

羊栖菜在热烫处理过程中的色泽变化

马正然, 姜启兴, 许艳顺, 于沛沛, 夏文水*

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 以褐藻羊栖菜为原料, 通过色素含量测定及光谱扫描, 分析研究了热烫处理对其色泽的影响。结果表明: 新鲜羊栖菜经 98 °C 热烫后, 产生了较大的 Hue 值, 颜色由褐色变为鲜绿色; 随着热烫时间的延长, Hue 值逐渐减小, a^* 值逐渐增加, 绿色逐渐失去。羊栖菜中叶绿素和总类胡萝卜素含量在热烫过程中显著性下降, 300 s 后由最初的 0.72、0.20 mg/g 分别降至 0.29、0.09 mg/g。热烫处理后, 羊栖菜吸收光谱中叶绿素 a、c 在红光区的吸收峰位置发生了明显的移动, 吸光值也显著降低; 热处理 60 s 后, 叶绿素 a、c 在 432 nm 和 582 nm 处产生的吸收峰均消失。岩藻黄质在 534 nm 附近产生最大吸收峰, 但吸光值随热烫时间的变化不明显。

关键词: 羊栖菜; 热烫; 颜色; 色素; 吸收光谱

中图分类号: TS 254 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2016)010—1106—07

Research on the Color Changes of *Sargassum fusiforme* During Blanching Treatment

MA Zhengran, JIANG Qixing, XU Yanshun, YU Peipei, XIA Wenshui*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In this paper, effect of blanching treatment on the color of *Sargassum fusiforme* was studied by the combined analysis of pigment contents and absorption spectra. Results showed that a higher value of Hue was observed and the color changed from brown to bright green after fresh *S. fusiforme* was blanched in water at 98 °C. A significant decrease in Hue value and an increase in a^* value were found with the increasing blanching time, indicating a loss of greenness. Chlorophyll and carotenoids in *S. fusiforme* were degraded significantly during the blanching, and the contents of them decreased from 0.72, 0.20 mg/g fresh weight to 0.29, 0.09 mg/g after 300 s, respectively. Blanching treatment led to a shift of the red absorption maximum of chlorophyll a and c, and the absorbance decreased gradually with the treatment time. The absorption peak of chlorophyll a and c at 432 nm and 582 nm disappeared after blanched for 60 s. Fucoxanthin showed a maximum absorption at 534 nm. However, the absorbance was not significant difference with the change of blanching treatment time.

Keywords: *Sargassum fusiforme*, blanching, color, pigment, absorption spectra

收稿日期: 2015-03-11

基金项目: 江苏省前瞻性研究项目(BE2013336)。

* 通信作者: 夏文水(1958—), 男, 江苏高淳人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事食品加工研究。E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn

羊栖菜(*Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell) 属于褐藻门马尾藻科,俗称海大麦、鹿角尖等,在日本、韩国及中国的沿海均有分布,是一种重要的经济海藻。研究表明,羊栖菜含有丰富的蛋白质、褐藻多糖和岩藻黄质等生物活性物质,具有很高的营养价值,以及调节免疫、抗肿瘤、降血脂及抗氧化等功能保健价值^[1-3]。

目前,羊栖菜在我国已有大规模人工养殖,据了解,2013年浙江洞头县的羊栖菜养殖面积已达8 000亩,产品产量和加工出口占全国95%以上^[4]。随着开发利用海藻资源热潮的兴起,国内外学者和食品加工企业对羊栖菜的研究和利用产生了极大的兴趣。目前,已有较多文献对羊栖菜中生物活性物质的提取、功能保健特性、新产品开发及工艺优化等方面进行了探讨与研究报道^[2-3,5-7]。

传统的羊栖菜产品主要为干制品、软包装罐头产品等,在加工和贮藏过程中往往出现颜色褐变等问题,影响感官品质,降低消费者购买欲。热烫处理是羊栖菜深加工过程中的关键步骤之一,目的是降低酶活,减少微生物作用,改善品质等。目前已有较多学者研究了热处理对果蔬色泽等品质特征的影响^[8-9]。然而,几乎未见涉及热加工处理对羊栖菜色泽影响的研究报道。作为典型的褐藻类植物之一,羊栖菜与高等植物相比,在生长环境、光合系统、色素组成等方面存在较大的差异。当对羊栖菜进行热烫处理时,藻体颜色由深褐色迅速变成鲜绿色,随后又逐渐变为褐色,这个独特的颜色变化过程也引起了关注。因此,通过提取羊栖菜细胞中的色素,并测定其含量及吸收光谱的变化,用以分析热烫处理对色泽变化的影响,了解相关的作用机制,对保持羊栖菜产品加工色泽品质具有重要指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

羊栖菜,由浙江金海蕴生物有限公司提供。选择嫩度适中、色泽均匀、无腐烂、无病虫害的新鲜藻体,用自来水洗去表面的附生物、杂质等,沥干后备用。

丙酮、无水乙醇等试剂,均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

T10-Basic型 IKA 高速分散机,德国 IKA 公司制造;UltraScan Pro1166 色差仪,美国 Hunterlab 公

司制造;4 K 15 型冷冻离心机,美国 Sigma 公司制造;UV1000 型紫外/可见分光光度计,上海天美科学仪器有限公司制造。

1.3 热烫处理

将等量的羊栖菜样品在 98 ℃热水中分别漂烫 15、30、60、120、180、300 s,水与藻体的用量比为 40:1 (mL/g)。热烫后将藻体迅速取出,放入冷水中冷却 5 min,用吸水纸吸干表面水,装入自封袋中,避光保存于冰上,待分析。该热烫处理实验重复两次,分析结果取其平均值。

1.4 色差测定

采用色差仪测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。每个时间处理测定 2 个样品,每个样品至少重复测定 4 次,取平均值。Hue(色相角)通过以下方法计算^[10]:

$$H = \arctan(b^*/a^*) \quad (1)$$

式(1)中, a^* 、 b^* 分别表示测试样品的红绿值和黄蓝值。

1.5 色素的提取

根据 Parsons 等^[11]的方法,精确称取 1.0 g 羊栖菜样品,加入 10 mL -18 ℃预冷的体积分数 90% 丙酮溶液,用 IKA 高速分散机破碎提取 3 min,匀浆于 4 ℃、8 000 r/min 离心 10 min,收集上清液于 50 mL 的容量瓶中,残渣继续提取 2~3 次直至无色,定容至刻度。该色素提取液用于羊栖菜中色素含量的测定以及吸收光谱的分析。

1.6 叶绿素与总类胡萝卜素含量的测定

以体积分数 90% 丙酮溶液为参比,用紫外/可见分光光度计测定提取液在波长 664、630、510、480 nm 处的吸光值,分别减去 750 nm 处的吸光值,以校正微粒浊度空白的吸光值。用 Hunphrey 和 Jeffrey 公式^[12]计算提取液中叶绿素 a、c 的质量浓度,用 Parsons 公式^[12]计算总类胡萝卜素的质量浓度:

$$\rho_a (\mu\text{g/mL}) = 11.47E_{664} - 0.4E_{630} \quad (2)$$

$$\rho_c (\mu\text{g/mL}) = 24.36E_{630} - 3.73E_{664} \quad (3)$$

$$\rho (\mu\text{g/mL}) = \rho_a + \rho_c \quad (4)$$

$$\rho_z (\mu\text{g/mL}) = 7.6(E_{480} - 1.49E_{510}) \quad (5)$$

式(2)(3)(4)(5)中, E 表示在不同波长处色素提取液的吸光值(已用 750 nm 处的吸光值校正)。

若计算羊栖菜中色素的含量,则采用公式:

$$w (\text{mg/g}) = cv/1\ 000m \quad (6)$$

$$r = (w_c/w_x) \times 100\% \quad (7)$$

式(6)(7)中, c 表示提取液中叶绿素或总类胡萝卜素的质量浓度 ($\mu\text{g/mL}$), v 表示丙酮提取液的体积 (mL), m 表示羊栖菜样品的鲜质量 (g)。

1.7 光谱扫描分析

采用紫外/可见分光光度计测定色素提取液的吸收光谱, 以体积分数 90% 丙酮溶液为空白对照。波长范围为 300~800 nm, 扫描间隔为 1 nm, 扫描速度为 200 nm/min。

1.8 数据分析

数据统计采用 SPSS18.0 软件, 进行 ANOVA 单因素方差分析及 Duncan's 多重比较, 检验结果的差异显著性 ($p < 0.05$); 数据采用平均值 $\pm$ 标准偏差 (Mean $\pm$ SD) 来表示。

2 结果与讨论

2.1 热烫处理对羊栖菜色泽变化的影响

表 1 显示了羊栖菜色泽随热烫时间的变化, 可以看出, 在热烫过程中, 藻体颜色发生了明显的改变。Hue 值是与传统的感知颜色相关的一个特性。Hue 值越大, 样品越偏向绿色; Hue 值越小, 样品越偏向橙红色^[10]。羊栖菜在热烫过程中的 Hue 值变化如图 1 所示。在热烫初期, 时间小于 60 s 时, 羊栖菜 a^* 值明显小于新鲜样品, 且具有较大的 Hue 值, 表明样品呈现明显的绿色。然而, 随着热烫时间的延长, a^* 值逐渐增大, Hue 值也有明显的降低, 说明羊栖菜的绿色逐渐失去。类似地, Lau 等^[9]在对芦笋进行热烫处理时, 也发现了绿色先变亮, 随后变为橄榄褐色的现象。

表 1 羊栖菜色泽随热烫时间的变化

Table 1 Color determination of *Sargassum fusiforme* after blanched for different times

热烫时间/s	L^*	a^*	b^*
0	18.55 $\pm$ 1.53 ^a	3.62 $\pm$ 0.18 ^d	15.14 $\pm$ 2.02 ^a
15	24.44 $\pm$ 2.47 ^b	-1.35 $\pm$ 0.66 ^a	23.82 $\pm$ 3.13 ^b
30	24.07 $\pm$ 3.55 ^b	-0.35 $\pm$ 0.72 ^b	22.66 $\pm$ 3.96 ^b
60	25.15 $\pm$ 0.72 ^b	0.94 $\pm$ 0.29 ^c	24.53 $\pm$ 1.09 ^b
120	24.11 $\pm$ 2.03 ^b	3.52 $\pm$ 0.77 ^d	24.47 $\pm$ 2.12 ^b
180	24.09 $\pm$ 2.38 ^b	4.68 $\pm$ 0.38 ^e	24.68 $\pm$ 2.03 ^b
300	23.99 $\pm$ 0.55 ^b	5.78 $\pm$ 0.21 ^f	25.73 $\pm$ 0.98 ^b

注: 同一列中不同字母表示数值之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

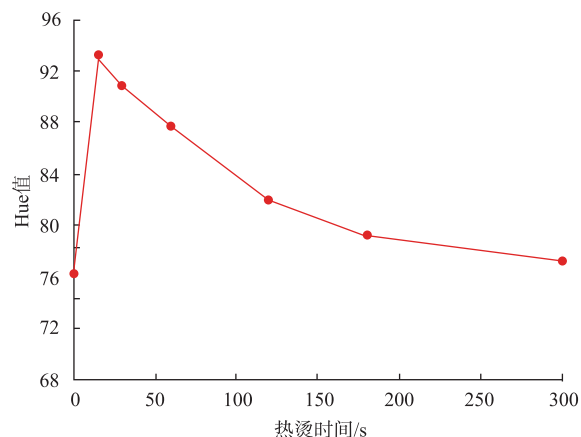


图 1 热烫时间对羊栖菜 Hue 值的影响

Fig. 1 Effects of blanching times on the values of Hue of *Sargassum fusiforme*

2.2 热烫处理对羊栖菜色素含量变化的影响

羊栖菜中的色素大致分为两类, 主要是叶绿素类和类胡萝卜素类。在热处理过程中, 色素含量的变化是引起羊栖菜色泽变化的主要因素之一。图 2、图 3 分别显示了羊栖菜经不同时间热烫处理后叶绿素和总类胡萝卜素含量的变化情况。可以看出, 新鲜羊栖菜中叶绿素和总类胡萝卜素含量分别是 0.72、0.20 mg/g。这与 Seely 等^[13]报道的马尾藻科海黍子中叶绿素和总类胡萝卜素的含量 0.71、0.31 g/kg 接近。Kumar 等^[15]也曾报道, 褐藻中叶绿素含量为 0.56~2.01 mg/g, 总类胡萝卜素含量为 0.05~0.42 mg/g。

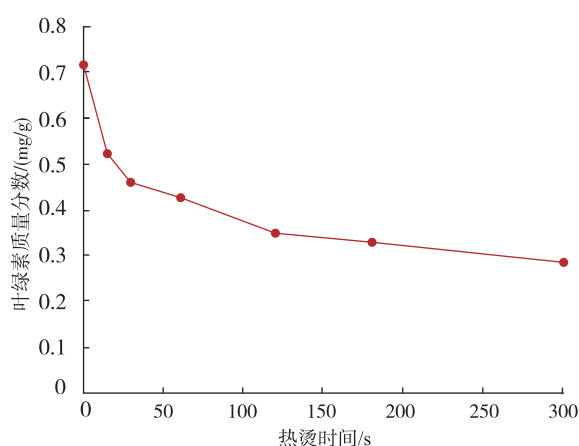


图 2 热烫时间对羊栖菜中叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effects of blanching times on the content of chlorophyll in *Sargassum fusiforme*

从图 2 可见, 经热烫处理后, 羊栖菜中的叶绿素含量显著性下降, 且在热烫初期, 叶绿素降解速率较快, 60 s 后保留率降至 59.8%。细胞破裂和叶绿

素的损失是绿色植物在热处理过程中最明显的损伤^[15]。Derek 等^[16]曾报道,当热处理温度高于 60 ℃ 时,叶绿体发生解体,叶绿素被释放,这也许是导致羊栖菜在热烫初期呈现明显绿色的主要原因。然而,游离的叶绿素很不稳定,容易受到热、酸、酶等的影响^[17]。随着热烫时间的延长,植物组织中渗出的有机酸,加速了叶绿素分子中的 Mg^{2+} 被 H^+ 取代,生成褐色的脱镁叶绿素^[18],从而使羊栖菜逐渐失去了绿色。如图 2 所示,热烫 300 s 之后,羊栖菜中叶绿素含量为 0.29 mg/g,保留率仅为 40.3%。Murcia 等^[9]曾报道,由热处理所引起的叶绿素损失率在 12%~66% 之间,损失量主要受样品的种类、处理的温度和时间等的影响。

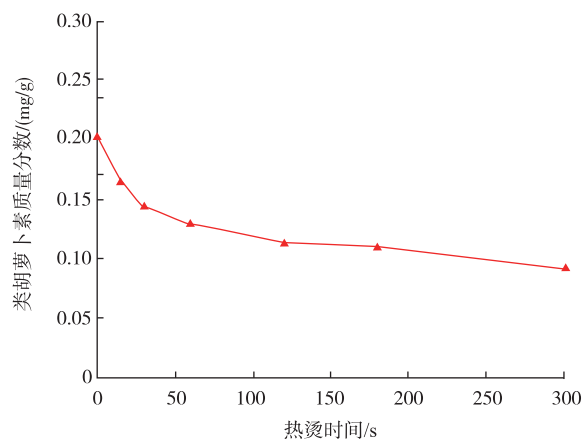


图 3 热烫时间对羊栖菜中类胡萝卜素含量的影响

Fig. 3 Effects of blanching times on the content of carotenoid in *Sargassum fusiforme*

由图 3 可知,在热烫处理过程中,羊栖菜中总类胡萝卜素含量也呈现逐渐下降的趋势,300 s 之后,含量降至 0.09 mg/g。热处理条件、样品种类、化学组成、生长环境和季节等不同,类胡萝卜素在食品中的含量与热稳定性也存在差异。Bhaskarachary 等^[19]分别研究了不同热烫时间对苋菜和菠菜中总类胡萝卜素含量的影响,并指出随着热处理时间的延长,总类胡萝卜素保留率显著性下降。类胡萝卜素中共轭碳碳双键的长链很容易受到光、氧、热、酸等的影响而发生氧化和异构化^[20]。因此,当羊栖菜暴露于热烫环境中,各种因素促使了其中类胡萝卜素的降解,从而使其颜色发生了明显变化。

2.3 热烫处理对羊栖菜色素吸收光谱的影响

藻体细胞经热处理后,其色素组成及比率发生了变化,与色素相结合的蛋白质的结构与构象被改

变,从而引起了吸收光谱的变化^[21]。图 4 为热烫时间对羊栖菜中色素吸收光谱的影响,可以看出,随着热烫时间的延长,羊栖菜中色素的吸收光谱形状发生了明显的变化。表 2 显示了不同热烫处理后羊栖菜吸收光谱中最大吸收峰及吸收值的变化。根据 Hyun-Woung 和纪明侯等^[22-23]的报道,叶绿素 a 由于卟啉环结构的存在,在 663 nm 和 432 nm 处产生比较明显的吸收峰,619 nm 和 582 nm 附近的吸收峰则为叶绿素 c 所产生。

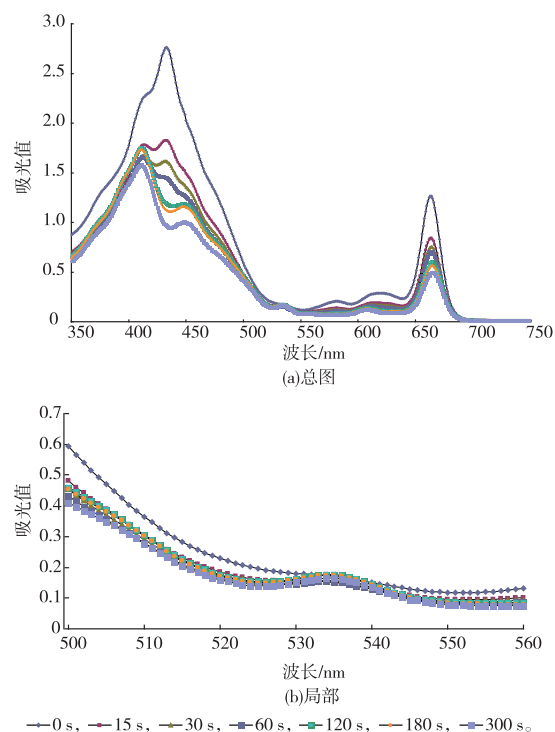


图 4 羊栖菜色素吸收光谱随热烫时间的变化

Fig. 4 Changes in absorption spectra of pigments in *Sargassum fusiforme* after blanched for different times

图 4 和表 2 显示,热烫处理后羊栖菜中叶绿素 a 在红光区的吸收峰位置由 663 nm 移至 664 nm,120 s 又移至 665 nm,且吸光值由 1.26 逐渐下降至 0.50。此外,叶绿素 a 在索瑞带 432 nm 处的吸光值随热烫时间的延长也逐渐减小,60 s 之后该吸收峰消失,表明叶绿素 a 的结构发生了改变。据报道,植物体中的叶绿素是与脂蛋白质结合在一起的,脂蛋白质可以保护叶绿素免受植物组织内有机酸的作用,但当受热时,细胞组织及色素-蛋白质复合体结构受到破坏,叶绿素即被释放出来,在细胞中扩散^[24]。另外,与新鲜羊栖菜相比,热烫处理后的羊栖菜在

表 2 羊栖菜色素吸收光谱中最大吸收峰及吸光值的变化

Table 2 Changes in the maximum absorption peaks and absorbances of pigments in *Sargassum fusiforme*

热烫时间/s	最大吸收峰的波长/吸光值(λ/A)						
0	663/1.27	619/0.29	582/0.21	—	—	432/2.76	—
15	664/0.84	615/0.19	581/0.14	533/0.16	—	432/1.83	413/1.78
30	664/0.75	612/0.17	582/0.12	533/0.15	—	432/1.62	413/1.67
60	664/0.71	612/0.16	581/0.11	534/0.15	—	—	412/1.66
120	665/0.60	609/0.14	—	534/0.18	448/1.19	—	411/1.75
180	665/0.56	608/0.13	—	534/0.17	449/1.16	—	411/1.71
300	665/0.50	608/0.12	—	534/0.16	449/1.00	—	411/1.58

413 nm 附近产生了较强的吸收峰。

Moss 等^[25]曾报道,在体积分数 90%丙酮溶液中,叶绿素 a 在 430 nm 附近有吸收峰,然而当其转化为脱镁叶绿素 a 时,吸收峰逐渐移至 410 nm 附近,且 430 nm 与 410 nm 处吸光值的比例 ($A_{430}:A_{410}$)与叶绿素 a 的降解有一定的关系。因此,根据 $A_{430}:A_{410}$ 判断样品中叶绿素 a 与脱镁叶绿素 a 的比例,如图 5 所示, $A_{430}:A_{410}$ 比值随着热烫时间的增加而逐渐下降,当时间超过 120 s 时,变化趋于平缓。这说明随着热烫时间的延长,羊栖菜中叶绿素 a 逐渐发生降解,转化为脱镁叶绿素 a,这也正是热烫后期羊栖菜颜色由绿色变为褐色的主要原因。

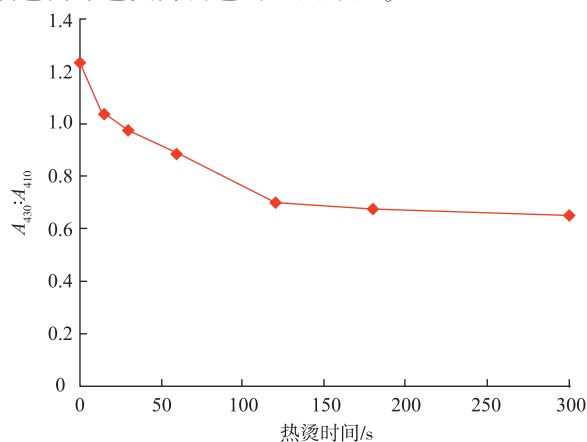


图 5 热烫时间对羊栖菜色素吸收光谱中 $A_{430}:A_{410}$ 比值的影响

Fig. 5 Effects of blanching times on the 430:410 ration of absorption spectrum of pigments in *Sargassum fusiforme*

同样地,热烫处理后羊栖菜叶绿素 c 在红光区的吸收峰由 619 nm 逐渐移至 608 nm 处,吸光值由 0.29 降至 0.12;当热烫时间超过 60 s 时,叶绿素 c 在 582 nm 处的吸收峰消失,这些变化均表明叶绿素 c 在热烫过程中因结构改变而发生了降解。

另外,当热烫时间达到 120 s 时,羊栖菜色素的吸收光谱在 448 nm 处出现了一个比较明显的肩峰,这主要是由 β -胡萝卜素与其他少量类胡萝卜素所产生的。在新鲜羊栖菜中,叶绿素 c 对类胡萝卜素的吸收峰产生干扰,然而随着热烫时间的延长,叶绿素 c 迅速减少,干扰作用大大降低,使该波长处类胡萝卜素的吸收峰逐渐清晰。然而 448 nm 处吸光值随热烫时间的延长而逐渐下降,也说明类胡萝卜素含量不断减少。

羊栖菜中的类胡萝卜素种类主要有岩藻黄质、 β -胡萝卜素和少量的新岩藻黄质、硅甲藻黄素、硅藻黄素^[23,26]。在 500~560 nm,羊栖菜色素提取液在 534 nm 处有吸收峰,这主要是岩藻黄质的吸收^[21]。图 4(b)显示,与新鲜羊栖菜相比,热烫后的羊栖菜中岩藻黄质的吸光值略有下降,但随热烫时间的变化并不明显,这与 Margulies 等^[21]报道的热处理后的三角褐指藻细胞在 530 nm 波长处吸光值的变化是一致的。岩藻黄质是褐藻中的特征性类胡萝卜素,其含量是 β -胡萝卜素的数倍之多,且该色素在有机体内的吸光值远高于其在有机溶剂中的吸光值,所以藻体呈现褐色而不是绿色^[23,27]。褐藻中岩藻黄质主要以色素-蛋白质复合体的形式存在,参与光系统起辅助色素的作用。然而,当蛋白质因为高温(70 °C 以上)或暴露于某些化学物质(如尿素等有机溶剂)中而发生变性之后,色素-蛋白质复合体之间的化学键被破坏,岩藻黄质在 550~560 nm 的吸光值减少^[27]。因而,新鲜羊栖菜藻体呈现褐色,热烫后其颜色迅速由褐色变为绿色。

3 结 语

新鲜羊栖菜经热烫后,色泽发生了明显的改变,98 °C 热烫 60 s 以内,羊栖菜呈现明显的绿色,这

可能主要是藻体中色素-蛋白质复合体受热发生解体所引起;随着热烫时间的延长,羊栖菜的绿色逐渐失去,这与叶绿素发生脱镁化反应生成褐色的脱镁叶绿素,以及类胡萝卜素中共轭碳碳双键的长链发生氧化与异构化有很大的关系。新鲜羊栖菜中叶绿素和类胡萝卜素含量分别是 0.72、0.20 mg/g,热烫处理使两种色素含量均下降,300 s 后分别为

0.29、0.09 mg/g。热烫处理后,羊栖菜吸收光谱中叶绿素 a、c 在红光区的吸收峰位置发生了明显的移动,吸光值也显著降低;60 s 后,两者在 432 nm 和 582 nm 处产生的吸收峰均消失,表明叶绿素结构及含量受热发生了变化。岩藻黄质在 534 nm 附近产生最大吸收峰,但吸光值随热烫时间的变化并不明显。

参考文献:

- [1] 戴志远,洪冰平,张燕平,等. 羊栖菜的营养成分分析与评价[J]. 水产学报,2002,26(4):382-396.
DAI Zhiyuan,HONG Yongping,ZHANG Yanping,et al. Evaluation on nutritional components of *Sargassum fusiforme* [J]. **Journal of Fisheries of China**,2002,26(4):382-396.(in Chinese)
- [2] 于竹芹. 羊栖菜降血脂及抗氧化作用机制的实验研究[D]. 青岛:青岛大学 医学院,2011.
- [3] 尹尚军,徐涛,刘丽平,等. 羊栖菜岩藻黄质的提取工艺研究[J]. 食品工业科技,2011,32(4):272-275.
YIN Shangjun,XU Tao,LIU Liping,et al. Study on extracting process of fucoxanthin from *Sargassum fusiforme* [J]. **Science and Technology of Food Industry**,2011,32(4):272-275.(in Chinese)
- [4] 黄雪意. 温州洞头首届羊栖菜节昨日开幕 [EB/OL]. [2013-05-20]. <http://wz.people.com.cn/GB/n/2013/0520/c139014-18692622.html>.
- [5] ZHU T,HEO H J,ROW K H. Optimization of crude polysaccharides extraction from *Hizikia fusiformis* using response surface methodology[J]. **Carbohydrate Polymers**,2010,82(1):106-110.
- [6] 刘树兴,朱莉莉,张书猛,等. 羊栖菜干燥技术及其即食汤料包的研究[J]. 中国调味品,2012,37(1):116-120.
LIU Shuxing,ZHU Lili,ZHANG Shumeng,et al. Study on drying technology of *Sargassum* and instant soup package [J]. **China Condiment**,2012,37(1):116-120.(in Chinese)
- [7] 张井,曹荣,薛长湖. 真空软包装即食羊栖菜食品的研究与开发[J]. 食品工业科技,2009(5):218-220.
ZHANG Jing,CAO Rong,XUE Changhu. Research and development on vacuum soft packing instant *Sargassum fusiforme* foods [J]. **Science and Technology of Food Industry**,2009(5):218-220.(in Chinese)
- [8] 刘倩,张懋,容小红,等. 热烫前处理对青菜中酶活性及色泽的影响[J]. 食品与生物技术学报,2013,32(10):1031-1036.
LIU Qian,ZHANG Min,RONG Xiaohong,et al. Effect of blanching on the enzyme activity of *Brassicachinensis* L.[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2013,32(10):1031-1036.(in Chinese)
- [9] MA Murcia,Martinez-Tome M,Garcia-Carmona F,et al. Effect of industrial processing on chlorophyll content of broccoli[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,2000,80(10):1447-1451.
- [10] GNANASEKHARAN V,SHEWFELT R L,CHINNAN M S. Detection of color changes in green vegetables[J]. **Journal of Food Science**,1992,57(1):149-154.(in Chinese)
- [11] PARSONS Timothy R,MAITA Yoshiaki,LALLI Carol M. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis [M]. New York:Pergamon Press,1984.
- [12] JEFFREY S W T,HUMPHREY G F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a,b,c1 and c2 in higher plants,algae and natural phytoplankton[J]. **Biochemie und Physiologie der Pflanzen**,1975,167(2):191-194.
- [13] SEELY G R,DUNCAN M J,VIDAVER W E. Preparative and analytical extraction of pigments from brown algae with dimethyl sulfoxide[J]. **Marine Biology**,1972,12(2):184-188.
- [14] KUMAR J I N,KUMAR R N,BORA A,et al. An evaluation of the pigment composition of eighteen marine macroalgae collected from Okha coast,Gulf of Kutch,India[J]. **Our Nature**,2009,7(1):48-55.
- [15] CANET Wenceslao,ALVAREZ Maria Dolores,FERNANDEZ Pilar Luna Cristina,et al. Blanching effects on chemistry,quality and structure of green beans(cv. Moncayo)[J]. **European Food Research and Technology**,2004,220(3-4):421-430.
- [16] HAISMAN Derek R,CLARKE Michael W. The interfacial factor in the heat-induced conversion of chlorophyll to pheophytin in green leaves[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,1975,26(8):1111-1126.

- [17] OZKAN GÜ lay, ERSUS Bilek Seda. Enzyme-assisted extraction of stabilized chlorophyll from spinach [J]. **Food Chemistry**, 2015, 176: 152-157.
- [18] TURKMEN N, POYRAZOGLU E S, SARI F, et al. Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables[J]. **International Journal of Food Science and Technology**, 2006, 41(3): 281-288.
- [19] BHASKARACHARY K, ANANTHAN R, LONGWAH T. Effect of household processing and cooking of common foods on carotenoids retention[J]. **The Indian Journal of Nutrition and Dietetics**, 2007, 44(2): 132-139.
- [20] ZHAO D, KIM S M, PAN C H, et al. Effects of heating, aerial exposure and illumination on stability of fucoxanthin in canola oil [J]. **Food Chemistry**, 2014, 145: 505-513.
- [21] MARGULIES M M. Changes in absorbance spectrum of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* upon modification of protein structure[J]. **Journal of Phycology**, 1970, 6(2): 160-164.
- [22] SHIN H W, KIM G H. Characterization of UV-absorbing compounds in Korean macrophytes, *Ulva pertusa* Kjellman (Chlorophyta), *Hizikia fusiformis* (Harvey) [J]. **The Korean Journal of Phycology**, 1997, 12(1): 17-21.
- [23] 纪明候. 海藻化学[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 114-116.
- [24] LIPOVA L, KRCHNAK P, KOMENDA J, et al. Heat-induced disassembly and degradation of chlorophyll-containing protein complexes in vivo[J]. **Biochim Biophys Acta**, 2010, 1797(1): 63-70.
- [25] MOSS Brian. A spectrophotometric method for the estimation of percentage degradation of chlorophylls to pheo-pigments in extracts of algae[J]. **Limnology and Oceanography**, 1967, 12(2): 335-340.
- [26] HIROTA N Kumagai. A pigment composition of chlorophyll-protein complexes and seasonal-variations of pigments in the brown algae *Hizikia fusiformis* [J]. **Nippom Suisan Gakkaishi**, 1990, 56(6): 991-998.
- [27] KIRK J T O. Thermal dissociation of fucoxanthin-protein binding in pigment complexes from chloroplasts of *Hormosira* (phaeophyta) [J]. **Plant Science Letters**, 1977, 9(4): 373-380.

科技信息

孙育杰研究组与清华俞立研究组合作解析生物膜形变分子机制

2016年5月23日,北京大学生命科学学院生物动态光学成像中心孙育杰研究组与清华大学生命学院俞立研究组合作在《Developmental Cell》发表论文《Kinesin 1 drives autolysosome tubulation》(驱动蛋白介导自噬性溶酶体出管),文章通过在体外重构自噬性溶酶体出管的单分子研究体系详细解析了驱动蛋白 KIF5B 介导自噬性溶酶体出管再生的分子机制。研究发现网格蛋白调控自噬溶酶体膜上 PtdIns(4,5)P₂ 聚集成微区, KIF5B 通过与 PtdIns(4,5)P₂ 的直接相互作用而被招募到 PtdIns(4,5)P₂ 微区处,随后通过 KIF5B 的驱动蛋白性质,拉动了自噬溶酶体管状结构的生成。此项研究成果可能揭示了一个生物膜系统中普遍存在的由驱动蛋白介导的膜形变机制。

[信息来源]北京大学生命科学学院. 生物动态光学成像中心孙育杰研究组与清华俞立研究组合作解析生物膜形变分子机制[EB/OL]. (2016-6-1). <http://www.bio.pku.edu.cn/displaynews.php?id=7713>