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 90 - 2003 食品中铁、镁、锰的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 645 - 649.
- [35] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 92 - 2003 食品中钙的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 656 - 659.
- [36] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 12 - 2003 食品中铅的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 87 - 91.
- [37] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 15 - 2003 食品中镉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 112 - 115.
- [38] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 123 - 2003 食品中铬的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 110 - 113.
- [39] 程红艳,陈军辉,张道来,等. 超声波辅助提取 RP-HPLC 法测定浒苔中的叶绿素 a、b[J]. 海洋科学, 2010, 34(2): 23 - 27.
- [40] 王明清,姜鹏,王金锋,等. 2007 年夏季青岛石莼科 (*Ulvaceae*) 绿藻无机元素含量分析[J]. 生物学杂志, 2008, 25(4): 9, 37 - 38.
- [41] 赵艳芳,宁劲松,尚德荣,等. 2008 年夏季青岛近海浒苔无机元素含量分析[J]. 生物学杂志, 2010, 27(1): 92 - 93, 108.
- [42] 宁劲松,翟毓秀,赵艳芳,等. 青岛近海浒苔的营养分析与食用安全性评价[J]. 食品科技, 2009, 34(8): 74 - 75, 79.
- [43] Xie C L, Huang J, Sun B. Chemical composition of *Porphyra haitanensis* (Rhodophyta, Bangiales) in China[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2009, 28(1): 29 - 35.
- [44] 蔡春尔,姚彬,沈伟荣,等. 条浒苔营养成分测定与分析[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 155 - 159.

Nutrition analysis and food safety evaluation of green tide algae in 2010

WU Chuang¹, MA Jiahai^{1*}, GAO Song¹, JU Min¹, HU Xiang²,
YANG Jianqiang², XU Ren³, YE Shufeng³

(1. *Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *North China Sea Branch of the State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China;*

3. *East Sea Environment Monitoring Center, State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China)*

Abstract: Successive green tides that happened in South Yellow Sea in recent years have caused widespread concern. In order to provide the basis for making integrated use of green tide algae, and according to national standards, this study analyzed basic nutrients, chlorophyll, amino acids, mineral elements and heavy metals of green algae collected from Jiangsu and Shandong in 2010. The results indicated that: carbohydrates were the main nutritional components of these green tide algae, accounting for 35.82% – 52.43%; the crude protein contents varied greatly, from 31.04% to 12.11%; the fat contents were low and all less than 1%; there was a significant difference in the contents of chlorophyll, the contents decreased significantly when the collection dates delayed; the amino acid contents were high and the percent age of essential amino acids was up to 37.45%, the flavor amino acids aspartic acid, glutamic acid, glycine and alanine were considerably high; these algae contained abundant mineral elements, the contents of Ca, Fe, Zn were distinctly high, but the heavy metals Pb, Hg and Cd were all lower than the limited requirements in national standards. The composition of attached samples did not change significantly.

Key words: green tide algae; attached green algae; nutrition analysis; safety evaluation

Corresponding author: MA Jiahai. E-mail: jhma@shou.edu.cn