



坛紫菜优良品系的品质分析

卢玉典^{1,2}, 丁洪昌^{1,2}, 严兴洪^{1,2*}

(1. 上海海洋大学, 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 坛紫菜优良品系 (*HR-5*) 具有叶状体薄、味道好、生长快、壳孢子放散量大等优良特性, 为了将其培育成新品种, 本实验对海区栽培的该品系坛紫菜和传统栽培品系坛紫菜 (*WT-dt*) 的粗蛋白、总氨基酸、游离氨基酸等含量进行了测定。结果显示, ①一至三水菜中 *HR-5* 的粗蛋白含量为 45.2%~38.0%, *WT-dt* 为 39.5%~33.2%, 前者的含量均显著高于后者, 且随着采收期的增加, 它们的粗蛋白含量均逐渐下降。②2 个品系中 *HR-5* 的总氨基酸含量为 361.8~287.4 mg/g, *WT-dt* 为 321.8~264.8 mg/g, 前者的含量均高于后者, 同样随采收期的增加总氨基酸含量均逐渐下降。③*HR-5* 的游离氨基酸含量为 3 391.8~1 983.2 mg/100 g, *WT-dt* 为 2 930.2~2 046.7 mg/100 g, 一水和二水菜的游离氨基酸含量前者均显著高于后者。④前三水菜的主要呈味氨基酸含量显示, *HR-5* 均显著高于 *WT-dt*, 且随着采收期的增加含量均逐渐下降。研究表明, *HR-5* 品系的粗蛋白、总氨基酸、游离氨基酸和主要呈味氨基酸等含量等均比 *WT-dt* 品系高, 这是该新品系的味道明显优于 *WT-dt* 品系的原因所在。

关键词: 坛紫菜; 优良品系; 叶状体; 粗蛋白; 氨基酸

中图分类号: S 968.43

文献标志码: A

紫菜是一种具有较高经济价值的红藻。目前, 在我国被大规模人工栽培的紫菜有温水性的坛紫菜 (*Pyropia haitanensis*) 和偏冷水性的条斑紫菜 (*P. yezoensis*), 前者主要被栽培于长江以南的福建、浙江和广东, 后者被栽培于长江以北的江苏和山东^[1]。2017年, 我国的紫菜产业规模达 72 977 hm², 年产量 135 252 t, 均居世界首位^[2]。

紫菜藻体的厚薄制约着紫菜的加工方式。20世纪 80 年代中期, 坛紫菜产业与条斑紫菜同步引进了日本先进的紫菜全自动加工机器和技术。但坛紫菜藻体较厚, 被加工成的方形菜饼孔洞较多, 销售价格较低, 加工成本却大幅度增加, 迫使坛紫菜产业放弃全自动机器加工, 重新采用落后的手工或半自动加工方式, 以保证产品利润^[3]。

因此, 虽然坛紫菜的年产量约占我国紫菜总年产量的 78%, 但其总产值却与年产量只占 22% 左右的条斑紫菜相当^[2]。近十年来, 研究者已选育出数个具有薄叶片特征的坛紫菜新品系 (*HR-5*)^[4-6], 并于 2018 年在浙江省洞头县海区进行了 *HR-5* 品系的试栽培。结果发现, 该品系叶状体生长良好, 其厚度远低于坛紫菜传统栽培品系 (*WT-dt*), 具有被二次深加工成高附加值产品的潜力^[7]。

目前, 根据经加工成条斑紫菜方形菜饼的品质高低, 一般会被划分为一、二、三和四等级^[8]。影响菜饼品质高低的因素, 除了叶状体的厚薄外, 还有菜饼的颜色、光泽和鲜味等, 而这些特征主要是由叶状体中脂肪酸、蛋白质、氨基酸等含量决定^[9]。因此, 本研究拟对海区栽培的坛紫菜优

收稿日期: 2020-09-29 修回日期: 2020-12-28

资助项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项 (2018YFD0900606)

第一作者: 卢玉典 (照片), 从事海藻遗传育种研究, E-mail: 449285190@qq.com

通信作者: 严兴洪, 从事海藻遗传育种、生理生态和分子生物学研究, E-mail: xhyan@shou.edu.cn



良品系 (*HR-5*) 的粗蛋白、总氨基酸、游离氨基酸等含量进行测定, 旨在了解其品质与传统栽培品系 (*WT-dt*) 的差异, 为将其培育成新品种提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料来源

HR-5 品系为坛紫菜杂交重组品系^[6], *WT-dt* 品系为浙江洞头海区的坛紫菜传统栽培品系。2018年秋季, 待2个品系的壳孢子放散并附着于网帘后, 将它们置于洞头海区进行中栽培。于该年的10月27日、11月16日和11月30日分别采收它们的一水、二水和三水菜, 并将采收的坛紫菜带回实验室, 经洗净、阴干后, 于-20℃保存备用。

1.2 一般营养成分的测定

参照国标 (GB 5009.5—2016)^[10] 凯氏定氮法测定粗蛋白含量; 参照国标 (GB 5009.4—2016)^[11] 灼烧法测定灰分含量; 参照国标 (GB 5009.6—2016)^[12] 索氏抽提法测定粗脂肪含量; 碳水化合物含量由差减法^[13] 计算得。

1.3 总氨基酸含量的测定

参照国标 (GB 5009.124—2016)^[14] 盐酸水解法将样品水解后, 使用氨基酸自动分析仪 (SYKAM S433D) 测定总氨基酸含量。

1.4 游离氨基酸含量的测定

参照胡传明等^[15] 的方法提取样品中的游离氨基酸, 使用氨基酸自动分析仪 (SYKAM S433D) 测定游离氨基酸含量。

1.5 数据分析

实验数据以平均值±标准差 (mean ± SD) 表示, 用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 统计结果 $P < 0.05$ 时被认为存在显著差异。

2 结果

2.1 一般营养成分含量

随着采收期的增加, 2个品系一至三水菜的粗蛋白含量均逐渐下降, 其中 *HR-5* 分别为 45.2%、40.8% 和 38.0%, 分别比 *WT-dt* 增加 14.2%、17.4% 和 14.3%, 均具显著性差异 ($P < 0.05$); 粗脂肪含量结果显示, 2个品系均为 1.0%~1.5%, 其中 *HR-5* 呈逐渐升高的趋势, 而 *WT-dt* 呈先升后降的趋势, 在二水时达到最高值; 灰分含量结果显示, 2个品系均呈先升后降的趋势, 但 *HR-5* 均显著低于 *WT-dt* ($P < 0.05$); 碳水化合物含量结果显示, 2个品系前两水之间无显著性差异 ($P > 0.05$), 而三水呈显著性上升 ($P < 0.05$), 但各水菜中, *HR-5* 均显著低于 *WT-dt* ($P < 0.05$) (表 1)。

2.2 总氨基酸的含量

不同采收期的坛紫菜经盐酸水解后, 2个品系均检测出 16 种氨基酸, 其中包括 7 种必需氨基酸。随着采收期的增加, 2个品系的总氨基酸含量均呈逐渐下降的趋势, 其中 *HR-5* 分别为 361.8、335.5 和 287.4 mg/g, 分别比 *WT-dt* 增加 12.4%、12.1% 和 8.5%, 均具有显著性差异 ($P < 0.05$) (表 2)。此外, 随着采收期的增加, 2个品系的必需氨基酸含量也呈逐渐下降的趋势 (图 1), 其中 *HR-5* 分别为 129.2、115.1 和 101.9 mg/g, 分别比 *WT-dt* 增

表 1 不同采收期的坛紫菜 2 个品系鲜菜的主要营养成分含量 (干重)

品系 strains	采收期 harvest time	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	碳水化合物 carbohydrate
<i>HR-5</i>	一水 the first harvest	45.2±0.1 ^f	1.0±0.1 ^a	6.5±0.1 ^a	47.4±0.3 ^a
	二水 the second harvest	40.8±0.7 ^e	1.1±0.1 ^{ab}	10.4±0.0 ^e	47.7±0.8 ^a
	三水 the third harvest	38.0±0.3 ^e	1.1±0.2 ^{ab}	8.8±0.1 ^c	52.1±0.5 ^b
<i>WT-dt</i>	一水 the first harvest	39.5±0.7 ^d	1.1±0.1 ^{ab}	8.2±0.0 ^b	51.2±0.9 ^b
	二水 the second harvest	34.8±0.9 ^b	1.5±0.3 ^b	12.1±0.0 ^f	51.7±1.1 ^b
	三水 the third harvest	33.2±0.6 ^a	1.0±0.2 ^{ab}	10.0±0.0 ^d	55.7±0.8 ^c

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

表 2 不同采收期的坛紫菜 2 个品系鲜菜的总氨基酸含量 (干重)

Tab. 2 Content of total amino acids of fresh blades of the two strains of *P. haitanensis* in different harvest periods (DW) mg/g

氨基酸 amino acids	HR-5			WT-dt		
	一水 the first harvest	二水 the second harvest	三水 the third harvest	一水 the first harvest	二水 the second harvest	三水 the third harvest
天冬氨酸 Asp	37.8±1.4	36.5±1.5	30.4±0.4	33.0±0.5	30.9±1.0	28.5±1.5
*苏氨酸 Thr	20.2±0.8	19.1±1.0	16.5±0.9	18.3±0.1	16.9±0.2	15.5±0.5
丝氨酸 Ser	21.1±1.1	19.9±1.2	16.7±0.6	18.0±0.6	16.7±0.3	15.4±0.9
谷氨酸 Glu	39.6±0.5	40.9±0.8	34.0±0.6	40.2±1.3	34.2±1.4	32.0±1.0
脯氨酸 Pro	18.0±0.4	15.4±0.3	13.8±0.9	13.2±2.1	13.2±1.1	12.1±0.9
甘氨酸 Gly	24.2±0.6	23.3±0.5	18.9±0.4	21.6±1.7	19.8±1.5	19.0±0.3
丙氨酸 Ala	45.3±2.9	43.7±2.7	34.7±0.9	41.7±2.8	39.9±1.6	34.7±0.4
*缬氨酸 Val	24.4±0.5	21.4±0.6	19.2±1.2	19.7±0.7	19.1±0.3	16.6±1.0
*蛋氨酸 Met	6.1±0.2	5.1±0.3	4.4±0.9	6.1±0.6	5.1±0.6	4.4±0.6
*异亮氨酸 Ile	13.0±0.1	12.0±0.6	10.5±0.9	11.9±1.2	11.8±0.4	8.5±0.6
*亮氨酸 Leu	28.9±1.4	25.8±0.4	22.5±0.6	25.5±0.6	24.1±0.5	19.4±0.3
酪氨酸 Tyr	12.8±0.2	10.9±0.0	9.9±1.0	11.6±1.1	10.8±1.5	8.9±0.6
*苯丙氨酸 Phe	15.6±0.7	13.6±0.4	12.5±0.2	13.3±0.6	12.5±0.6	10.7±0.2
组氨酸 His	9.2±0.2	8.6±0.0	7.7±0.5	8.1±0.4	7.3±0.6	7.2±0.2
*赖氨酸 Lys	21.0±0.7	18.1±1.9	16.3±0.3	18.5±0.2	17.2±0.3	15.2±0.4
精氨酸 Arg	24.6±0.4	21.2±0.3	19.3±0.9	21.0±0.1	19.9±0.5	16.8±0.2
总计 total	361.8±3.1 ^f	335.5±2.5 ^e	287.4±6.3 ^b	321.8±7.4 ^d	299.4±3.1 ^c	264.8±2.5 ^a

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), *表示必需氨基酸

Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$), * indicates essential amino acids

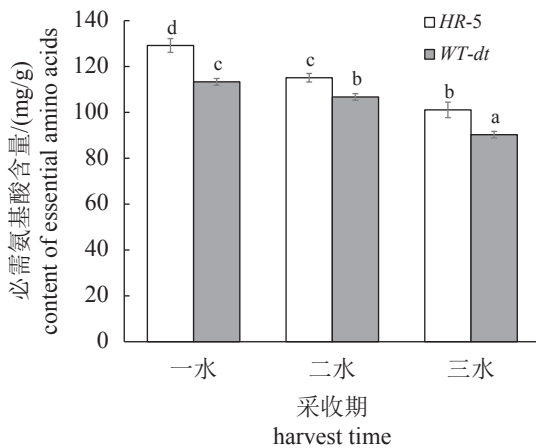


图 1 不同采收期的坛紫菜 2 个品系鲜菜的必需氨基酸含量 (干重, mg/g)

图中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); 下同

Fig. 1 Content of essential amino acids of fresh blades of the two strains of *P. haitanensis* in different harvest periods (DW, mg/g)

Different lowercase letters in the figure indicate significant difference ($P<0.05$); the same below

加 14%、7.9% 和 12.9%, 均具有显著性差异 ($P<0.05$)。

2.3 游离氨基酸的含量

不同采收期的菜经 75% 乙醇提取后, 2 个品系均检测出 15 种游离氨基酸, 包括 7 种呈味氨基酸, 其中天冬氨酸 (Asp)、谷氨酸 (Glu) 和丙氨酸 (Ala) 为主要呈味氨基酸。随着采收期的增加, 2 个品系的游离氨基酸含量均呈逐渐下降的趋势, 其中 HR-5 的一水和二水菜分别为 3 391.8 和 3 019.5 mg/100 g, 分别比 WT-dt 增加 15.8% 和 34.2%, 均具有显著性差异 ($P<0.05$), 而三水菜的游离氨基酸含量, HR-5 与 WT-dt 较为接近, 无显著性差异 ($P>0.05$) (表 3)。此外, 随着采收期的增加, 2 个品系的主要呈味氨基酸含量也呈逐渐下降的趋势 (图 2), 其中 HR-5 分别为 2 131.3、1 861.9 和 1 198.3 mg/100g, 分别比 WT-dt 增加 13.8%、37.0% 和 9.2%, 均具有显著性差异 ($P<0.05$)。

3 讨论

坛紫菜是一种高蛋白海藻, 其蛋白质含量通常占藻体干重的 25%~50%, 而蛋白质含量的高低也是衡量紫菜品质优劣的一项重要指标^[16-17]。在

表 3 不同采收期的坛紫菜 2 个品系鲜菜的游离氨基酸含量 (干重)

氨基酸 amino acids		HR-5			WT-dt		
		一水 the first harvest	二水 the second harvest	三水 the third harvest	一水 the first harvest	二水 the second harvest	三水 the third harvest
牛磺酸	Tau	858.1±5.3	882.3±5.2	505.4±7.6	681.1±9.7	665.5±12.4	581.8±9.0
*天冬氨酸	Asp	230.2±6.2	281.0±1.7	132.0±2.8	56.1±2.2	198.7±2.0	138.8±0.8
苏氨酸	Thr	69.3±1.2	66.7±1.1	64.5±1.4	78.6±2.4	72.4±2.3	72.5±0.3
丝氨酸	Ser	130.1±1.9	58.2±0.8	39.7±1.5	47.6±1.2	44.5±1.1	22.4±0.3
*谷氨酸	Glu	830.1±25.1	756.5±7.1	382.8±7.5	774.9±12.5	527.0±6.6	389.2±2.0
甘氨酸	Gly	15.5±2.0	12.8±0.8	19.2±0.7	29.3±1.6	7.7±0.2	16.5±2.3
*丙氨酸	Ala	1 071.0±1.9	823.4±5.3	683.5±15.8	1 041.7±18.3	632.8±16.8	569.1±14.9
缬氨酸	Val	35.8±0.4	20.8±0.3	23.3±0.5	27.2±0.4	15.5±0.5	49.3±0.9
异亮氨酸	Ile	9.3±0.5	11.1±1.8	10.8±1.2	21.8±1.1	8.2±1.0	19.6±3.1
亮氨酸	Leu	24.9±1.4	17.7±1.4	22.7±0.4	40.0±0.5	11.9±2.0	40.8±0.4
酪氨酸	Tyr	21.0±0.7	21.1±1.4	21.2±8.6	27.3±3.3	11.2±4.3	28.1±2.5
苯丙氨酸	Phe	7.0±0.4	17.7±0.7	16.2±3.9	30.3±0.3	12.3±4.3	29.4±0.8
组氨酸	His	27.7±2.1	29.3±1.0	40.1±4.0	34.3±2.3	27.6±1.3	38.2±2.4
赖氨酸	Lys	35.6±2.2	9.6±1.2	9.6±1.1	16.5±0.4	6.8±0.1	20.3±1.0
精氨酸	Arg	26.3±1.7	11.3±1.4	12.1±0.7	23.6±1.3	7.1±0.1	30.5±0.4
总计	total	3 391.8±32.2 ^e	3 019.5±18.2 ^d	1 983.2±33.0 ^b	2 930.2±38.6 ^c	2 249.37±51.0 ^b	2 046.7±3.5 ^a

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), *表示主要呈味氨基酸

Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$), * indicates mainly flavor amino acids

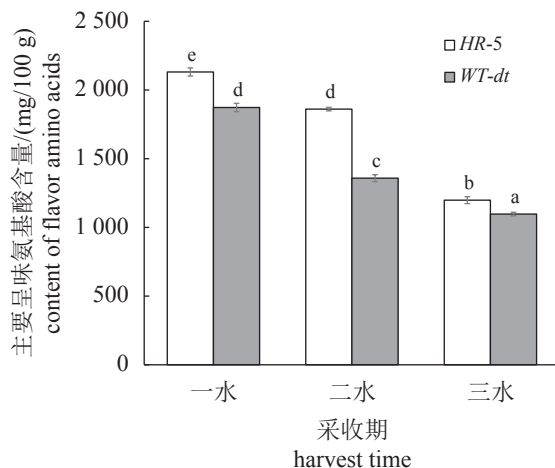


图 2 不同采收期的坛紫菜 2 个品系鲜菜的主要呈味氨基酸含量 (干重, mg/100 g)

Fig. 2 Content of mainly flavor amino acids of fresh blades of the two strains of *P. haitanensis* in different harvest periods (DW, mg/100 g)

本研究中, 一~三水菜的粗蛋白含量, HR-5 和 WT-dt 品系分别为 45.2%~38.0% 和 39.5%~33.2%, 均符合上述结论, 但不同采收期, HR-5 均显著高于 WT-dt, 表明 HR-5 具有更高的品质。因栽培区域、品系 (种) 和采收期等的不同, 紫菜的蛋白质含量

也会有所差异^[18]。在本研究中, 随着采收期的增加, HR-5 和 WT-dt 品系的粗蛋白含量也均呈逐渐下降的趋势, 结果与应苗苗等^[19]和 Jung 等^[20]的研究一致。有研究表明, 紫菜中蛋白质含量的高低与采收期间的关系, 与其细胞代谢速率有关^[21], 生长初期时, 紫菜细胞分裂速率快, 以蛋白质为中心的代谢旺盛, 即蛋白质含量高; 生长末期时, 紫菜细胞分裂速率下降, 碳水化合物的代谢旺盛, 则碳水化合物含量高, 藻体增厚。在本研究中, 随着采收期的增加, 2 个品系的碳水化合物含量呈逐渐上升的趋势, 但 HR-5 均显著低于 WT-dt, 这也是 HR-5 的叶状体厚度相对较薄的原因^[7]。

一般情况下, 紫菜的总氨基酸含量与采收期呈负相关, 在本研究中, 随着采收期的增加, HR-5 和 WT-dt 品系的总氨基酸含量均呈逐渐下降的趋势, 这与宣仕芬等^[22]和赵玲等^[23]研究不同采收期坛紫菜和条斑紫菜的氨基酸变化趋势一致。此外, 不同采收期的总氨基酸含量显示, HR-5 均显著高于 WT-dt, 且它们的变化趋势与其粗蛋白基本相同。紫菜中氨基酸的组成变化是蛋白质组分差异的体现, 因此也可作为评价紫菜品质的指标^[9]。根据 FAO/WHO 制定的蛋白质理想模式式

为,质量较好的蛋白质其必需氨基酸(EAA)含量应占总氨基酸(TAA)含量的40%左右^[24],本研究中2个品系的EAA/TAA比例与上述理想模式相近,说明它们的氨基酸组成均较好,可基本满足人体对氨基酸的需求。此外,必需氨基酸的含量也是影响食物蛋白质营养价值的重要因素^[18],本研究中,不同采收期的必需氨基酸含量显示,HR-5均显著高于WT-dt,表明HR-5具有更高的营养价值。

游离氨基酸(FAA)中的牛磺酸、天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸是坛紫菜中含量最高的游离氨基酸,后3种为主要呈味氨基酸,被认为对紫菜的风味有重要的贡献^[25-26]。本研究中,游离氨基酸和主要呈味氨基酸含量结果显示,HR-5和WT-dt品系均随着采收期的增加呈逐渐下降的趋势,表明2个品系均是一水菜的口感最优,随后便逐渐下降。曹荣等^[27]通过电子舌分析坛紫菜不同采收期的滋味情况,同样认为坛紫菜的鲜味强度随采收期的延长而减弱,此结果也与纪明候等^[28]和Niwa等^[29]对条斑紫菜的研究结果一致。不同采收期的主要呈味氨基酸含量结果显示,HR-5均显著高于WT-dt,表明HR-5的口感均要优于WT-dt。值得一提的是,一水菜的游离氨基酸和主要呈味氨基酸的含量显示,HR-5品系分别为3391.8和2131.3 mg/100 g,与已有研究的结果较为接近^[26,30]。

综上所述,HR-5品系的粗蛋白、总氨基酸、游离氨基酸和主要呈味氨基酸等含量均比WT-dt品系高,这是该新品系的味道明显优于WT-dt品系的原因所在,本研究为将HR-5品系培育成新品种提供了基础资料。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献(References):

- [1] 顾登辉,朱竹君,胡代福,等.坛紫菜叶状体的抗生素联合除菌效果[J].水产学报,2020,44(3):487-494.
Gu D H, Zhu Z J, Hu D F, et al. Antibacterial effect of antibiotics combination in *Porphyra haitanensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(3): 487-494 (in Chinese).
- [2] 费勤娇,丁洪昌,张鹏,等.基于转录组信息的坛紫菜EST-SSR标记的开发及新品系SW-81的种质鉴定[J].上海海洋大学学报,2021,30(3):464-474.
Fei Q J, Ding H C, Zhang P, et al. Development of EST-SSR marker based on transcriptome and the research of
- germplasm identification for the new strain (SW-81) of *Porphyra haitanensis*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(3):464-474(in Chinese).
- [3] 全汉锋,王兴春,詹照雅,等.坛紫菜全自动加工设备及工艺的改进[J].渔业科学进展,2012,33(1):122-128.
Quan H F, Wang X C, Zhan Z Y, et al. Studies on the improvement of full-automatic *Porphyra haitanensis* processing equipment and its technology optimization[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(1): 122-128 (in Chinese).
- [4] 陈昌生,梁艳,徐燕,等.坛紫菜薄叶新品系选育及经济性状的比较[J].渔业科学进展,2009,30(2):100-105.
Chen C S, Liang Y, Xu Y, et al. Selective breeding and comparison of economic traits of the new thin-thallus strain *Porphyra haitanensis*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(2): 100-105 (in Chinese).
- [5] 蒋悦,严兴洪,刘长军.坛紫菜优良品系的选育与特性分析[J].水产学报,2010,34(9):1363-1370.
Jiang Y, Yan X H, Liu C J. Selection and characterization of a fast growing strain of *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta)[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(9): 1363-1370 (in Chinese).
- [6] Ding H C, Lv F, Wu H X, et al. Selection and characterization of an improved strain produced by inter-species hybridization between *Pyropia* sp. from India and *Pyropia haitanensis* from China[J]. Aquaculture, 2018, 491: 177-183.
- [7] Ding H C, Wang T G, Zhang P, et al. High-temperature resistance of the thin-blade strain of *Pyropia haitanensis* and its pilot cultivation in mariculture farm[J]. Journal of Applied Phycology, 2020, 32(4): 2261-2270.
- [8] 马家海,张礼明,吉传礼,等.条斑紫菜冷藏网试验及其产品质量分析[J].水产学报,1998,22(S1):65-71.
Ma J H, Zhang L M, Ji C L, et al. On the refrigerated nets of *Porphyra yezoensis* and quality analysis of produce[J]. Journal of Fisheries of China, 1998, 22(S1): 65-71 (in Chinese).
- [9] 史修周.坛紫菜品质测定条件的优化及新品系品质分析[D].厦门:集美大学,2010.
Shi X Z. Optimization of key factors in the measurement of quality of *Porphyra haitanensis* and quality analysis of its new lines[D]. Xiamen: Jimei University, 2010 (in Chinese).
- [10] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of

- PRC, National Food and Medical Products Administration. GB 5009.5—2016 State criteria for food safety, determination of protein in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016 (in Chinese).
- [11] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.4—2016 State criteria for food safety, determination of ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016 (in Chinese).
- [12] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of PRC, National Food and Medical Products Administration. GB 5009.6—2016 State criteria for food safety, determination of fat in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016 (in Chinese).
- [13] 李红艳, 王颖, 刘天红, 等. 裙带菜孢子叶营养成分分析及品质评价[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(9): 1821-1826.
Li H Y, Wang Y, Liu T H, *et al.* Analysis and evaluation of nutrient composition in sporophyll of *Undaria pinnatifida*[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(9): 1821-1826 (in Chinese).
- [14] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.124—2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of PRC, National Food and Medical Products Administration. GB 5009.124—2016 State criteria for food safety, determination of amino acids in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016 (in Chinese).
- [15] 胡天明, 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.
Hu C M, Lu Q Q, Zhang M R, *et al.* Variation of composition and content of free amino acid in different strains of *Pyropia yezoensis* during harvest period[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(7): 334-337 (in Chinese).
- [16] Noda H. Health benefits and nutritional properties of nori[J]. *Journal of Applied Phycology*, 1993, 5(2): 255-258.
- [17] 纪德华, 谢潮添, 史修周, 等. 福建沿海野生坛紫菜主要品质性状分析[J]. *集美大学学报(自然科学版)*, 2011, 16(6): 401-406.
Ji D H, Xie C T, Shi X Z, *et al.* Analysis of the major quality traits in wild *Porphyra haitanensis* of Fujian coast[J]. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2011, 16(6): 401-406 (in Chinese).
- [18] Fleurence J. Seaweed proteins: Biochemical, nutritional aspects and potential uses[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 1999, 10(1): 25-28.
- [19] 应苗苗, 施文正, 潘峰. 紫菜不同收割期营养成分的分析[J]. *浙江农业科学*, 2009(6): 1227-1228.
Ying M M, Shi W Z, Pan F. Analysis of nutritional components of *Porphyra* harvested during different periods[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2009(6): 1227-1228 (in Chinese).
- [20] Jung S M, Kang S G, Son J S, *et al.* Temporal and spatial variations in the proximate composition, amino acid, and mineral content of *Pyropia yezoensis*[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2016, 28(6): 3459-3467.
- [21] 张全斌, 赵婷婷, 蔡慧敏, 等. 紫菜的营养价值研究概况[J]. *科学视野*, 2005, 29(2): 69-72.
Zhang Q B, Zhao T T, Qi H M, *et al.* Review of the nutritional properties of nori[J]. *Science Scope*, 2005, 29(2): 69-72 (in Chinese).
- [22] 宣仕芬, 朱煜康, 孙楠, 等. 不同采收期坛紫菜感官品质及蛋白组成分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(14): 291-296.
Xuan S F, Zhu Y K, Sun N, *et al.* Sensory quality and protein composition analysis of *Porphyra haitanensis* in different harvest periods[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(14): 291-296 (in Chinese).
- [23] 赵玲, 曹荣, 王联珠, 等. 靖海湾条斑紫菜的营养及鲜味评价[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(6): 134-140.
Zhao L, Cao R, Wang L Z, *et al.* Nutritional analysis and umami assessment of *Pyropia yezoensis* from Jing Bay[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(6): 134-140 (in Chinese).
- [24] 陈伟洲, 蔡少佳, 刘婕, 等. 养殖海藻皱紫菜和脆江蓠的主要营养成分分析[J]. *营养学报*, 2013, 35(6): 613-615.
Chen W Z, Cai S J, Liu J, *et al.* Analysis and evaluation of the nutritional components of bred *Porphyra crispata* and *Gracilaria chouae*[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2013, 35(6): 613-615 (in Chinese).
- [25] Qu F F, Zhu X J, Ai Z Y, *et al.* Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea[J]. *LWT*, 2019, 99: 112-118.
- [26] Niwa K, Furuita 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.
- [27] 曹荣, 刘楠, 王联珠, 等. 不同采收期坛紫菜的风味比较[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(5): 811-817.
Cao R, Liu N, Wang L Z, et al. Flavor analysis of *Porphyra haitanensis* harvested during different periods[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(5): 811-817 (in Chinese).
- [28] 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.
Ji M H, Pu S Z, Niu Z Q. Variation in contents of different states of amino acids in *Porphyra yezoensis* Ueda cultured in different regions[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1981, 12(6): 522-530 (in Chinese).
- [29] Niwa K, Kikuchi N, Aruga Y. Morphological and molecular analysis of the endangered species *Porphyra tenera* (Bangiales, Rhodophyta)[J]. *Journal of Phycology*, 2005, 41(2): 294-304.
- [30] 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.
Li R X, Yi J F, Shen S D, et al. Analysis of free amino acid composition in *Porphyra yezoensis*[J]. *Amino Acids and Biotic Resources*, 2011, 33(1): 4-9 (in Chinese).

Quality analysis of an improved strain of *Pyropia haitanensis*

LU Yudian^{1,2}, DING Hongchang^{1,2}, YAN Xinghong^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The improved strain (*HR-5*) of *Pyropia haitanensis* was characterized by thin blade, good taste, fast growing and high production of conchospores. In order to develop it into a new variety, the contents of crude protein, total amino acid and free amino acid of *HR-5* strain and the native cultivated strain (*WT-dt*) of *P. haitanensis* cultivated in mariculture farm were determined in this study. The results showed that, ① The contents of crude protein from the first three harvests' blades were 45.2%-38.0% in *HR-5* strain, and were 39.5%-33.2% in *WT-dt* strain, the former was significantly higher than the latter in three harvest periods ($P<0.05$), and with the increase of harvesting time, the contents of crude protein from both strains decreased gradually. ② The contents of total amino acids were 361.8-287.4 mg/g in *HR-5* strain, and were 321.8-264.8 mg/g in *WT-dt* strain, the former was significantly higher than the latter in three harvest periods ($P<0.05$), and with the increase of harvesting time, the contents of total amino acids and essential amino acids from both strains decreased gradually. ③ The contents of free amino acids were 3 391.8-1 983.2 mg/100 g in *HR-5* strain, and were 2 930.2-2 046.7 mg/100 g in *WT-dt* strain. The contents of free amino acids of *HR-5* strain in the first and second harvest periods were significantly higher than those of *WT-dt* strain ($P<0.05$). ④ The contents of mainly flavor amino acids of *HR-5* strain were significantly higher than those of *WT-dt* strain in three harvest periods ($P<0.05$), and with the increase of harvesting time, the contents of free amino acids and flavor amino acids from both strains decreased gradually. The above results confirmed that the contents of crude protein, total amino acid, free amino acid and mainly flavor amino acid of *HR-5* strain were higher than those of *WT-dt* strain, and that's the reason why the taste of the former were better than that of the latter. This study also provided basic data for developing *HR-5* strain into a new variety of *P. haitanensis*.

Key words: *Pyropia haitanensis*; improved strain; blade; crude protein; amino acids

Corresponding author: YAN Xinghong. E-mail: xhyan@shou.edu.cn

Funding projects: National Key Research and Development Program of China (2018YFD0900606)