

文章编号: 1004-7271(2009)01-0053-06

# 长心卡帕藻 2 个养殖品系的营养成分分析

赵素芬<sup>1,2</sup>, 张宝弟<sup>1</sup>, 陈 坚<sup>1</sup>, 何培民<sup>1</sup>

(1 上海海洋大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 201306;

2 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025)

**摘 要:**采用凯氏自动定氮仪法、索氏抽提法和氨基酸自动分析仪等方法对三亚和陵水养殖的长心卡帕藻 *Kappaphycus alvarezii* 的蛋白质、氨基酸、脂肪、脂肪酸、矿物质和色素等营养成分进行了分析。结果表明碳水化合物是长心卡帕藻 2 个养殖品系的主要成分, 三亚和陵水品系的碳水化合物含量分别为 67.17% 和 66.40%; 蛋白质和脂肪含量低, 其中蛋白质含量分别为 6.16% 和 3.09%, 脂肪含量分别为 0.48% 和 0.40%; 三亚和陵水品系藻体内粗蛋白中氨基酸量分别为 95.7% 和 90.4%, 其中的必需氨基酸分别占氨基酸总量的 40.86% 和 38.72%; 不饱和脂肪酸占总脂肪酸的质量分数分别为 67.2% 和 66.6%; 矿物质特别是钙和钾元素含量丰富; 三亚品系藻体中的色素水平明显比陵水品系高, 陵水长心卡帕藻体中的卡拉胶含量是三亚长心卡帕藻的 1.76 倍。

**关键词:**长心卡帕藻; 养殖品系; 营养成分; 分析

**中图分类号:** S 968.4      **文献标识码:** A

## Nutrient components analysis for two cultivars of *Kappaphycus alvarezii*

ZHAO Su-fen<sup>1,2</sup>, ZHANG Bao-di<sup>1</sup>, CHEN Jian<sup>1</sup>, HE Pei-min<sup>1</sup>

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

2. Fisheries College Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

**Abstract:** The protein, amino acid, lipid, fatty acid, mineral elements and pigments components etc in two cultivars of *Kappaphycus alvarezii* were analyzed by Kjeldahl Automatic Nitrogen Analyzer, Soxhlet and amino acid analyzer methods. The results showed that the main component substance in SANYA and LINGSHUI cultivars of *K. alvarezii* was carbohydrate which were as high as 67.17% and 66.40%, respectively. Their crude protein contents and lipid contents were all lower. The crude protein contents of SANYA and LINGSHUI cultivars were respectively 6.16% and 3.09%, and the crude lipid contents of them were 0.48% and 0.40%, respectively. The amino acids contents of the crude protein of SANYA and LINGSHUI cultivar were all higher than 90%, which were 95.7% and 90.4%, respectively. The essential amino acids contents of total amino acids in SANYA and LINGSHUI cultivars of *K. alvarezii* were respectively 40.86% and 38.72%. Their unsaturated fatty acids of total fatty acids were respectively 67.2% and 66.6%, and especially the

收稿日期: 2008-04-21

基金项目: 上海浦江人才计划项目 (05PJ14086); 上海市教委优势 (重点) 学科资助项目 (Y1101)

作者简介: 赵素芬 (1970-), 女, 河北栾城人, 副教授, 博士研究生, 主要从事海藻生理生态方面的研究。E-mail: sufzha@126.com

通讯作者: 何培民, E-mail: pmhe@shou.edu.cn

contents of C16:1n7, C17:1 and C18:3n4 in them were all more than 10%. The mineral elements contents were very rich in both, especially the element Ca and K. The pigment contents in SANYA cultivar were obviously higher than those in LINGSHUI cultivar of *K. alvarezii*. The carrageen content in LINGSHUI cultivar was 1.76 times higher than that in SANYA cultivar of *K. alvarezii*.

**Key words:** *Kappaphycus alvarezii* cultivars; nutrient component analysis

卡帕藻 (*Kappaphycus*)属于红藻门、真红藻纲、杉藻目、红翎菜科,是产κ卡拉胶的热带海藻,主要盛产于东南亚、中美洲、加勒比海和南太平洋<sup>[1]</sup>。卡拉胶是一种硫酸酯化半乳聚糖,可以作为优良的增稠剂、胶凝剂、悬浮剂和稳定剂等,广泛应用于食品工业、日用化工、医药、纺织、造纸、印刷等方面<sup>[2]</sup>。为了发展我国卡拉胶产业,中国科学院海洋研究所吴超元研究员等于1985年从菲律宾引进长心卡帕藻在我国海南岛栽培<sup>[3-4]</sup>。麒麟菜不仅是提取卡拉胶的绝好原材料,而且还能通过光合作用,有效地吸收海水中的营养,降低沿海地区海水富营养化的程度<sup>[5-6]</sup>。在不同海区 and 不同季节,海藻的组成成分会有差异<sup>[7]</sup>;有关麒麟菜的组成成分及其食用营养价值和保健作用,国内也曾有过报道<sup>[8-11]</sup>,但是关于我国在海南省三亚和陵水普遍养殖的长心卡帕藻营养成分的研究未见报道,本文比较全面地测定了我国海南省三亚和陵水2个养殖品系(以下分别简称S和L)长心卡帕藻的营养成分,以期为卡帕藻的质量评估和食品加工提供基础资料,为进一步开发和利用长心卡帕藻资源奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

长心卡帕藻 (*Kappaphycus alvarezii*)于2007年4月分别采自海南省三亚市内村和陵水县新村海区养殖绳上。采集后有些于实验室水族缸中暂养,暂养条件:水温23~25℃,盐度28~32,光照强度20~40 μmol/(m<sup>2</sup>·s),一周后供测定色素成分;有些用海水多次冲洗,除净泥砂和其他附着杂物,并用淡水冲洗去表面盐分,曝晒,或55℃烘干,用粉碎机打磨成粉状,并过80目筛,最后置于密实袋中封装保存于干燥器中,供测定其他成分。

### 1.2 分析方法

水分的测定采用常压干燥法,方法参见文献[12]。

灰分的测定参见文献[12]。

粗纤维的测定采用重量法<sup>[13]</sup>。将样品先后加强酸、强碱和蒸馏水,分别煮沸,以除去其中的强酸溶性、强碱溶性及水溶性溶解物,将残余物在110℃下烘干至恒重,再减去其中灰分重量,即为粗纤维量。

蛋白质的测定采用凯氏自动定氮仪法<sup>[12]</sup>。在凯氏烧瓶中,将固体样品与消解液混匀,安装入预热的消化器(420℃),消化2h待消化液冷却后,用KJELTEC2300型定氮仪测定。

氨基酸的测定采用盐酸水解法<sup>[12]</sup>。样品用6mol/L HCl于110℃烘箱中水解24h,然后旋转蒸发去除盐酸,样品过滤、定容,由日立L-8800型高速氨基酸分析仪测定。

粗脂肪的测定采用索氏抽提法,方法参见文献[12]。

脂肪酸的测定采用气相色谱法<sup>[12]</sup>。将抽提的粗脂肪于烧杯中加入苯-石油醚溶液(1:1)1.5 mL和1.5 mL的0.5 mol/L NaOH-甲醇溶液,甲脂化处理后用Hp6890A的气相色谱分析仪测定。气相毛细管分析柱:OMEGAWA×320,30 m×0.32 mm×25 μm,载气:N<sub>2</sub>,柱内压:60 kPa,采用程序升温法:60℃开始,保持2 min以20℃/min的速率升至150℃,再以40℃/min的速率升至280℃,保留3 min,检测器为氢火焰离子检测器,分流比为1:1,注入氢气速率30 mL/min,注入空气速率:30 mL/min,注入氮气速率20 mL/min,样品取5 μL。

无机元素的测定采用火焰原子吸收分光光度法<sup>[12]</sup>。将灰化样品用HCl(1+1)溶解,去离子水定容。配制各种金属元素的标准溶液,用TAS-990型原子吸收分光光度计测定K、Na、Zn元素;用滴定法

测定 Ca、Mg元素。

总碳水化合物测定采用减差法,方法参见文献 [14]。

叶绿素 a的测定参见文献 [15]。藻胆素的测定参见文献 [16]。

卡拉胶的测定参见文献 [17—18]。

## 2 结果与讨论

### 2.1 主要营养成分

S和L长心卡帕藻的蛋白质、脂肪、灰分和碳水化合物的分析结果见表1。结果显示,二者的蛋白质含量都较低,但前者的蛋白质含量是后者的1.99倍,而均低于海带、龙须菜和孔石莼的蛋白质含量。S和L的碳水化合物含量分别为67.17%和66.40%,比较接近,均高于其他三种海藻的含量。后者比前者的灰分含量高,说明后者比前者的矿物质含量丰富。

表1 S和L长心卡帕藻的主要营养成分含量  
Tab. 1 Main nutrients component contents in two cultivars of *K. alvarezii* %

海藻	水分	粗蛋白	粗脂肪	碳水化合物 其他多糖	粗纤维	灰分
S长心卡帕藻 <i>K. alvarezii</i> (S)	9.26	6.16	0.48	61.14	6.03	16.93
L长心卡帕藻 <i>K. alvarezii</i> (L)	9.94	3.09	0.40	61.58	4.82	20.17
海带 <sup>[19]</sup> <i>Laminaria japonica</i>	3.1	8.7	0.2	25.1	7.2	20
龙须菜 <sup>[20]</sup> <i>Gracilaria lemaneiformis</i>	—	24.64	1.55	58.60	9.65	5.76
孔石莼 <sup>[21]</sup> <i>Ulva pertusa</i>	—	17.4	0.14	42.0	3.8	31.4

范晓等<sup>[8]</sup>报道西沙群岛的异枝麒麟菜的粗蛋白含量为2.88%,戚勃等<sup>[9]</sup>报道海南麒麟菜的粗蛋白含量为2.23%,均低于L长心卡帕藻的,更低于S长心卡帕藻的。海南麒麟菜的碳水化合物含量达76.99%,其中粗纤维为12.58%<sup>[9]</sup>,李来好等<sup>[10]</sup>报道琼海的异枝麒麟菜膳食纤维含量高达73.12%,均高于S和L长心卡帕藻的。说明长心卡帕藻的营养成分因生长的地区不同而有所差异。

### 2.2 氨基酸的含量及其构成比例

S和L长心卡帕藻体内各种氨基酸的含量及其所占的百分比的分析结果见表2。

表2 S和L长心卡帕藻的氨基酸含量及构成比例  
Tab. 2 Amino acid contents and proportion in two cultivars of *K. alvarezii*

氨基酸	S长心卡帕藻体中 氨基酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	S长心卡帕藻体中 氨基酸比例 (%)	L长心卡帕藻体中 氨基酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	L长心卡帕藻体中 氨基酸比例 (%)
赖氨酸 Lys*	3.030	5.03	1.375	4.8
苏氨酸 Thr*	3.251	5.39	1.595	5.56
缬氨酸 Val*	4.460	7.40	1.993	6.95
亮氨酸 Leu*	5.963	9.89	2.531	8.82
异亮氨酸 Ile*	3.094	5.13	1.250	4.36
苯丙氨酸 Phe*	3.226	5.35	1.325	4.62
蛋氨酸 Met*	854	1.42	0.482	1.68
组氨酸 His*	200	0.33	267	0.93
谷氨酸 Glu	7.354	12.20	4.382	15.28
天冬氨酸 Asp	6.867	11.39	2.995	10.44
丙氨酸 Ala	4.577	7.59	1.934	6.75
甘氨酸 Gly	3.739	6.20	1.534	5.35
丝氨酸 Ser	3.222	5.34	1.576	5.50
胱氨酸 Cys	1.285	2.13	1.335	4.65
酪氨酸 Tyr	1.715	2.84	923	3.22
脯氨酸 Pro	2.466	4.09	962	3.35
精氨酸 Arg	3.629	6.02	1.480	5.16
氨基酸总量	58.932	100	27.939	100

注: \*表示必需氨基酸

由表 2 可见, S 和 L 长心卡帕藻体中各氨基酸的构成比基本相似, 所有氨基酸中组氨酸含量最低, 其次是蛋氨酸, 二者的含量占总氨基酸量的比例均低于 3%; 含量最高的是谷氨酸, 其次为天冬氨酸, 二者的含量占总氨基酸量的比例均高于 10%, 该结果与戚勃等<sup>[9]</sup>和陶平等<sup>[22]</sup>报道的一致。在氨基酸构成方面, S 和 L 长心卡帕藻体中必需氨基酸和非必需氨基酸的比值分别为 1:1.45 和 1:1.67, 均是非必需氨基酸所占比例相对高, 但是 S 的必需氨基酸含量相对略高于 L 的, 分别占氨基酸总量的 40.86% 和 38.72%, 戚勃等<sup>[9]</sup>报道海南麒麟菜中必需氨基酸占氨基酸总量的 44.03%, 均高于这两个品系长心卡帕藻的。除了胱氨酸和组氨酸的含量略高外, L 长心卡帕藻体内的其他氨基酸含量均低于 S 长心卡帕藻的, 但前者的组氨酸、胱氨酸和谷氨酸所占的百分比明显比后者的高。结合两类藻体的粗蛋白含量, 则 S 和 L 长心卡帕藻体粗蛋白中氨基酸量分别占 95.7% 和 90.4%。

### 2.3 脂肪酸的组成及其含量

S 和 L 长心卡帕藻体内的脂肪酸组成及其含量见表 3。

表 3 S 和 L 长心卡帕藻的脂肪酸组成和含量  
Tab. 3 Fatty acid (FA) composition and content in two cultivars of *K. alvarezii* %

脂肪酸	S 长心卡帕藻	L 长心卡帕藻
C14: 0	2.27	2.28
C14: 1n7	0.15	—
C15: 0	0.49	0.56
C16: 0	18.16	20.37
C16: 1n5	0.12	0.16
C16: 1n9	12.65	16.68
C17: 1	16.41	12.88
C18: 0	1.74	2.37
C18: 1n9	0.11	0.16
C18: 3n4	11.35	12.20
C18: 3n3	1.42	1.21
C18: 4n3	1.51	1.67
C20: 1n9	1.95	0.39
C20: 1n7	1.79	3.17
C20: 3n6	0.25	1.76
C20: 4n6	0.77	0.63
C22: 2n6	1.15	0.06
C22: 6n3	0.29	0.26
总脂肪酸含量	74.32	76.81

从表 3 可见, S 和 L 长心卡帕藻均含有丰富的不饱和脂肪酸, 这和国外学者研究海藻中的脂肪酸的结果相同<sup>[23-27]</sup>。S 和 L 长心卡帕藻体中饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸之比分别为 0.489 和 0.499, 不饱和脂肪酸占总脂肪酸的百分比分别为 67.2% 和 66.6%, 相差不大, 但是前者的 C17: 1 比后者的高 27%, C20: 1n9 比后者的高 4 倍, C22: 2n6 是后者的 19 倍; L 长心卡帕藻的 C16: 1n9、C20: 1n7 和 C20: 3n6 分别是 S 长心卡帕藻的 1.32、1.77 和 7 倍。

S 和 L 长心卡帕藻体中的饱和脂肪酸以 C16: 0 含量最高 (与戚勃等<sup>[9]</sup>的研究结果相同), 分别占总脂肪酸含量的 24.4% 和 26.5%, 占总饱和脂肪酸的 74.4% 和 79.6%, 其次为 C14: 0, 这和 Heiba 等<sup>[23, 26]</sup>的研究结果相同。不饱和脂肪酸中以 C16: 1n9、C17: 1 和 C18: 3n4 含量高, 均超过 10%。

### 2.4 矿物质的含量

S 和 L 长心卡帕藻体中对人体有重要生理功能作用的几种矿物质及微量元素含量见表 4。

表 4 S和 L长心卡帕藻的矿物元素含量

Tab 4 Mineral element contents in two cultivars of *K. alvarezii*

海藻	Na	Ca	K	Zn	Mg
S长心卡帕藻 <i>K. alvarezii</i> (S)	1.16	1.02	7.60	0.0029	0.34
L长心卡帕藻 <i>K. alvarezii</i> (L)	1.26	1.47	11.30	0.0048	0.40
海带 <sup>[8]</sup> <i>Laminaria japonica</i>	3.54	1.139	9.08	0.0024	1.218
坛紫菜 <sup>[8]</sup> <i>Porphyra haitanensis</i>	5.55	0.615	2.18	0.0078	1.368
孔石莼 <sup>[8]</sup> <i>Ulva pertusa</i>	3.58	0.697	2.79	0.0030	4.378

从表 4可以看出, S和 L长心卡帕藻体中的 Ca、K、Zn等矿物元素都较高,后者体中的这五种元素的含量都比前者的高,这和藻体中所含灰分量是成正相关的,说明 L比 S长心卡帕藻体内的矿物质含量高。和其他海藻相比,二者体中的钠、镁含量相对偏低,而钾和钙含量相对偏高,这是和各种海藻生活的环境有关。绿藻类体中叶绿素含量高,镁离子参与形成叶绿素分子,而红褐藻中叶绿素类色素含量偏低,相应其镁元素含量也低; S和 L长心卡帕藻的天然生长基质是珊瑚礁,这和其藻体内钙含量高相关。

## 2.5 色素含量

藻体中的色素含量不仅影响藻体的色泽,而且直接与光合作用强度相关,藻体通过光合作用合成蛋白质和糖类等有机物,从而影响体内其他营养成分含量。S和 L长心卡帕藻体内的叶绿素 a和藻胆蛋白的含量见表 5。由表 5可以看出, S长心卡帕藻体内的叶绿素 a、藻红蛋白和藻蓝蛋白的含量都比 L长心卡帕藻的高,其中前者的叶绿素 a和藻红蛋白含量均为后者的近 5倍或 5倍以上,藻蓝蛋白是后者的 16倍。叶绿素 a和藻胆素是红藻和蓝藻等藻类进行光合作用的主要色素,因此说明 S长心卡帕藻比 L长心卡帕藻的光合作用旺盛,能够积累更多的有机物质,长速更快。

表 5 S和 L长心卡帕藻的色素含量

Tab 5 Pigment contents in two cultivars of *K. alvarezii*

海藻	叶绿素 a	藻红蛋白	藻蓝蛋白
S长心卡帕藻 <i>K. alvarezii</i> (S)	1.11	3.96	0.48
L长心卡帕藻 <i>K. alvarezii</i> (L)	0.23	0.63	0.03

## 2.6 卡拉胶的含量

研究测得 S和 L长心卡帕藻体内卡拉胶的含量分别为 21.09%和 37.24%, S长心卡帕藻体内的卡拉胶含量比 L长心卡帕藻体内的低 76.6%。

我国琼海卡拉胶厂进口麒麟菜和收购的国内养殖长心卡帕藻原料的产胶率分别为 17%~24%和 8%~9%,国外品种和国内养殖的 S长心卡帕藻的卡拉胶得率相近,但低于 L长心卡帕藻的,这可能是地区和品系差异;而国内养殖的产胶率比本研究中 S和 L长心卡帕藻的产胶率低得多,这很大原因是厂家大量收购的国内产藻体原料含沙量高,水分大。

长心卡帕藻是我国从国外引种的重要的经济红藻,是生产卡拉胶的重要原料。至少在 25年内,卡拉胶的需求量将以每年 5%的速度递增<sup>[28]</sup>。海藻体中组成成分的含量与海藻种类、海藻的生长季节、海藻生长的环境有关<sup>[6, 28-30]</sup>,所以要提高长心卡帕藻的利用价值,不仅要扩大其栽培面积,而且要优化其栽培条件,原料处理条件,化学加工条件,才能使之有效地在食品工业、美容保健等方面得以应用。

## 3 结论

S和 L长心卡帕藻是高碳水化合物、低蛋白和低脂肪的海藻。S和 L的碳水化合物含量分别为 67.17%和 66.40%,粗蛋白含量分别为 6.16%和 3.09%,其中必需氨基酸含量均高达 90%以上。S的粗蛋白及其中必需氨基酸含量均高于 L的; S和 L的粗脂肪含量分别为 0.48%和 0.40%,都含有丰富

的不饱和脂肪酸,分别为 67.2%和 66.6%;矿物质含量丰富,特别是富含钙和钾元素,二者的钙含量分别为 1.02%和 1.47%,钾含量分别为 7.60%和 11.30%。S体中的色素水平明显比 L的高。L体中的卡拉胶含量是 S的 1.76倍。

## 参考文献:

- [1] Ask E I Azanza R V. Advances in cultivation technology of commercial eucheumatoid species: a review with suggestions for future research [J]. *Aquaculture* 2002, 206: 257—277.
- [2] 刘芳,赵谋明,徐建祥,等.不同原料卡拉胶的物性比较研究[J].*华南理工大学学报(自然科学版)*, 2001, 29(5): 59—63.
- [3] 吴超元,李家俊,夏恩湛,等.异枝麒麟菜的移植和人工栽培[J].*海洋与湖沼*, 1988, 19(5): 410—418.
- [4] 夏邦美,张峻甫.中国海藻志第二卷,第五册.[M].北京:科学出版社,1999: 115—132.
- [5] 杨宇峰,费修硬.大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望[J].*青岛海洋大学学报*, 2003, 33(1): 053—057.
- [6] 徐姗姗,何培民.我国赤潮频发现象分析与海藻栽培生物修复作用[J].*水产学报*, 2006, 30(3): 1—6.
- [7] Abdel-fattah A F, Abed N M, Edrees M. Influence of seasonal changes on the constituents of the red seaweed *Laurencia papillosa* [J]. *Qual Plant Mater Veg XXII* 1973, 2: 171—179.
- [8] 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.
- [9] 戚勃,李来好,章超桦.麒麟菜的营养成分分析及评价[J].*现代食品科技*, 2005, 21(1): 110, 115—117.
- [10] 李来好,杨贤庆,陈培基,等.三种海藻类膳食纤维的提取及功能比较[J].*营养学报*, 2001, 23(2): 184—186.
- [11] 李刘冬,李来好,陈培基,等.麒麟菜风味食品加工技术的研究[J].*食品科学*, 2002, 23: 53—56.
- [12] 黄伟坤.食品检验与分析[M].北京:轻工业出版社,1989: 8—138.
- [13] 吴平等,周礼聪,唐木铨,等.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,1983: 131.
- [14] 戴志远,洪泳平,张燕平,等.羊栖菜的营养成分分析及评价[J].*水产学报*, 2002, 26(4): 382—384.
- [15] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006: 74—76.
- [16] Aguirre von W obeser E, Figureoa F L, Cabello-Pasini A. Photosynthesis and growth of red and green morphotypes of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) from the Philippines [J]. *Marine Biology* 2001, 138: 679—686.
- [17] 纪明候.海藻化学[M].北京:科学出版社,1997: 120—121.
- [18] 许加超.氢氧化钾预处理提高卡拉胶产率的工艺研究[J].*海洋科学*, 1996, 7—9.
- [19] 赵明军.食用海藻营养学评价[J].*水产科学*, 1990, 9(1): 21.
- [20] 赵谋明,刘通讯,吴晖,等.江蓠藻的营养学评价[J].*营养学报*, 1997, 19(1): 64—70.
- [21] 陶平,贺伟伟.大连沿海3种大型速生海藻的营养组成分析[J].*中国水产科学*, 2001, 7(4): 60—63.
- [22] 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.
- [23] Heiba H I. Fatty acid composition of eleven algae from coastal zones of Qatar [J]. *Plant Foods for Human Nutrition* 1989, 39: 401—405.
- [24] Radwan S S. Sources of C<sub>20</sub> polyunsaturated fatty acids for biotechnological use [J]. *Appl Microbiol Biotechnol* 1991, 35: 421—430.
- [25] Akin M, Dogberik, Sanb A, et al. Fatty acid and sterol composition of eight brown algae from the Senegalese coast [J]. *Comp Biochem Physiol* 1992, 102B(4): 841—843.
- [26] Heiba H, Al Feasa H S, Rizk A M. Fatty acid composition of twelve algae from the coastal zones of Qatar [J]. *Plant Foods for Human Nutrition* 1997, 51: 27—34.
- [27] Colombo M L, Ris P E, Giavarini F, et al. Marine macroalgae as sources of polyunsaturated fatty acids [J]. *Plant Foods for Human Nutrition* 2006, 61: 67—72.
- [28] Bixler H J. Recent developments in manufacturing and marketing carrageenan [J]. *Hydrobiologia* 1996, 326/327: 35—57.
- [29] Li R, Li J J, Wu C Y. Effect of ammonium on growth and carrageenan content in *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales Rhodophyceae) [J]. *Hydrobiologia* 1990, 204/205: 499—503.
- [30] Zertuche-Gonzalez J A, Pacheco-Ruiz I, Soria-Mercado I E. Carrageenan yield and properties of *Eucheuma uncinatum* (Setch & Gardner) Dawson cultured under natural conditions [J]. *Hydrobiologia* 1993, 260/261: 601—605.