

江苏海区浒苔的营养与食品安全性分析与评价*

胡传明^{1,2} 陆勤勤¹ 杨立恩¹ 周伟^{1,3①} 许广平¹ 邓银银¹ 田翠翠¹

(1. 江苏省海洋水产研究所 南通 226007; 2. 上海海洋大学食品学院 上海 201306;

3. 江苏省农业种质资源保护与利用平台 南京 210014)

摘要 通过对不同海区浒苔及其与紫菜之间的比较,分析评价了江苏海区定生浒苔和漂浮浒苔的营养特性。通过主成分分析可以将江苏浒苔与其他浒苔和紫菜明显区分开,说明江苏浒苔的营养具有区域一致性。江苏浒苔具有高蛋白、低膳食纤维的特点,浒苔中钙、镁含量高于紫菜,磷含量低于紫菜。江苏浒苔的必需氨基酸含量组成适合人体需要,是良好的蛋白质来源。第一限制氨基酸为甲硫氨酸,呈味氨基酸含量达到氨基酸总量的 33.6%—42.9%,具有较好的呈味特性。江苏浒苔的铅、铬离子含量较高,食用风险不容忽视。

关键词 浒苔; 营养成分; 安全性; 评价

中图分类号 S816.7 doi: 10.11693/hyhz20180200035

浒苔(*Ulva prolifera*)属于绿藻门石莼科,是大型绿藻,在江苏海区广泛分布,具有明显的时空分布特征(Li *et al.*, 2014; Huo *et al.*, 2016)。江苏的定生浒苔主要有缘管浒苔、扁浒苔、肠浒苔等,大量来源于紫菜筏架。浒苔是紫菜生产中的主要杂藻,增加了紫菜的加工难度,降低了干紫菜产品质量。越来越多的证据显示,漂浮浒苔暴发的源头来自于江苏近岸浅滩区,通过向北的级联放大,达到绿潮的规模(Liu *et al.*, 2010; Lin *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2015)。在每年的 4 月至 7 月,在江苏海区存在较大规模的浒苔生物量,因此对浒苔的处理与利用具有较大的生态与社会效益。

浒苔具有高效的营养盐吸收能力(Luo *et al.*, 2011; Luo *et al.*, 2012),生长和繁殖能力较强(Cohen *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2010),同时具有较强的重金属富集能力(宁劲松等, 2009),因此不同海区的浒苔营养水平存在着较大差异(林英庭等, 2015),应该分开而论。对浒苔的营养成分调查多来自青岛、浙江与福建沿海岸区,调查品种有漂浮浒苔、缘管浒苔、肠浒苔与条浒苔等

(徐大伦等, 2003; 何清等, 2006; 林英庭等, 2009; 林建云等, 2011; 段元慧等, 2014)。蔡子豪等(2016)对 2014 年江苏海区的漂浮浒苔的营养水平进行了分析,未见对江苏紫菜筏架上定生浒苔的营养水平调查。

浒苔既可食用与药用,也可用作饲料或肥料,利用前景广泛。对浒苔营养成分组成的分析及其安全性评价是浒苔开发利用的前提,为浒苔的资源化利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品收集

实验所需定生浒苔样品于 2015 年 1—5 月分别取自江苏连云港、盐城与南通紫菜筏架以及浙江宁波近岸海区;漂浮浒苔于 2015 年 6 月取自江苏近海与青岛近岸海区;条斑紫菜和坛紫菜于 2016 年取自江苏盐城海区。同一采集地分 5 个采样点以上采集,并等质量混匀,采集的海藻用消毒海水洗净后阴干,后于 60°C 再干燥。干燥后的样品用粉碎机粉碎,过 60 目筛,分装于样品袋,置于-20°C 冰箱中备用。

* 鳌山科技计划项目, 2016ASKJ02-1 号; 国家重点研发计划项目, 2016YFC1402104 号; 南通市科技计划项目, MS12015068 号, MS22015025 号, MS22015026 号; 江苏省水产三新工程重大项目, D2016-19 号; 国家藻类产业技术体系, CARS-50 号。胡传明, 副研究员, E-mail: hucharming@163.com

通讯作者: 周伟, 副研究员, E-mail: crasszhou@163.com

收稿日期: 2018-02-11, 收修改稿日期: 2018-05-22

表 1 江苏海区浒苔样品与对照样信息
Tab.1 Sample information of *U. prolifera* of Jiangsu coast and the control samples

编号	样品名	采集地	采集时间(年.月.日)
EI-1	定生浒苔	江苏连云港	2015.01.19
EI-2	定生浒苔	江苏盐城	2015.03.06
EI-3	定生浒苔	江苏盐城	2015.05.12
EI-4	定生浒苔	江苏南通	2015.03.15
PI-1	漂浮浒苔	江苏连云港	2015.06.10
EI-5	定生浒苔	浙江宁波	2015.05.16
PI-2	漂浮浒苔	山东青岛	2015.06.29
Yg	条斑紫菜	江苏盐城	2016.12.20
Hg	坛紫菜	江苏盐城	2016.10.10

1.2 矿物质与重金属检测

钙、钾、镁、锰、镍、锌、铅、铬、铁、铜、磷、镉含量检测参照 BS EN ISO 17294-2: 2004; 汞含量检测参照 BS EN 13806: 2002。

1.3 一般营养成分检测

灰分含量检测参照 GB5009.4-2010; 蛋白质含量检测参照 GB 5009.5-2010 第一法; 膳食纤维含量检测参照 GB 5009.88-2014; 粗脂肪含量检测参照 GB/T 14772-2008。

1.4 氨基酸含量检测

准确称量 17 种氨基酸标准品, 用水配制混合液, 使其终浓度均为 0.5、1、5、10、20、50、100、200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 八个标准浓度梯度。取研磨好的紫菜 100mg, 加入 1.6mL 盐酸过夜放置, 12000r/min 离心 5min 取上清液 100 μL , 加入 900 μL 甲醇稀释 10 倍, 取稀释过的溶液 50 μL , 加入浓度为 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的丙氨酸-d4 同位素内标 100 μL , 涡旋混匀, 瞬离, 低于 45 $^{\circ}\text{C}$ 挥干, 加入浓盐酸: 正丁醇(1:3) 60 μL , 混匀后瞬离(把盖上液滴甩下), 65 $^{\circ}\text{C}$ 恒温放置 15min 衍生化, 瞬离后低于 45 $^{\circ}\text{C}$ 挥干, 加入 80%乙腈水 100 μL 复溶, 混匀直接进样分析。

色谱条件: 色谱柱: ACQUITY UPLC $^{\circledR}$ BEH C18 色谱柱(2.1 \times 100mm, 1.7 μm , 美国 Waters 公司), 进样量 5 μL , 柱温 40 $^{\circ}\text{C}$, 流动相 A 含 0.1%甲酸和 0.1%七氟丁酸的乙腈, 流动相 B 含 0.1%甲酸水, 流速 0.2mL/min; 梯度洗脱程序如下: 0—1min, 5% A; 1.5—2min, 5%—20% A; 2—7min, 20%—30% A; 7—8.5min, 30%—98% A; 8.5—10.5min, 98% A; 10.5—11min, 5%—98% A; 11—12.5min, 5% A。MS 条件: 电喷雾电离(ESI)源, 正离子电离模式。离子源电压 3200V, 溶剂温度 380 $^{\circ}\text{C}$, 锥孔电压 20V。采用多重

反应监测(MRM)进行扫描。

1.5 营养品质评价

采用 Simca(瑞典, UMETRICS)软件和 SPSS 22.0 (美国, IBM)软件对所有样品的基础营养成分进行卡方检验与主成分分析。

参照 2007 年世界卫生组织建议的成人必需氨基酸模式 (World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University, 2007), 并根据如下公式计算氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC) (FAO, 1970)。

$$RC = \frac{\text{待测样品蛋白质中某种必需氨基酸含量(mg/g蛋白质)}}{\text{FAO/WHO评分标准模式中相应必需氨基酸含量(mg/g蛋白质)}}$$

其中, 比值较低者为限制性氨基酸, RC 就是该种蛋白质的氨基酸比值。

2 结果与分析

2.1 江苏海区浒苔中基础营养组分与含量

通过对江苏海区浒苔及其对照的基础营养调查可以发现(表 2): 江苏的定生与漂浮浒苔中的蛋白质含量占到干重的 26.3%—31.6%, 接近于该海区坛紫菜中的蛋白水平(33.1%), 显著高于浙江定生浒苔与青岛漂浮浒苔; 江苏南部(盐城与南通)的定生浒苔中灰分含量较高, 达到干重的 20.0%—34.9%, 连云港浒苔的灰分含量只有 14.0%—14.4%; 青岛漂浮浒苔的膳食纤维含量最高, 达到干重的 48.6%, 江苏海区浒苔的膳食纤维含量均低于条斑紫菜(33.3%), 除了 EI-5, 浒苔粗脂肪含量均高于紫菜。通过以上结果显示, 江苏海区浒苔具有蛋白含量高, 膳食纤维含量低的特点, 相对营养水平较高。

分析本研究各样本间在营养组分含量上的差异, 根据营养组分数据的离散性采用卡方检验, 结果显示各样品间没有显著差异, 因此进而采用主成分分析法分析。对所有样品的基础营养组分进行数据均一化处理后, 进行主成分分析, 提取前两个主成分, 第一主成分方差贡献率为 40.31%, 第二主成分方差贡献率达到 22.21%。Bartlett 球形检验统计量的 $Sig < 0.01$, 因此, 各营养组分之间存在着显著的相关性, 适用于主成分分析。根据主成分得分图可以发现(见图 1), 江苏浒苔全部位于第二主成分的负轴, 与其他样品明显区分开, 同时, 两种紫菜全部聚在第一与第二主成分的正轴, 浙江定生浒苔与青岛漂浮浒苔聚在图 1 的左半轴。表明浒苔的营养水平具有显著的地区特性,

表 2 江苏海区浒苔及对照样中的基础营养组分与含量
Tab.2 Main nutrient components and contents of *U. prolifera* of Jiangsu coast and the control samples

指标	EI-1	EI-2	EI-3	EI-4	PI-1	EI-5	PI-2	Yg	Hg
蛋白(%)	30.1	26.3	29.9	31.1	31.6	15.7	11.0	47.3	33.1
灰分(%)	14.0	33.9	28.9	20.0	13.6	34.9	14.4	6.7	10.4
膳食纤维(%)	22.6	26.9	23.8	25.8	30.8	27.3	48.6	33.3	41.1
粗脂肪(%)	0.6	1.1	0.9	1.3	1.6	0.2	0.9	0.4	0.2
钙(g/kg)	8.7	10.0	10.0	9.8	11.0	14.0	25.0	4.2	6.0
钾(g/kg)	20.0	10.8	34.1	7.0	27.5	35.4	7.7	23.1	28.9
镁(g/kg)	9.0	9.3	10.2	10.6	13.0	18.5	11.8	3.1	5.5
铁(g/kg)	2.6	4.9	4.0	3.1	0.6	0.4	0.6	0.1	1.9
磷(g/kg)	4.0	3.8	4.7	3.5	3.7	1.4	0.6	8.4	6.4
锰(mg/kg)	41.5	91.6	86.9	48.7	35.3	299.0	19.1	26.2	36.5
镍(mg/kg)	4.3	5.2	5.0	3.3	4.6	3.7	3.3	0.7	1.0
锌(mg/kg)	27.4	26.5	26.4	29.8	27.9	12.3	12.9	41.7	20.9
铜(mg/kg)	19.9	14.8	17.3	16.3	20.6	8.8	11.3	7.9	22.3

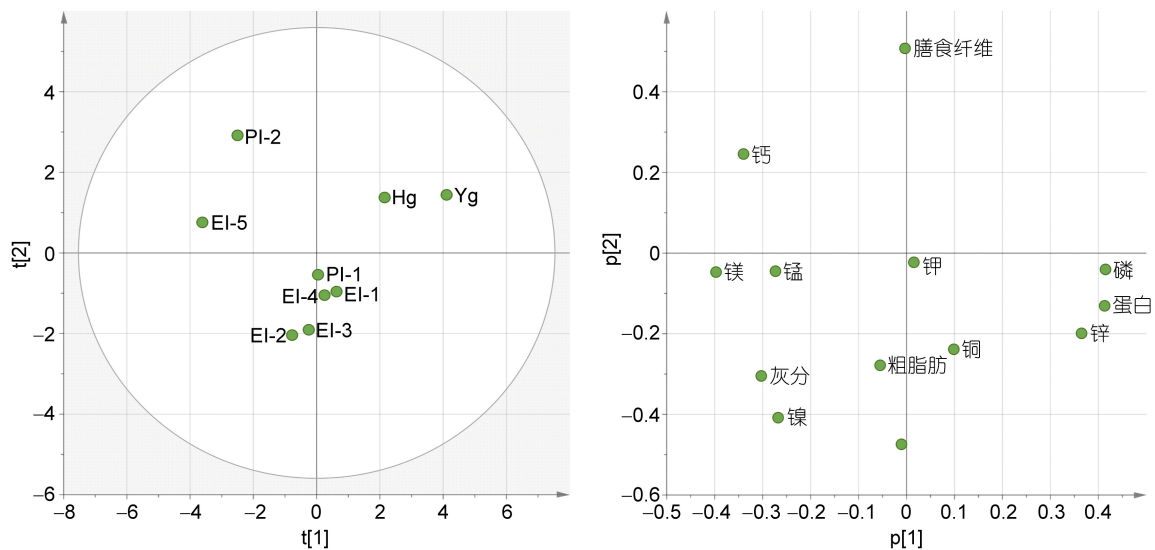


图 1 基础营养组分的主成分得分图与荷载图

Fig.1 The PCA scores and loadings chart of main nutrient components and contents of *U. prolifera* of Jiangsu coast and the control samples

且紫菜与浒苔的各个营养富集水平有着较大的差别。综合荷载图, 进一步说明膳食纤维含量是区分不同海区浒苔的主要依据; 江苏浒苔相较其他海区, 铁离子与铜离子的含量比较大; 相比于浒苔, 条斑紫菜在蛋白含量, 磷、锌离子的吸收水平上明显高于浒苔, 钙离子与镁离子的吸收水平低于浒苔。

2.2 江苏海区浒苔中氨基酸组成与含量

对样品中的 17 种氨基酸进行定性定量分析, 由表 3 可以发现, 江苏浒苔的总氨基酸含量在 21.72%—26.85%之间, 高于其他海区。江苏浒苔的必

需氨基酸与氨基酸总量之比(EAA/TAA)为 40.66%—53.63%, 必需氨基酸与非必需氨基酸的百分比为 68.51%—115.66%, 均超过 Food and Agriculture Organization / World Health Organization (FAO/WTO) 推荐的理想模式(EAA/TAA 40%, EAA/NEAA 60%)的指标要求, 是较好的食物蛋白源。此外, 浒苔中的四种呈味氨基酸(甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸与谷氨酸)含量达到氨基酸总量的 33.56%—42.91%, 与紫菜相仿, 说明浒苔具有较好的呈味特性, 可用于制作风味调味料、风味食品等。

表 3 不同样品中的氨基酸组成与含量
Tab.3 Amino acids composition and concentration of the samples

氨基酸(%)	El-1	El-2	El-3	El-4	Pl-1	El-5	Pl-2	Yg	Hg
甘氨酸(Gly [#])	1.90	1.51	1.65	2.02	2.13	1.42	0.14	3.73	3.02
丙氨酸(Ala [#])	2.10	2.83	1.95	2.62	2.22	0.86	0.64	3.66	2.26
缬氨酸(Val [▲])	1.37	1.10	1.87	1.88	0.95	0.74	0.68	1.74	1.08
脯氨酸(Pro)	0.89	1.66	1.29	0.78	1.66	0.79	0.73	1.14	0.34
苏氨酸(Thr [▲])	0.80	0.49	1.28	1.26	0.78	0.59	0.30	3.17	2.42
异亮氨酸(Ile [▲])	1.22	0.96	1.73	0.96	0.98	0.83	0.64	2.06	1.75
亮氨酸(Leu [▲])	1.96	1.62	1.88	1.42	2.19	0.83	0.84	4.03	1.65
甲硫氨酸(Met [▲])	0.32	0.24	0.30	0.24	0.27	0.18	0.24	0.51	0.46
组氨酸(His [△])	0.37	0.38	1.07	0.27	0.74	0.42	0.19	0.72	0.27
苯丙氨酸(Phe [▲])	0.66	0.43	1.58	0.32	0.88	0.26	0.24	1.95	1.78
精氨酸(Arg)	1.02	0.78	1.25	1.66	2.59	0.41	0.31	3.23	1.26
酪氨酸(Tyr [△])	2.60	2.48	2.11	1.92	1.20	1.09	1.15	2.09	0.91
天冬氨酸(Asp [#])	2.76	2.42	3.15	3.20	2.88	1.57	1.11	3.43	2.82
色氨酸(Trp [▲])	0.85	0.36	0.82	0.18	0.49	0.25	0.11	0.32	0.14
丝氨酸(Ser)	0.66	0.52	0.90	1.12	1.18	0.56	0.45	1.68	0.66
赖氨酸(Lys [▲])	1.82	1.38	1.76	1.78	2.05	1.64	0.89	1.77	1.53
谷氨酸(Glu [#])	2.29	2.56	2.26	2.27	2.71	1.40	1.14	3.54	2.97
总氨基酸(TAA)	23.59	21.72	26.85	23.90	25.90	13.84	9.80	38.77	25.32
EAA/TAA	50.74	43.46	53.63	42.80	40.66	49.35	53.88	47.36	47.35
EAA/NEAA	103.01	76.87	115.66	74.84	68.51	97.43	116.81	89.96	89.95
DAA/TAA	38.36	42.91	33.56	42.30	38.38	37.93	30.92	37.04	43.72

注: ▲为必需氨基酸, △为半必需氨基酸, #为呈味氨基酸; TAA. 氨基酸总量; EAA. 必需氨基酸; NEAA. 非必需氨基酸; DAA. 呈味氨基酸

利用化学测定法根据 2007 年 WHO/FAO/UNU 推荐的成人必需氨基酸需求量, 评估了各个样品中的

必需氨基酸(见表 4), 可以发现, 江苏浒苔的第一限制氨基酸为甲硫氨酸。

表 4 不同样品必需氨基酸的 RC 值
Tab.4 The RC values of indispensable amino acids of the samples

氨基酸	WHO/FAO/ UNU 推荐模式(mg/g)	RC 值								
		El-1	El-2	El-3	El-4	Pl-1	El-5	Pl-2	Yg	Hg
His	15	0.82	0.96	2.39	0.58	1.56	1.78	1.15	1.01	0.54
Ile	30	1.35	1.22	1.93	1.03	1.03	1.76	1.94	1.45	1.76
Leu	59	1.10	1.04	1.07	0.77	1.17	0.90	1.29	1.44	0.84
Lys	45	1.34	1.17	1.31	1.27	1.44	2.32	1.80	0.83	1.03
Met	16	0.66	0.57	0.63	0.48	0.53	0.72	1.36	0.67	0.87
Phe+Tyr	38	2.85	2.91	3.25	1.90	1.73	2.26	3.33	2.25	2.14
Thr	23	1.16	0.81	1.86	1.76	1.07	1.63	1.19	2.91	3.18
Trp	6	4.71	2.28	4.57	0.96	2.58	2.65	1.67	1.13	0.70
Val	39	1.17	1.07	1.60	1.55	0.77	1.21	1.59	0.94	0.84

2.3 江苏海区浒苔重金属安全评价

对样品中的 4 种重金属含量进行检测分析, 并比对四个限量标准(见表 5), 可以发现江苏浒苔样品中的铅含量均超过《食品安全国家标准 食品中污染物限量》

GB2762-2017 中的限定值, 最高达到 3.75mg/kg, 说明江苏浒苔受到了较为严重的铅污染。浒苔与坛紫菜中铬的含量均超过《绿色食品 藻类及其制品》NY/T 1709-2009 的限定值。除了青岛漂浮样, 所有样品中镉的含量均超

过《绿色食品 藻类及其制品》NY/T 1709-2009 的限定值。此外, 连云港定生浒苔和紫菜样品中的镉含量还超

过了《饲料卫生标准》GB 13078-2017。所有样品均符合《生物有机肥》NY884-2012 的重金属限量要求。

表 5 不同样品的重金属含量
Tab.5 Heavy metal elements contents of the samples

编号	铅(mg/kg)	铬(mg/kg)	总汞(mg/kg)	镉(mg/kg)
E1-1	2.67	4.2	0.01	2.98
E1-2	3.75	8.24	0.03	1.42
E1-3	2.67	9.76	0.02	1.84
E1-4	3.57	14	0.03	1.62
PI-1	1.67	3.86	0.01	1.84
E1-5	1.39	0.65	0.03	0.71
PI-2	0.94	22.5	0.02	0.38
Yg	0.1	—	—	2.92
Hg	0.35	0.59	0.01	3.52
《食品安全国家标准 食品中污染物限量》GB2762-2017	1	—	—	—
《绿色食品 藻类及其制品》NY/ T1709-2009	1	0.5	0.5	0.5
《饲料卫生标准》GB 13078-2017	—	—	—	2
《生物有机肥》NY884-2012	50	150	2	3

注: “—”表示未检出, 检出限为 0.01mg/kg

3 讨论

通过不同地区和种类海藻之间的比较, 总结了江苏海区定生浒苔和漂浮浒苔共有的营养学特性。由于江苏定生浒苔具有多个品种聚集生长的特点, 且各个品种之间难以直接区分, 因此采样时将其视为一个整体, 对研究该海区定生浒苔群体具有一定代表性。

结果表明, 采用主成分分析法可以将江苏浒苔和其他海区浒苔明显区分开, 江苏浒苔具有高蛋白、低膳食纤维的特点。江苏定生浒苔的蛋白含量占到干重的 26.3%—31.6%, 低于同一海区条斑紫菜, 略低于坛紫菜的 33.1%, 与同海区的漂浮浒苔较为一致(蔡子豪等, 2016)。江苏浒苔的蛋白含量与该海区较为丰富的无机氮源直接相关(Luo *et al.*, 2012; 李俭平等, 2010; 张晓昱等, 2017; 矫新明等, 2017)。青岛漂浮浒苔干物质中蛋白含量只有 11.0%, 膳食纤维含量高达 48.6%, 相较连云港漂浮浒苔, 含氮量降低, 含碳量增加, 反映了浒苔在向北输运过程中生物量急剧增长(Liu *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2015)。

通过主成分分析法还可以发现, 浒苔的钙、镁离子含量相对高于紫菜, 且江苏浒苔中铁、铜离子的含量比较大, 说明矿物质元素含量受到海区和物种的一定影响(林建云等, 2011; 林英庭等, 2015)。浒苔中

的磷含量低于紫菜, 且条斑紫菜高于坛紫菜, 意味着条斑紫菜从水体中转移磷的能力高于浒苔。本研究条斑紫菜的磷含量略低于陆勤勤等(2016)的报道。

江苏浒苔的氨基酸种类齐全, 必需氨基酸与氨基酸总量之比以及必需氨基酸与非必需氨基酸之比均满足 FAO/WTO 推荐的理想模式, 是较为优质的氨基酸来源。并且呈味氨基酸含量达到氨基酸总量的 33.6%—42.9%, 与紫菜中的含量相仿, 具有较高的呈味特性。江苏浒苔的第一限制氨基酸为甲硫氨酸, 而蔡子豪等(2016)以 AAS 法评价南黄海漂浮浒苔的限制氨基酸为甲硫氨酸+ 半胱氨酸或异亮氨酸, 以 CS 法评价时均为甲硫氨酸+ 半胱氨酸, 表明了不同的评价方法限制氨基酸具有一定的差异。

浒苔富集重金属的能力与浒苔种类、生长季节以及海区有关(陶平等, 2001)。江苏海区浒苔中铅离子含量严重超标, 福建近海的浒苔同样如此, 且含量最高达到 10.22mg/kg(林建云等, 2011; 杨欢等, 2013)。本研究与其他报道一致认为, 青岛沿岸的浒苔中铅含量符合《食品安全国家标准 食品中污染物限量》GB2762-2017 的限量要求(林英庭等, 2009; 廖梅杰等, 2011)。江苏浒苔中的铬含量均超过《绿色食品 藻类及其制品》NY/T 1709-2009 的限定值, 最高达到 14mg/kg。因此, 重金属含量的超标成为江苏浒苔开发的瓶颈之一, 需要引起高度重视。

浒苔由于含有丰富的多糖、矿物质元素、氨基酸等营养成分,在农业、食品、工业、医药等多个行业具有广泛的应用前景(单俊伟等,2016)。江苏是浒苔资源量巨大的省份,既包括筏架设施上的定生浒苔,也包括漂浮浒苔。由于具有短时间大量增长的特点,对资源的开发与处理带来较大压力。目前对于漂浮浒苔仍以应急打捞为主,定生浒苔一般采取回收筏架设施的方式处理,仍然以“治”为主,这与浒苔的利用价值尚未达到一定的门槛有关。如能够进一步挖掘江苏浒苔的利用价值,特别是食品价值,克服开发利用瓶颈,推动浒苔加工的产业化,将促进定生浒苔和绿潮的预防和治理,带来巨大的经济与生态效益。

4 结论

本研究比较了不同海区浒苔及其与紫菜的营养学特性,利用主成分分析法可以将江苏浒苔与其他浒苔和紫菜明显区分开,说明江苏浒苔的营养具有区域一致性。江苏浒苔中的蛋白质含量占到干重的26.3%—31.6%,江苏浒苔的膳食纤维含量均低于条斑紫菜(33.3%),粗脂肪含量占干重的0.6%—1.6%。浒苔中钙、镁含量高于紫菜,磷含量低于紫菜。必需氨基酸含量组成均符合FAO/WTO推荐的理想模式,第一和第二限制氨基酸为组氨酸或甲硫氨酸,呈味氨基酸含量达到氨基酸总量的33.6%—42.9%,说明江苏浒苔具有较好的呈味特性。江苏浒苔的铅、铬离子含量均超过《绿色食品 藻类及其制品》NY/T 1709-2009的限定值,成为制约浒苔开发利用的瓶颈之一。

参 考 文 献

宁劲松,翟毓秀,赵艳芳等,2009. 青岛近海浒苔的营养分析与食用安全性评价. 食品科技, 34(8): 74—75, 79
 李俭平,赵卫红,付敏等,2010. 氮磷营养盐对浒苔生长影响的初步探讨. 海洋科学, 34(4): 45—48
 杨欢,黎中宝,李元跃等,2013. 厦门海域浒苔种类鉴定及其营养成分分析. 中国渔业质量与标准, 3(4): 70—75
 何清,胡晓波,周峙苗等,2006. 东海绿藻缘管浒苔营养成分分析及评价. 海洋科学, 30(1): 34—38
 张晓昱,袁广旺,毛成贵等,2017. 江苏重点紫菜增殖区环境质量状况评价. 淮海工学院学报(自然科学版), 26(4): 78—83
 陆勤勤,周伟,邓银银,2016. 条斑紫菜栽培的经济效益与生态效益概述. 中国水产, (1): 53—54
 林英庭,朱风华,王利华等,2015. 浒苔的营养成分及安全性评价. 饲料工业, 36(16): 1—6
 林英庭,朱风华,徐坤等,2009. 青岛海域浒苔营养成分分

析与评价. 饲料工业, 30(3): 46—49
 林建云,陈维芬,贺青等,2011. 福建沿岸海域浒苔藻类的营养成分含量与食用安全. 台湾海峡, 30(4): 570—576
 单俊伟,刘海燕,马栋,2016. 浒苔的研究与资源化利用进展. 现代农业科技, (15): 258—260
 段元慧,2014. 缘管浒苔(*Enteromorpha*)的营养成分及安全性分析. 大连: 大连海洋大学硕士学位论文
 徐大伦,黄晓春,杨文鸽等,2003. 浒苔营养成分分析. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 22(4): 318—320
 陶平,许庆陵,姚俊刚等,2001. 大连沿海13种食用海藻的营养组成分析. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 24(4): 406—410
 矫新明,周超凡,花卫华等,2017. 江苏海涂海域表层海水水质变化特征分析. 淮海工学院学报(自然科学版), 26(3): 75—80
 蔡子豪,杜晶,孙彬等,2016. 南黄海绿潮藻的分子鉴定及营养价值初探. 浙江农业学报, 28(7): 1206—1215
 廖梅杰,郝志凯,尚德荣等,2011. 浒苔营养成分分析与投喂刺参试验. 渔业现代化, 38(4): 32—36
 Cohen R A, Fong P, 2006. Using opportunistic green macroalgae as indicators of nitrogen supply and sources to estuaries. Ecological Applications, 16(4): 1405—1420
 FAO, 1970. Amino acid content of foods and biological data on proteins. Rome: FAO, 5—6
 Huo Y Z, Han H B, Hua L *et al*, 2016. Tracing the origin of green macroalgal blooms based on the large scale spatio-temporal distribution of *Ulva* microscopic propagules and settled mature *Ulva* vegetative thalli in coastal regions of the Yellow Sea, China. Harmful Algae, 59: 91—99
 Li Y, Song W, Xiao J *et al*, 2014. Tempo-spatial distribution and species diversity of green algae micro-propagules in the Yellow Sea during the large-scale green tide development. Harmful Algae, 39: 40—47
 Lin H Z, Jiang P, Zhang J X *et al*, 2011. Genetic and marine cyclonic eddy analyses on the largest macroalgal bloom in the World. Environmental Science & Technology, 45(14): 5996—6002
 Liu F, Pang S J, Xu N *et al*, 2010. *Ulva* Diversity in the Yellow Sea during the large-scale green algal blooms in 2008—2009. Phycological Research, 58(4): 270—279
 Luo M B, Liu F, 2011. Salinity-induced oxidative stress and regulation of antioxidant defense system in the marine macroalga *Ulva prolifera*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 409(1—2): 223—228
 Luo M B, Liu F, Xu Z L, 2012. Growth and nutrient uptake capacity of two co-occurring species, *Ulva prolifera* and *Ulva linza*. Aquatic Botany, 100: 18—24
 Wang Z L, Xiao J, Fan S L *et al*, 2015. Who made the world's largest green tide in China?—an integrated study on the initiation and early development of the green tide in Yellow Sea. Limnology and Oceanography, 60(4): 1105—1117
 World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University, 2007. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. Geneva: WHO, 149—152

THE NUTRITION AND FOOD SAFETY OF *ULVA PROLIFERA* OFF JIANGSU COAST

HU Chuan-Ming^{1,2}, LU Qin-Qin¹, YANG Li-En¹, ZHOU Wei^{1,3},
XU Guang-Ping¹, DENG Yin-Yin¹, TIAN Cui-Cui¹

(1. Jiangsu Marine Fisheries Research Institute, Nantong 226007, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Jiangsu Provincial Platform for Conservation and Utilization of Agricultural Germplasm, Nanjing 210014, China)

Abstract The nutrition characteristics of settled and floating *Ulva prolifera* of Jiangsu coasts (hereinafter the Jiangsu *U. prolifera*) were analyzed and evaluated by the comparison of different species from different marine areas. Featured with regional homogeneity, the Jiangsu *U. prolifera* can be separated from other *U. prolifera* in the principal component analysis. The Jiangsu *U. prolifera* had high contents of protein, as well as low dietary fiber content. The Ca and Mg contents were higher, while phosphorus content was lower than those of *Pyropia yezoensis*. The Jiangsu *U. prolifera* could be a good protein source for having essential amino acids that suitable for intake and had a good flavor properties as its flavor amino acids content was in high level, 33.6%—42.9% of the total amino acids. However, the food safety risk may be high as in the Jiangsu *U. prolifera* the lead and chromium ions were high.

Key words *Ulva prolifera*; nutritional components; safety; evaluation