

胡传明, 陆勤勤, 张美如, 等. 不同品系条斑紫菜采收期游离氨基酸组成与含量变化特征[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(7): 334–337.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.114

# 不同品系条斑紫菜采收期游离氨基酸组成与含量变化特征

胡传明<sup>1,2</sup>, 陆勤勤<sup>1</sup>, 张美如<sup>1</sup>, 朱建一<sup>3</sup>, 马飞<sup>4</sup>, 周伟<sup>1</sup>, 沈辉<sup>1</sup>

(1. 江苏省海洋水产研究所, 江苏南通 220067; 2. 江苏省农业种质资源保护与利用平台, 江苏南京 210014;

3. 常熟理工学院, 江苏常熟 215500; 4. 江苏省宿迁市宿城区食品药品监督管理局, 江苏宿迁 223800)

**摘要:**以 7 个条斑紫菜栽培品系为材料, 利用柱前衍生高效液相色谱法, 对其在采收期前期、中期与后期的 16 种游离氨基酸含量进行测定。结果显示, 试样游离氨基酸总含量在 48.71 ~ 62.05 mg/g 之间, 其中, Ala、Arg、Glu 与 Asp 4 种呈味氨基酸含量最高, 总含量在 36.05 ~ 53.96 mg/g 之间, 占总游离氨基酸的 69.11% ~ 86.47%, 除对照品系外, 其他 6 个品系的呈味氨基酸与游离氨基酸总量均在采收中期达到最高; 所有品系的必需氨基酸含量均随采收时间延迟呈增长趋势, 在采收后期达到最高; 苏通条斑紫菜品系在呈味氨基酸与总游离氨基酸含量组成水平上最高, 其次为 Y-H002、苏研与苏连, 对照品系最低。

**关键词:**条斑紫菜; 游离氨基酸; 采收期; 栽培品系

**中图分类号:** S917.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)07-0334-04

紫菜属 (*Pyropi*) 是一类原始大型红藻, 生长分布范围广泛, 其经济种类条斑紫菜和坛紫菜是我国重要的栽培海藻。条斑紫菜是属于原红藻纲、红毛菜科的一类海洋大型藻类, 其生活史由宏观的叶状体 (配子体) 阶段和微观的丝状体 (孢子体) 阶段循环完成<sup>[1-2]</sup>。1953 年, Kurogi 开始在实验室内培养丝状体获得壳孢子, 并由壳孢子得到幼叶状体<sup>[3-4]</sup>。20 世纪 50 年代末, 国外学者陆续提出紫菜的“种”与栽培性状的概念, 由此建立了紫菜人工栽培技术, 条斑紫菜选育研究也得到广泛发展。1969 年, Miura 经过多年选育, 获得具有稳定遗传性状的栽培品种——奈良轮条斑紫菜 (*P. yezoensis* f. *narawaensis*)。其后, 通过单倍体育种方法成功培育出色泽优、产量高的条斑紫菜新种质晓光, 成为 20 世纪 90 年代日本盛行的条斑紫菜栽培品种<sup>[5]</sup>。我国藻类学者在 20 世纪 80 年代初, 基本延袭这一方法选育成 1 个长型条斑紫菜品种<sup>[2]</sup>。目前, 单倍体育种技术有了长足发展, 并通过种内、种间杂交、定向培育、诱变育种等技术手段, 开展了大量的条斑紫菜种质改良、新品系研发等。

条斑紫菜属于一类风味食品, 除对产量与形态等基本特征进行必要描述<sup>[6]</sup>、对其叶绿素荧光特征、脂肪酸与挥发物的组成含量等开展研究外<sup>[7-11]</sup>, 评价一个栽培品系的风味特征是工作重点之一, 可以反映其食用品质与商业价值。风味物包括游离氨基酸、5'-核苷酸、还原糖与有机酸等一系列物质<sup>[12]</sup>。条斑紫菜游离氨基酸以 Glu、Ala、Asp、Arg、Tau 等呈味氨基酸含量最高, 以体现其醇厚的风味<sup>[13]</sup>。游离氨基酸成分与含量不仅与条斑紫菜的种质有关<sup>[13]</sup>, 而且与其栽培环境及采收时间也有一定的联系<sup>[13-16]</sup>。本研究以包括杂交品系、高光强胁迫筛选品系、诱变选育品系、自然选育品系与栽培品系在内的 7 个条斑紫菜品系为材料, 测定其在采收期前期、中期与后期的游离氨基酸含量, 分析各品系游离氨基酸组成与含量变化特征, 为条斑紫菜各栽培品系的评价研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

在江苏南通紫菜栽培区, 分别于 2013 年 1 月 1 日 (前期)、2 月 28 日 (中期)、3 月 28 日 (后期) 采集各条斑紫菜品系 (表 1); 使用海水清洗藻体, 并剔除杂藻和藻体基部, 快速过纯水去除盐分; 藻体低温快速风干, -20 ℃ 保存。

### 1.2 游离氨基酸含量的测定

样品研磨, 过 100 目筛; 精确称取藻粉 0.30 g, 加入体积分数 75% 的乙醇 50 mL, 100 ℃ 水浴 15 min, 40 ℃ 真空旋转蒸干, 重复上述步骤 1 次; 用适量 pH 值为 2.2 的柠檬酸缓冲液

收稿日期: 2014-07-31

基金项目: 海洋公益性行业科研项目 (编号: 201105023); 江苏省科技支撑计划 (编号: BE2011375); 江苏省南通市农村科技创新及产业化计划 (编号: HL2012011)。

作者简介: 胡传明 (1980—), 男, 江苏新沂人, 硕士, 助研, 主要从事海洋水产与生物化学研究。Tel: (0513) 85232689; E-mail: hucharming@163.com。

[9] Kleynen O, Leemans V, Destain M F. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(1): 41–49.

[10] Lee D J, Schoenberger R, Archibald J, et al. Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(3): 388–398.

[11] 展慧, 李小昱, 周竹, 等. 基于近红外光谱和机器视觉融合技术的板栗缺陷检测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 345–349.

[12] 李江波, 饶秀勤, 应义斌, 等. 基于掩模及边缘灰度补偿算法的脐橙背景及表面缺陷分割[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 133–137.

[13] 李江波, 饶秀勤, 应义斌. 水果表面亮度不均校正及单阈值缺陷提取研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 159–163.

表 1 条斑紫菜试验材料概况

品系名称	材料背景	育种单位
Y-H002	杂交重组品系,显示条斑紫菜性状	常熟理工学院
苏通	高光胁迫筛选品系	江苏省海洋水产研究所
苏连	高光胁迫筛选品系	江苏省海洋水产研究所
Y-2011	条斑紫菜选育品系	江苏省海洋水产研究所
苏研	条斑紫菜诱变选育品系	常熟理工学院
Y-008	条斑紫菜选育品系	常熟理工学院
对照	条斑紫菜主产区良种栽培品系	江苏省海洋水产研究所

溶解,3 000 r/min 离心 5 min;取上清,定容至 50 mL,过滤备用;采用 Agilent HPLC 1200 型自动进样器对氨基酸标准品和样品进行 OPA-FMOC 自动在线衍生,样品经 OPA 一级衍生与 FMOC 二级衍生后上氨基酸专用 HPLC 色谱柱,根据 Agilent 氨基酸测定手册进行测定,面积归一法进行定量。标准品采用 9,90,900 pmol 3 个浓度。

1.3 数据分析

采用 Excel 与 SPSS 19.0 软件对相关数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 条斑紫菜游离氨基酸的组成

表 2 试样游离氨基酸(FAA)的含量

品系	时期	氨基酸含量(mg/g)																
		Ala	Arg <sup>△</sup>	Glu	Asp	Thr <sup>▲</sup>	His <sup>△</sup>	Cy2	Ser	Val <sup>▲</sup>	Pro	Gly	Try <sup>▲</sup>	Ile <sup>▲</sup>	Met <sup>▲</sup>	Phe <sup>▲</sup>	Leu <sup>▲</sup>	总含量
Y-H002	前期	14.92	13.77	8.85	4.17	6.16	4.31	1.70	0.59	0.50	0.38	0.31	0.44	0.29	0.26	0.03	0.21	56.87
	中期	17.89	19.76	8.92	5.24	2.66	2.92	1.27	0.35	0.40	0.37	0.26	0.26	0.05	0.10	0.08	0.01	60.54
	后期	14.25	17.80	5.98	4.72	7.01	4.91	1.54	0.37	0.50	0.27	0.37	0.42	0.26	0.27	0.07	0.12	58.86
苏通	前期	17.29	14.92	8.27	4.55	2.30	4.17	1.63	0.44	0.51	0.36	0.29	0.44	0.27	0.27	0.01	0.17	55.91
	中期	19.42	19.18	10.08	5.28	2.40	2.85	1.37	0.30	0.40	0.39	0.25	0.25	0.05	0.10	0.07	0.01	62.40
	后期	15.12	16.91	6.58	4.98	5.85	4.58	1.40	0.39	0.51	0.27	0.33	0.45	0.27	0.27	0.05	0.29	58.27
苏连	前期	15.34	14.68	9.27	4.73	2.96	4.11	1.54	0.57	0.44	0.36	0.30	0.45	0.26	0.26	0.02	0.20	55.50
	中期	16.06	16.87	11.03	5.28	4.44	4.35	1.34	0.37	0.43	0.32	0.25	0.45	0.34	0.26	0.00	0.27	62.05
	后期	14.44	17.78	6.03	4.50	6.39	4.99	1.68	0.37	0.52	0.28	0.39	0.45	0.28	0.27	0.03	0.29	58.70
Y-2011	前期	16.31	14.88	7.35	4.14	2.28	2.97	1.58	0.45	0.55	0.43	0.29	0.27	0.14	0.13	0.03	0.05	51.85
	中期	16.14	17.77	11.63	4.35	3.27	4.30	1.47	0.40	0.38	0.22	0.26	0.42	0.27	0.26	0.01	0.22	61.40
	后期	14.00	17.60	7.57	4.67	5.21	4.94	1.56	0.42	0.50	0.26	0.35	0.45	0.27	0.26	0.05	0.29	58.40
苏研	前期	15.57	15.63	8.71	4.43	4.17	4.02	1.24	0.57	0.45	0.33	0.31	0.46	0.28	0.27	0.00	0.21	56.63
	中期	17.10	14.54	11.20	5.19	5.21	4.33	1.74	0.36	0.35	0.33	0.26	0.44	0.23	0.25	0.04	0.27	61.85
	后期	13.93	16.89	6.35	4.90	6.09	4.84	1.50	0.38	0.48	0.31	0.33	0.43	0.25	0.26	0.03	0.29	57.26
Y-008	前期	16.15	15.26	6.40	4.13	2.48	2.47	1.50	0.62	0.52	0.40	0.30	0.28	0.11	0.10	0.06	0.05	50.83
	中期	17.16	17.62	9.78	4.11	4.21	4.26	1.47	0.34	0.44	0.22	0.28	0.43	0.27	0.27	0.01	0.22	61.08
	后期	12.98	14.80	5.78	4.70	7.89	4.80	1.47	0.43	0.50	0.23	0.45	0.45	0.28	0.26	0.04	0.29	55.35
对照	前期	17.19	16.41	7.74	4.18	2.35	2.75	1.52	0.35	0.51	0.55	0.28	0.27	0.09	0.12	0.05	0.03	54.39
	中期	17.61	14.80	6.97	3.59	1.99	4.27	1.70	0.34	0.67	0.33	0.34	0.49	0.27	0.26	0.04	0.02	53.69
	后期	11.40	15.12	4.63	4.90	5.88	1.79	1.52	0.59	0.44	0.28	0.95	0.45	0.37	0.27	0.01	0.12	48.71

注:▲为必需氨基酸,△为半必需氨基酸。

16 种游离氨基酸中,以 Ala、Arg、Glu 与 Asp 4 种呈味氨基酸含量较高,总含量在 36.05~53.96 mg/g 之间,占总游离氨基酸的 69.11%~86.47%,其中,Ala 占总游离氨基酸含量的 23.4%~32.79%,Arg 占 23.51%~32.65%,Glu 占 9.51%~18.94%,Asp 占 6.68%~10.05%。7 个品系 4 种呈味氨基酸总含量中,前期以对照最高,总含量为 45.51 mg/g,其次为苏通,总含量为 45.05 mg/g,Y-H002 最低,总含量为

检测 7 个条斑紫菜品系采收期前、中、后期共 21 个试样,均检出 16 种游离氨基酸,包括 Thr、Tyr、Val、Met、Phe、Ile 和 Leu 7 种必需氨基酸,His 和 Arg 2 种半必需氨基酸和 Ala、Asp、Glu、Ser、Gly、Cy2、Pro 7 种非必需氨基酸(图 1)。

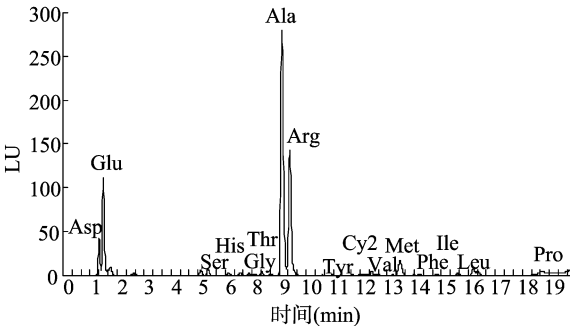


图1 苏通品系试样的离子色谱图

由表 2 可见,21 个试样中,游离氨基酸总含量在 48.71~62.05 mg/g 之间;前期的总游离氨基酸以 Y-H002 最高,含量为 56.87 mg/g,以 Y-008 最低,含量为 50.83 mg/g;中期以苏连最高,含量为 62.05 mg/g,以对照最低,含量为 53.69 mg/g;后期以 Y-H002 最高,含量为 58.86 mg/g,以对照最低,含量为 48.71 mg/g。采收前、中、后期游离氨基酸总含量的平均值,苏通最高,Y-H002 次之,对照最低。

41.70 mg/g;中期以苏通最高,总含量为 53.96 mg/g,其次为 Y-H002,总含量为 51.81 mg/g,对照最低,总含量为 42.97 mg/g;后期以苏通最高,总含量 43.60 mg/g,其次为 Y-2011,总含量为 43.84 mg/g,对照最低,总含量为 36.05 mg/g。由表 3 可见,16 种游离氨基酸中必需氨基酸含量丰富,包括 7 种必需氨基酸和 2 种半必需氨基酸,含量在 21.3~

表 3 呈味氨基酸、必需氨基酸和半必需氨基酸的含量与占比

品系	前期				中期				后期			
	A		B		A		B		A		B	
	含量 (mg/g)	占比 (%)	含量 (mg/g)	占比 (%)	含量 (mg/g)	占比 (%)	含量 (mg/g)	占比 (%)	含量 (mg/g)	占比 (%)	含量 (mg/g)	占比 (%)
Y-H002	41.70	73.32	25.96	45.65	51.81	85.59	26.25	43.36	42.75	72.62	31.36	53.27
苏通	45.04	80.55	23.07	41.26	53.96	86.47	25.31	40.55	43.60	74.82	29.20	50.10
苏连	44.02	79.32	23.39	42.14	49.24	79.35	27.40	44.16	42.74	72.81	31.02	52.83
Y-2011	42.68	82.32	21.30	41.08	49.89	81.26	26.92	43.85	43.84	75.06	29.58	50.65
苏研	44.33	78.28	25.48	44.99	48.04	77.67	25.66	41.49	42.07	73.46	29.57	51.63
Y-008	41.94	82.51	21.34	41.98	48.66	79.68	27.72	45.38	38.25	69.11	29.31	52.95
对照	45.51	83.67	22.58	41.52	42.97	80.03	22.81	42.49	36.05	74.00	24.44	50.18

注: A 代表呈味氨基酸; B 代表必需氨基酸和半必需氨基酸; 占比表示此类氨基酸占总游离氨基酸的质量分数。

31.36 mg/g 之间, 占总游离氨基酸的 40.55% ~ 53.27%; 后期的必需氨基酸含量均超过 50%, 且明显高于前期与中期。

2.2 条斑紫菜采收期呈味氨基酸含量的变化

由图 2 可见, 除对照品系外, 其他供试品系游离氨基酸总含量均在条斑紫菜的采收中期最高, 其次为采收后期, 采收前期最低。由图 3 可见, 4 种主要呈味氨基酸 Ala、Arg、Glu 与 Asp 的含量组成随采收期的变化各不相同, 7 个条斑紫菜品系中, Ala 含量均在采收中期达到最高, 采收后期最低; Arg 含量未表现出明显变化规律; 除对照外, Glu 与 Asp 含量均在采收中期达到最高; 但采收前期与后期的含量有差异, 除 Y-2011 外, 其余品系在采收前期的 Glu 含量比后期高, 而除

苏连外, 其余品系采收后期样品的 Asp 含量比前期高。

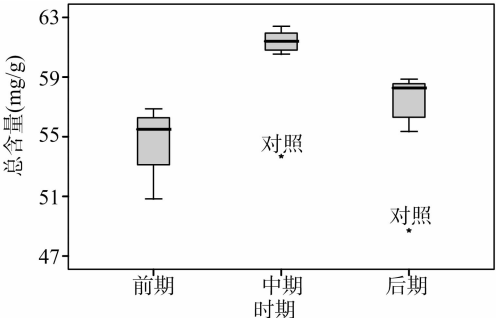


图2 游离氨基酸总含量随采收期的变化箱式图

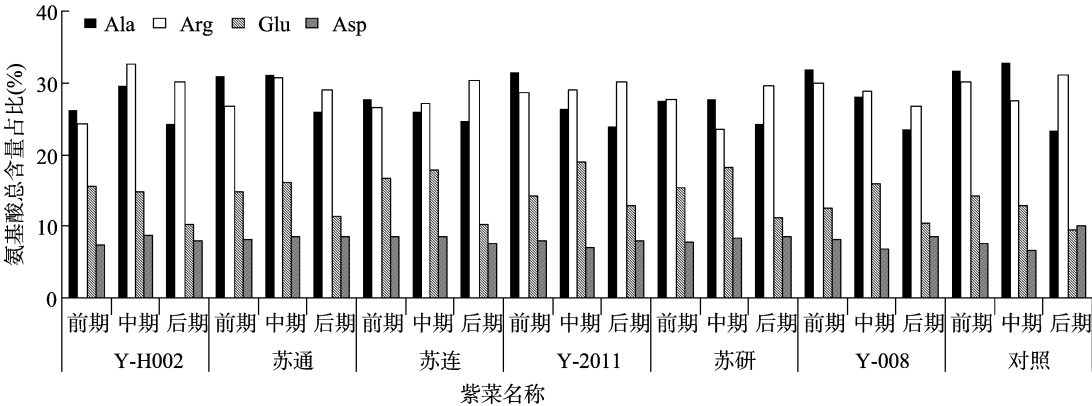


图3 主要呈味氨基酸的质量分数

3 结论与讨论

3.1 条斑紫菜游离氨基酸含量与组成特征

海区间水温、营养盐水平的差异会对条斑紫菜的生长产生不同的影响<sup>[14-15]</sup>, 再加上种质与采收期各不相同, 条斑紫菜游离氨基酸总量差异较大, 如日本报道紫菜中游离氨基酸总量在 25 ~ 50 mg/g 之间<sup>[15]</sup>, 而国内有报道在 20 ~ 50 mg/g 之间<sup>[17-18]</sup>。本试验 7 个品系的条斑紫菜试样均取自海门辐射沙洲同一个海区, 避免了因海区不同造成的游离氨基酸含量差异, 测得的游离氨基酸总量在 48.71 ~ 62.05 mg/g 之间, 与李瑞霞等的试验结论<sup>[17]</sup>差别较大, 可能与样品的处理方法有关。

Glu、Asp、Arg、Ala 是条斑紫菜重要的呈味氨基酸<sup>[17]</sup>, 其中, Ala 与 Glu 是影响紫菜风味的重要氨基酸<sup>[12,19]</sup>。试验结

果表明, 这 4 种氨基酸在条斑紫菜中含量最高, 总含量在 36.05 ~ 53.96 mg/g 之间, 占总游离氨基酸的 69.11% ~ 86.47%, 符合条斑紫菜强烈的口感特征。Yoshie 等对 8 种日本产条斑紫菜干制品中的游离氨基酸含量进行分析, 结果表明, Ala、Glu、Asp 含量分别在 3.08 ~ 16.02、3.22 ~ 18.44、0.66 ~ 2.82 mg/g 之间<sup>[20]</sup>。纪明侯等对青岛产条斑紫菜中游离氨基酸进行检测, 结果显示, 高肥区 Ala、Glu、Asp 含量分别在 7.3 ~ 30.2、2.9 ~ 9.3、0.5 ~ 2.7 mg/g<sup>[14]</sup>。本试验结果表明, 7 个品系中, Ala、Glu、Asp 含量分别在 11.40 ~ 19.42、4.63 ~ 11.63、3.59 ~ 5.28 mg/g 之间, Asp 含量明显高于 Yoshie 等和纪明侯等的测定结果, Ala 与 Glu 含量与 Yoshie 等和纪明侯等的测定结果相当, 最低值均高于 Yoshie 等和纪明侯等的测定结果最低水平。

游离氨基酸总含量在采收前期以 Y-H002 与苏研最高,

中期以苏通与苏连最高,后期以 Y-H002 与苏连最高;每个品系氨基酸总含量的平均值以苏通与 Y-H002 最高,对照品系最低。4 种主要呈味氨基酸含量,前期为对照品系与苏通最高,中期以苏通与 Y-H002 最高,后期以 Y-2011 与苏通最高。7 个条斑紫菜品系中,苏通在呈味氨基酸与总游离氨基酸含量组成水平上最高,其次为 Y-H002、苏研与苏连,对照品系最低。

### 3.2 游离氨基酸随采收期的变化特征

条斑紫菜的壳孢子采苗、单孢子放散和营养生长都与海区气温及水温有着密切关系,其采收期也随海区水温的差异有着明显的不同,不同条斑紫菜品系中的游离氨基酸含量组成变化也不一致。纪明侯等分析从 1—4 月采收的条斑紫菜认为,虽然部分游离氨基酸在采收期中段出现 1 个高峰后下降,但是游离氨基酸总体随采收期延迟呈下降趋势<sup>[14]</sup>。Sakai 等调查 11 月至翌年 1 月日本北海道产条斑紫菜中游离氨基酸含量认为,游离氨基酸随采收期延迟呈增长趋势,特别是 Asp、Ser、Glu 与 Ala<sup>[19]</sup>。Niwa 等分析 2 个条斑紫菜品系 HG-4 与 HG-5 采收次数对游离氨基酸的影响发现,Ala、Asp、Glu、Tau 4 种游离氨基酸中,只有 Glu 的含量随采收期延迟而降低<sup>[13]</sup>,本试验对照品系出现同样结论;其他 3 种氨基酸含量在 HG-4 纯系的第 3 次采收时达到最大,后出现下降,本试验从壳孢子采苗至采收前期,条斑紫菜在海中生长 70 多天,除对照外,其他 6 个品系中的 Ala、Asp、Glu、Arg 4 种主要呈味氨基酸含量从前期的 41.70~45.51 mg/g 上升到中期的 42.97~53.96 mg/g,后期下降到 36.05~43.84 mg/g,同样出现 1 个高峰后下降。

与呈味氨基酸含量相反,7 个条斑紫菜品系中必需氨基酸含量均随采收时间延迟呈现增长趋势,而必需氨基酸含量的多寡决定其营养的平衡程度与利用价值,呈味氨基酸与必需氨基酸含量的变化为条斑紫菜游离氨基酸评价提供了一个平衡点。

### 参考文献:

- [1] 曾呈奎,张德瑞. 紫菜的研究——Ⅲ. 紫菜的有性生殖[J]. 植物学报:英文版,1955,4(2):153-166.
- [2] 张学成,秦松,马家海,等. 海藻遗传学[M]. 北京:中国农业出版社,2005:184-317.
- [3] Kurogi M. Study of the life-history of *Porphyra* I. The germination and development of carpospores[J]. Bull Tohoku Reg Fish Lab, 1953,2:67-103.
- [4] Kurogi M. On the liberation of monospores from the filamentous thallus(conchocelis-stage) of *Porphyra tenera* Kjellm[J]. Bull Tohoku Reg Fish Lab,1953,2:104-108.
- [5] Miura A. A new variety and a new form of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) from Japan: *Porphyra tenera* Kjellman var. *tamatsuenensis* Miura, var. nov. and *P. yezoensis* Ueda form. *narawaensis* Miura, form. nov. [J]. Journal of the Tokyo University Fisheries, 1950, 71(1):1-37.
- [6] 张美如,陆勤勤,陈淑吟,等. 条斑紫菜品系评价方法的探讨[J]. 水产科技情报,2011,38(6):273-280,283.
- [7] 张涛,沈宗根,李家富,等. 紫菜不同品系贝壳丝状体叶绿素荧光特性比较[J]. 江苏农业科学,2012,40(11):238-242.
- [8] 李家富,张涛,陆勤勤,等. 坛紫菜叶状体营养细胞与生殖细胞叶绿素荧光特性比较[J]. 海洋科学,2013,37(3):82-86.
- [9] 姚春燕,张涛,姜红霞,等. 条斑紫菜不同品系藻体光合色素及叶绿素荧光参数比较[J]. 南京师大学报:自然科学版,2010,33(2):81-86.
- [10] 马飞,陆勤勤,胡传明,等. 多个条斑紫菜品系采收期内脂肪酸组成、含量的变化分析[J]. 水产学报,2013,37(10):1551-1557.
- [11] 胡传明,徐继林,朱建一,等. 紫菜特征挥发性物质分析[J]. 海洋科学,2011,35(5):106-111.
- [12] Noda H, Horiguchi Y, Araki S. Studies on the flavor substances of 'Nori', the dried laver *Porphyra* spp. - II. Free amino acids and 5'-nucleotides[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1975, 41(12):1299-1303.
- [13] Niwa K, Furuta H, Yamamoto T. Changes of growth characteristics and free amino acid content of cultivated *Porphyra yezoensis* Ueda (bangiales rhodophyta) blades with the progression of the number of harvests in a nori farm[J]. Journal of Applied Phycology, 2008, 20(5):687-693.
- [14] 纪明侯,蒲淑珠,牛仁庆. 不同海区生长的条斑紫菜的氨基酸含量变化[J]. 海洋与湖沼,1981,12(6):522-530.
- [15] 马家海,大住幸宽,川合正允. 浙江省象山港紫菜轮栽及其品质分析的研究[J]. 中国水产科学,1997,4(1):30-37.
- [16] 李信书,伏光辉,陈百尧,等. 氮、磷加富对条斑紫菜生长及生化组成的影响[J]. 水产科学,2012,31(9):544-548.
- [17] 李瑞霞,伊纪峰,沈颂东,等. 条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)游离氨基酸组成分析[J]. 氨基酸和生物资源,2011,33(1):4-9.
- [18] 胡传明. 紫菜产品品质及安全质量分析研究[D]. 南京:南京师范大学,2008:24-34.
- [19] Sakai H, Kasai T. Fatty acids, free amino acids and 5'-nucleotides of dried laver, Hoshi-nori, harvested in different months in Hokkaido and produced under different drying conditions[J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2000, 47(4):327-332.
- [20] Yoshie Y, Suzuki T, Shirai T, et al. Free amino acids and fatty acid composition in dried nori of various culture locations and prices[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1993, 59:1769-1775.