

调味料及添加剂对裙带菜加工色泽的影响

于美琪¹, 金美然¹, 赵保民², 朱大海², 启航^{1*}

(¹大连工业大学 国家海洋食品工程技术研究中心 辽宁大连 116034

²江苏派乐滋食品有限公司 江苏徐州 221116)

摘要 以裙带菜为研究对象,采用色差仪、高效液相色谱等技术研究食盐、白砂糖和食醋,抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾 4 种添加剂对裙带菜蒸煮处理过程中色泽的影响。结果表明,0.2%的食盐可以起到较好的护色作用,岩藻黄质和叶绿素 a 得率分别提高了 29.12%和 79.73%。添加 0.3%的白砂糖和 0.04%的 D-异抗坏血酸钠在提高裙带菜颜色稳定性的同时,显著降低了叶绿素 a 的含量【分别为(3.36±0.11) μg/g,(9.13±0.73) μg/g】,仅为对照组的 21.51%和 53.02%。随着食醋比例的增加,裙带菜逐渐变为橄榄色,色差可达到 5.01。0.025%的食醋可使叶绿素 a 在裙带菜蒸煮处理过程中全部损失,而添加 0.004%的柠檬酸后的岩藻黄质得率【(276.51±16.15) μg/g】相较于对照组【(213.47±16.77) μg/g】显著提高 29.53%。抗坏血酸和山梨酸钾对裙带菜颜色稳定性具有双重作用,低含量(0.004%)的抗坏血酸可以促进叶绿素 a 的保留,使岩藻黄质得率【(422.73±26.35) μg/g】相较于对照组【(201.09±14.42) μg/g】显著提高,高含量(0.10%)的山梨酸钾则使叶绿素得率损失 69.60%。在未来裙带菜调味食品的开发中,应添加合适比例的调味料以及添加剂以达到所需加工品质的性状。

关键词 裙带菜; 调味料; 添加剂; 色泽; 色素

文章编号 1009-7848(2023)05-0251-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.05.025

裙带菜(*Undaria pinnatifida*)是一种大型的一年生温带海藻,主要分布于中国、日本和韩国的沿海地区^[1]。据统计,2020 年中国裙带菜的养殖量达到 22.56 万 t^[2]。裙带菜具有很高的经济和药用价值,不仅含有丰富的蛋白质、维生素和矿物质,还含有褐藻多酚、岩藻多糖、有机碘、甾醇和膳食纤维等活性成分,具有独特的生理功能,如降血脂、抗高血压、免疫调节和抗肿瘤活性^[3]。前期的研究主要集中在营养和药用方面^[4-5],对裙带菜加工技术的研究较少。适度加工的裙带菜味道鲜美、口感顺滑,并最大限度地保留了营养成分,给人体健康带来极大益处^[6-7]。

食品的色泽是衡量蔬菜商品价值的主要因素之一。消费者一般通过色泽判断蔬菜的品质,裙带菜作为“海洋蔬菜”的典型代表之一,对其色素的研究成为近年的热点。裙带菜中的岩藻黄质是特有的最丰富的类胡萝卜素之一,对人体健康有积极的影响,在抗肿瘤、调节脂类代谢、抗氧化、减肥

等方面都起到一定的作用。dos Reis 等^[8]观察到,与生西兰花相比,烹饪(煮、蒸、微波和真空烹饪)后,α-胡萝卜素、β-胡萝卜素和总类胡萝卜素的含量都有所增加,其原因是热处理使植物细胞壁软化或破坏以及类胡萝卜素-蛋白质复合物被破坏,使类胡萝卜素从组织中溶出从而使提取效率提高。Tian 等^[9]研究发现油炸、空气油炸和炒制都显著降低了紫色马铃薯的总类胡萝卜素含量,可能是由于类胡萝卜素具有热敏性和脂溶性,因此在加热和油处理时很容易降解。裙带菜中的叶绿素作为一种天然的黄绿色素,广泛存在于各种绿色蔬菜中,在减轻炎症,调节肠道功能方面具有保护作用^[10-11],同时它对感官也起到吸引作用。在加工过程中要特别注意叶绿素极易分解为衍生物,导致对消费者的吸引力较低。Gonnella 等^[12]分析了传统(煮制、蒸制和微波)烹饪方式以及结合真空的烹饪技术对即食芦笋中叶绿素的影响,结果表明,所有烹饪处理均显著降低了芦笋叶绿素 a 含量。Danowska-Oziewicz 等^[13]也观察到,经蒸、煮、微波及烤制烹饪后芦笋和西兰花中叶绿素 a 水平低于未经处理的样品。作者把叶绿素含量的减少归因于它们转化为脱镁叶绿素。Guillén 等^[14]的数据也

收稿日期: 2022-05-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0902001)

第一作者: 于美琪,女,硕士生

通信作者: 启航 E-mail: qihang@dpu.edu.cn

证实这一发现,烹饪后西兰花、青豆和洋葱中叶绿素 a 的含量损失分别了 65.9%、82.8%和 47.6%,其认为叶绿素的降解是与热效应有关。

本文以煮制裙带菜的色差值与色素含量为评价指标,探究食盐、白砂糖和食醋以及抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾 4 种食品添加剂对裙带菜颜色和色素稳定性的影响,为裙带菜在加工过程中护色,更好地保存或提高色素含量提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

盐渍裙带菜,大连水产养殖集团有限公司提供;食盐,中盐东兴盐化股份有限公司;白砂糖,中粮福临门食品营销有限公司;食醋,大连棒槌岛食品有限公司。抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾(均为食品级),河南万邦实业有限公司;岩藻黄质(HPLC 级)和叶绿素 a (HPLC 级),Sigma-Aldrich 公司(中国上海);甲醇(HPLC 级),中国上海思碧泉化工有限公司;丙酮(HPLC 级),国药化学试剂有限公司(中国上海)。其它试剂均为国产分析纯级。

1.2 仪器与设备

UltraScan Pro 色差仪,美国 HunterLab 公司;旋转蒸发仪(SY-2000),上海亚荣化工试剂厂;超声仪(SB-800D),宁波新芝生物科技股份有限公司;高效液相色谱仪(配备 Shimadzu-SPD-M20A 系统),日本岛津株式会社;电磁炉,浙江绍兴苏泊尔家居用品有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料的制备 根据 GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》,抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾可在各类食品中按需添加。根据国家标准及预实验,确定煮制裙带菜中的食盐、白砂糖、食醋、抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾的添加量分别为 0.1%~0.5%,0.1%~0.5%,0.005%~0.025%,0.002%~0.01%,0.002%~0.01%,0.02%~0.1%和 0.02%~0.1%(质量分数)。将盐渍裙带菜用去离子水洗去表面盐分,切成 3 cm×3 cm 小块后置于 100 °C 去离子水中煮制(料液比 1:10),添加食盐、白砂糖

和食醋和抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾于水中,10 min 后将煮制后的裙带菜捞出,立即放入凉水中冷却,以防止多余的热量继续烹饪。冷却后的裙带菜于 50 °C 烘干,粉碎,过 200 目筛,真空密封后于 4 °C 存放,备用。

1.3.2 色差分析 使用 UltraScan Pro 色差仪测量裙带菜表面颜色,该仪器使用黑、白板校准。使用 L^* (亮度)、色坐标(a^* 、 b^*)值计算总色差(ΔE)。 L^* 值表示颜色的明度(数值越大颜色越浅), $-a^*$ 值和 b^* 值分别表示样品绿色和黄色的强度。色差 ΔE 值表示颜色变化的程度,由下列方程式确定:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (1)$$

式中, L_1^* 、 a_1^* 、 b_1^* ——未添加调味料或添加剂的煮制裙带菜样品的数值; L_2^* 、 a_2^* 、 b_2^* ——添加调味料或添加剂的煮制裙带菜样品的数值。每组数据平行测定 9 次。

1.3.3 岩藻黄质的提取 参考 Raguraman 等^[15]的方法并稍加修改,提取岩藻黄质。准确称取 1 g 裙带菜样品粉于 50 mL 三角瓶中,加入 10 mL 80% 的乙醇混合,超声处理 30 min,将所得混合物 4 000 r/min 离心 10 min,取上清液于 40 °C、-0.1 MPa 下负压旋转浓缩至无馏出物。用等比例的甲醇(色谱级)复溶。所得溶液经 0.22 μm 尼龙微孔滤膜过滤,取 1 mL 移至棕色样品瓶中,备用。

1.3.4 叶绿素的提取 参考 Havlíková 等^[9]的方法并稍加修改,提取叶绿素。将 1 g 裙带菜样品依次与 5 mL 丙酮和 1 mL 超纯水混合,振荡 5 min 后,超声处理 2 h。将所得混合物 4 000 r/min 离心 10 min,然后取上清液于 40 °C、-0.1 MPa 下负压旋转浓缩至无馏出物。使用等比例的丙酮(色谱级)复溶。所得溶液经 0.45 μm 尼龙微孔滤膜过滤,取 1 mL 移至棕色样品瓶中,备用。

1.3.5 岩藻黄质的测定 采用高效液相色谱法,用 C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm,5 μm,日本岛津)测定岩藻黄质。流动相:100%甲醇;等度洗脱,10 min;流速:1 mL/min;柱温:40 °C;进样量:10 μL。通过二极管阵列检测器(DAD)在 450 nm 处检测。以岩藻黄质浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制岩藻黄质标准曲线。得到标准曲线方程为 $y = 223619x - 42866$,式中 y 为峰面积, x 为岩藻黄质质

量浓度,mg/mL;相关系数 $R^2=0.9999$ 。

1.3.6 叶绿素 a 的测定 采用高效液相色谱法,用 C18 色谱柱(4.6 mm×150 mm,5 μm,Shimadzu,日本岛津)测定叶绿素 a。流动相:100%甲醇;梯度洗脱:20 min;流速:0.8 mL/min;柱温:30 ℃;进样量:10 μL;通过二极管阵列检测器(DAD)在 430 nm 处检测。以叶绿素 a 浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制叶绿素 a 的标准曲线。得到标准曲线方程为 $y=52023x+5783$,式中 y 为峰面积, x 为叶绿素 a 质量浓度,μg/mL;相关系数 $R^2=0.9979$ 。

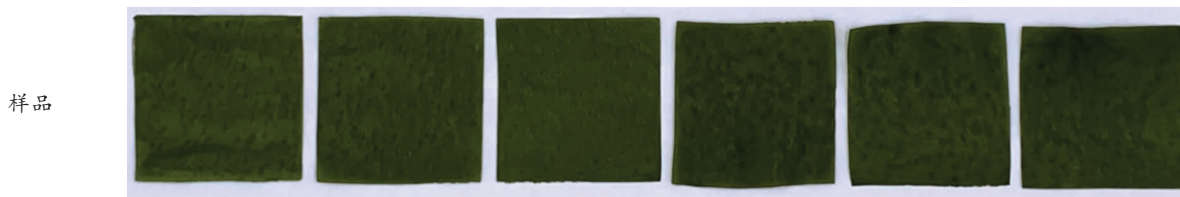
1.3.7 数据处理 数据表示为平均值±标准偏差。采用 SPSS 20.0 对数据进行单因素方差统计分析,采用 Turkey 检验进行组间显著性检验, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

表 1 食盐对煮制裙带菜颜色的影响

Table 1 Effect of salt on color of cooked *Undaria pinnatifida*

食盐比例/ %	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
L^*	23.46 ± 0.36 ^a	23.40 ± 0.39 ^a	23.34 ± 0.65 ^a	22.69 ± 0.32 ^a	22.81 ± 0.46 ^a	23.07 ± 0.48 ^a
a^*	-3.26 ± 0.29 ^b	-3.07 ± 0.15 ^b	-3.05 ± 0.08 ^b	-3.02 ± 0.24 ^b	-2.98 ± 0.31 ^b	-2.53 ± 0.29 ^a
b^*	6.52 ± 0.06 ^a	6.39 ± 0.20 ^a	6.19 ± 0.46 ^a	6.07 ± 0.27 ^{ab}	5.60 ± 0.24 ^b	4.74 ± 0.25 ^c
ΔE	-	0.69 ± 0.32	0.92 ± 0.43	1.07 ± 0.36	1.25 ± 0.32	2.05 ± 0.39



注:同一行中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

2.1.2 白砂糖对煮制裙带菜颜色的影响 如表 2 所示,在煮制裙带菜中添加不同比例白砂糖后,其颜色发生轻微改变。与未添加白砂糖时相比,煮制裙带菜的 L^* 、 $-a^*$ 、 b^* 和 ΔE 值随着白砂糖比例的增加,呈现先增加后降低的趋势,其中,当白砂糖添加比例达 0.3% 时裙带菜的亮度增加最为显著,黄度最强,颜色变化最为显著,色差值达 1.43 ($1.0 < \Delta E < 2.0$: 中等色差);而当添加 0.2% 白砂糖时,裙带菜的绿度最强。

2.1.3 食醋对煮制裙带菜颜色的影响 如表 3 所

以裙带菜为原料,考察食盐、白砂糖和食醋和抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾对煮制裙带菜颜色的影响,结果见表 1~7。

2.1 调味料和添加剂对煮制裙带菜颜色的影响

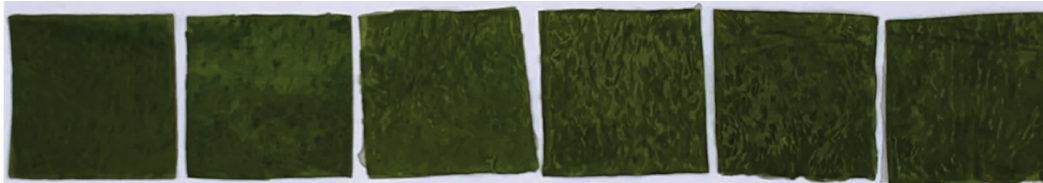
2.1.1 食盐对煮制裙带菜颜色的影响 如表 1 所示,添加不同比例食盐煮制后的裙带菜颜色发生轻微改变。与未添加食盐煮制的裙带菜相比,添加不同比例食盐煮制后的裙带菜的 L^* 值降低,且随食盐比例的增加呈现先减小后增大的趋势。煮制后的裙带菜的 $-a^*$ 、 b^* 值随着食盐比例的增加而降低,食盐添加量为 0.5% 时变化显著,说明食盐比例越高,煮制后的裙带菜越暗、越黄,绿色物质越少。总的来说,随着食盐比例的增加,与未添加食盐时煮制的裙带菜相比其色差也在逐渐增加。此结果与任顺成等^[16]发现的随着食盐浓度的提高,玫瑰茄色素溶液色差值增加的结果一致。

示,在煮制裙带菜中添加不同比例食醋后,随着食醋添加比例的增加,其颜色发生明显的改变,由亮绿色逐渐变为橄榄色。煮制后的裙带菜的 L^* 、 a^* 、 b^* 值都增加,说明裙带菜的绿度减弱,颜色发黄、发亮。总色差也在逐渐增大,当食醋添加量为 0.025% 时,色差值达到 5.01 ($\Delta E > 4.0$, 色差非常大)。其原因是,加入食醋后,烹饪水呈酸性,导致叶绿素脱镁或碳环裂解反应,进而促使叶绿素降解^[14];同时,酸使裙带菜中与蛋白质结合的类胡萝卜素得到释放,进而使裙带菜颜色发生改变。

表2 白砂糖对煮制裙带菜颜色的影响

Table 2 Effect of custer sugar on the color of cooked *Undaria pinnatifida*

白砂糖比例/%	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
L^*	22.96 ± 0.31^{bc}	22.58 ± 0.65^c	23.75 ± 0.45^a	23.90 ± 0.33^a	23.46 ± 0.32^{ab}	23.23 ± 0.13^{ab}
a^*	-2.71 ± 0.20^a	-2.89 ± 0.30^{ab}	-3.15 ± 0.20^b	-3.02 ± 0.21^{ab}	-2.93 ± 0.34^{ab}	-2.83 ± 0.24^{ab}
b^*	6.10 ± 0.30^b	5.42 ± 0.15^c	7.05 ± 0.35^a	7.08 ± 0.42^a	6.91 ± 0.26^a	6.77 ± 0.15^a
ΔE	—	1.03 ± 0.39	1.36 ± 0.41	1.43 ± 0.51	1.07 ± 0.36	0.88 ± 0.26

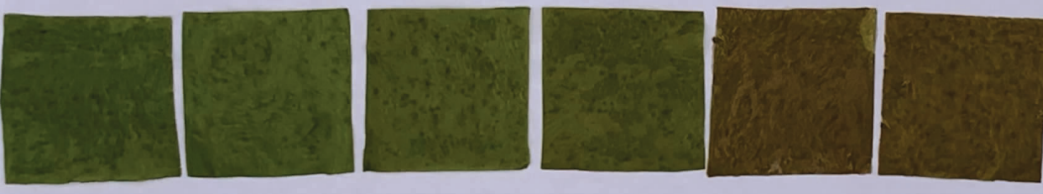


样品

表3 食醋对煮制裙带菜颜色的影响

Table 3 Effect of vinegar on the color of cooked *Undaria pinnatifida*

食醋比例/%	0.000	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025
L^*	23.02 ± 0.47^a	22.81 ± 0.18^a	23.08 ± 0.49^a	23.03 ± 0.62^a	22.64 ± 0.27^a	22.57 ± 0.35^a
a^*	-3.54 ± 0.21^c	-3.61 ± 0.34^c	-3.18 ± 0.33^{bc}	-2.55 ± 0.26^b	-1.19 ± 0.31^a	-1.07 ± 0.74^a
b^*	6.57 ± 0.40^b	6.52 ± 0.27^b	7.53 ± 0.51^a	7.71 ± 0.25^a	7.87 ± 0.46^a	9.26 ± 0.73^a
ΔE	—	0.71 ± 0.42	1.28 ± 0.37	1.76 ± 0.33	5.00 ± 0.39	5.01 ± 0.51



样品

2.1.4 D -异抗坏血酸钠对煮制裙带菜颜色的影响 添加抗氧化剂是食品工业领域常用的手段。 D -异抗坏血酸钠又名赤藻糖酸钠,是一种新型食品抗氧化、护色剂,可按国标在各类食品中适量添加。如表4所示,在煮制的裙带菜中添加不同比例 D -异抗坏血酸钠后,颜色改变不明显。煮制后的裙带菜的 L^* 、 $-a^*$ 和 b^* 值随着 D -异抗坏血酸钠比例的增加呈现先增大后减小的趋势,在添加比例为0.02%或0.04%时, L^* 、 b^* 和 $-a^*$ 有最大值。随着 D -异抗坏血酸钠比例的增加,裙带菜的亮度和黄、绿值先逐渐增强而后减弱。 D -异抗坏血酸钠是一种很强的还原剂,其作用机制是捕捉氧气,防止氧化物及褐变的形成,同时也可将氧化的醌还原成酚类物质,阻止醌类物质进一步聚合形成暗沉的色素物质。夏其乐等^[17]研究表明添加 D -异抗坏血酸钠的果酱褪色程度比未添加的果酱约降低

21.07%。由此可见,适当添加 D -异抗坏血酸钠可提高裙带菜的颜色稳定性。

2.1.5 抗坏血酸对煮制裙带菜颜色的影响 如表5所示,在煮制的裙带菜中添加不同比例抗坏血酸后,部分裙带菜颜色发生较为明显的改变。随着抗坏血酸比例的增加,煮制后的裙带菜的 L^* 值降低, $-a^*$ 值与 b^* 值减小(除添加量为0.008%时),当添加量0.006%时,其色差值达到最大值1.84。总体上,添加不同比例抗坏血酸后,与对照组相比,裙带菜的 L^* 、 $-a^*$ 和 b^* 值都低于对照组,说明裙带菜发暗,黄色物质增加,绿色物质减少。其可能的原因是,加入抗坏血酸后,烹饪水呈酸性,可导致叶绿素脱镁或碳环裂解反应,作为抗氧化剂,不仅没有起到护色作用,反而促使叶绿素降解。还有可能是由于抗坏血酸被氧化,其降解产物脱氢抗坏血酸、糖醛和 H_2O_2 引起色素物质的降解^[18],表明抗

表 4 *D*-异抗坏血酸钠对煮制裙带菜颜色的影响Table 4 Effect of sodium *D*-isoascorbate on color of cooked *Undaria pinnatifida*

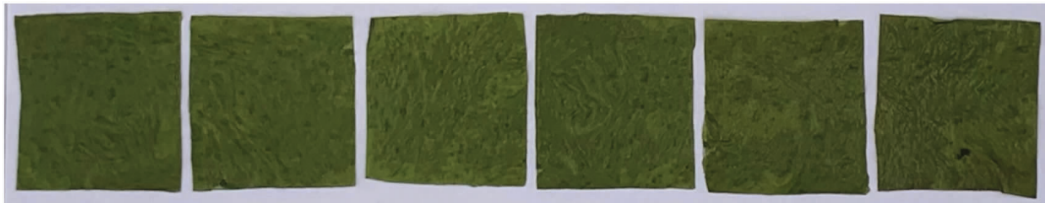
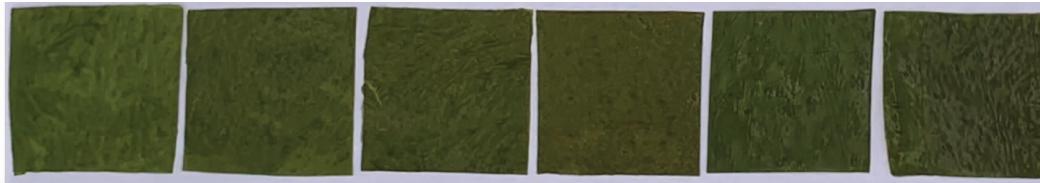
<i>D</i> -异抗坏血酸钠/%	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
L^*	23.23 ± 0.19 ^{ab}	23.47 ± 0.48 ^a	23.43 ± 0.45 ^a	23.45 ± 0.21 ^a	23.25 ± 0.13 ^{ab}	22.77 ± 0.32 ^b
a^*	-3.45 ± 0.36 ^{ab}	-3.74 ± 0.39 ^b	-3.78 ± 0.18 ^b	-3.52 ± 0.34 ^{ab}	-3.57 ± 0.30 ^b	-3.00 ± 0.19 ^a
b^*	6.31 ± 0.36 ^b	6.54 ± 0.54 ^a	6.51 ± 0.20 ^a	6.14 ± 0.24 ^c	6.12 ± 0.22 ^c	6.14 ± 0.29 ^c
ΔE	-	0.97 ± 0.42	0.83 ± 0.32	0.68 ± 0.16	0.63 ± 0.23	0.93 ± 0.29
样品						

表 5 抗坏血酸对煮制裙带菜颜色的影响

Table 5 Effect of ascorbic acid on color of cooked *Undaria pinnatifida*

抗坏血酸/%	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010
L^*	23.22 ± 0.18 ^a	22.85 ± 0.11 ^{bc}	22.52 ± 0.29 ^c	22.59 ± 0.08 ^c	23.04 ± 0.29 ^{ab}	22.81 ± 0.16 ^{bc}
a^*	-3.33 ± 0.09 ^c	-2.49 ± 0.48 ^b	-2.39 ± 0.19 ^b	-1.65 ± 0.23 ^a	-3.34 ± 0.31 ^c	-2.49 ± 0.21 ^b
b^*	6.37 ± 0.20 ^{ab}	6.10 ± 0.55 ^{ab}	5.87 ± 0.28 ^b	6.21 ± 0.22 ^{ab}	6.45 ± 0.27 ^a	6.04 ± 0.28 ^{ab}
ΔE	-	1.14 ± 0.36	1.34 ± 0.15	1.84 ± 0.21	0.57 ± 0.30	1.06 ± 0.15
样品						

坏血酸具有双重作用^[19]。在用抗坏血酸作为营养强化剂时,应选用低浓度的抗坏血酸。

2.1.6 柠檬酸对煮制裙带菜颜色的影响 柠檬酸是一种常用的添加剂,它不仅可以改进风味,使产品有爽口的酸味,还能保护食品的颜色,并具有良好的防腐性能。如表 6 所示,在煮制的裙带菜中添加不同比例柠檬酸后,随着柠檬酸添加比例的增加,其颜色发生明显的改变,由鲜绿色逐渐变为橄榄色。随着柠檬酸比例的增加,煮制后的裙带菜的 L^* 、 a^* 、 b^* 、总色差值也呈现增加的趋势,当柠檬酸的添加比例大于 0.004% 时,裙带菜的绿度开始显著减弱,颜色逐渐发黄、发亮。当柠檬酸的添加比例达到 0.008% 时,裙带菜的色差值达到 3.75。这说明添加微量的柠檬酸在调节酸度的同时也可达到一定的护色效果,而后继续增加柠檬酸的比例

反而导致颜色趋于橄榄色。这与姜文利等^[20]研究柠檬酸溶液对紫甘薯的护色作用结果相似。随着柠檬酸溶液浓度的增大,紫甘薯 L^* 值呈先下降后上升的趋势,说明低浓度柠檬酸能够抑制多酚氧化酶等酶的活性,而较高浓度的柠檬酸也会引起花色苷的溶解损失。

2.1.7 山梨酸钾对煮制裙带菜颜色的影响 如表 7 所示,在煮制的裙带菜中添加不同比例山梨酸钾后,裙带菜颜色改变不明显。当添加山梨酸钾比例为 0.02% 时,煮制后的裙带菜的 L^* 、 $-a^*$ 、 b^* 值有所上升,此时裙带菜的颜色发亮、发绿,黄度有所减弱,而其它添加比例裙带菜的颜色没有显著变化。说明山梨酸钾作为一种防腐剂,在使用时对裙带菜的颜色起到较好的稳定作用,且低量使用时效果更好。

表6 柠檬酸对煮制裙带菜颜色的影响

Table 6 Effect of citric acid on color of cooked *Undaria pinnatifida*

柠檬酸/%	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010
L^*	21.71 ± 0.37^{ab}	21.53 ± 0.35^{bc}	21.00 ± 0.27^c	21.85 ± 0.35^{ab}	22.03 ± 0.36^{ab}	22.11 ± 0.18^a
a^*	-3.40 ± 0.44^c	-2.41 ± 0.52^b	-3.31 ± 0.19^c	-2.42 ± 0.32^b	-0.49 ± 0.88^a	-0.48 ± 0.26^a
b^*	6.13 ± 0.69^b	6.76 ± 0.27^b	6.60 ± 0.47^b	7.13 ± 0.50^{ab}	8.04 ± 0.94^a	7.80 ± 0.32^a
ΔE	-	1.43 ± 0.38	1.11 ± 0.29	1.74 ± 0.44	3.75 ± 1.15	3.50 ± 0.44

样品

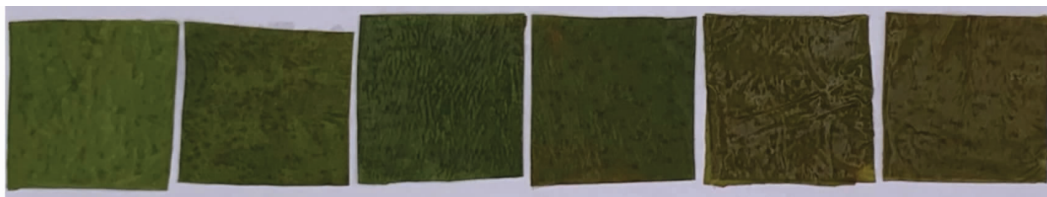
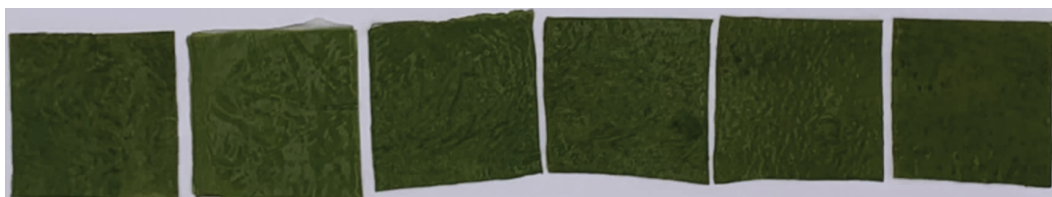


表7 山梨酸钾对煮制裙带菜颜色的影响

Table 7 Effect of potassium sorbate on color of cooked *Undaria pinnatifida*

山梨酸钾/%	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
L^*	21.74 ± 0.53^b	22.77 ± 0.35^a	21.58 ± 0.39^b	21.62 ± 0.27^b	21.97 ± 0.14^b	21.91 ± 0.37^b
a^*	-2.79 ± 0.39^{ab}	-3.47 ± 0.31^c	-3.16 ± 0.09^{bc}	-2.99 ± 0.23^{bc}	-2.70 ± 0.23^{ab}	-2.42 ± 0.32^a
b^*	5.02 ± 0.31^b	6.07 ± 0.32^a	5.12 ± 0.15^b	4.79 ± 0.22^b	5.14 ± 0.11^b	4.96 ± 0.36^b
ΔE	-	1.43 ± 0.61	1.03 ± 0.42	1.35 ± 0.51	1.04 ± 0.27	0.83 ± 0.26

样品



2.2 调味料对煮制裙带菜中岩藻黄质和叶绿素 a 含量的影响

以裙带菜为原料,考察调味料对煮制裙带菜岩藻黄质和叶绿素 a 含量的影响,结果见表 8。

2.2.1 盐、糖、醋对煮制裙带菜中岩藻黄质含量的影响 岩藻黄质,是褐藻类所特有的类胡萝卜素,其含量变化会在一定程度上影响裙带菜的颜色。如表 8 所示,煮制裙带菜中岩藻黄质含量在食盐添加量为 0.2% 时达到最大值 (274.19 ± 4.60) $\mu\text{g/g}$ ($P < 0.05$),随后,随着食盐比例的增加,岩藻黄质含量显著下降。这一结果与袁斌玲等^[21]通过低盐处理金叶银杏幼苗类似,低盐可促进类胡萝卜素的积累。当向煮制裙带菜中添加 0.3% 的白砂糖时,岩藻黄质保留效果最好,这一结果与白砂糖添加比例为 0.3% 时裙带菜黄度最强相对应,而当白砂糖比例继续增加,岩藻黄质含量显著下降,当白

砂糖添加比例 0.4% 时,岩藻黄质含量仅为对照组的 48.53%。建议白砂糖添加比例为 0.3%,此时甜度适中。添加糖会使海藻色素表面张力增加,糖覆盖其表面,可在一定程度上维持和保护其化学结构。糖在溶液中容易发生水合作用,进而使溶液的黏性增加,从而降低了晶核的生成速度,保护了海藻中的色素^[22]。相似的是,有研究^[23]发现,藻蓝色素在蔗糖溶液中的保存率也随蔗糖质量分数的增加呈现先增加而后降低的趋势,说明低量的白砂糖会导致烹饪水的渗透压上升,减少氧气的进入,也就减少了裙带菜与氧气的接触,使岩藻黄质被更好地保护起来。当食醋添加比例小于 0.020% 时,煮制的裙带菜中岩藻黄质含量增加,可能的原因是低浓度的酸会破坏裙带菜中类胡萝卜素与蛋白质的结合部位,进而使岩藻黄质得到释放^[24],这之前测得裙带菜黄度值增加相对应;而当食醋添

表 8 盐、糖、醋对煮制裙带菜岩藻黄质和叶绿素 a 含量的影响

Table 8 Effects of salt, sugar and vinegar on contents of fucoxanthin and chlorophyll a in boiled

<i>Undaria pinnatifida</i>			
调味料	添加比例/%	岩藻黄质/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	叶绿素 a/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
食盐	0.0	212.35 ± 4.47 ^b	16.97 ± 0.92 ^c
	0.1	203.61 ± 3.25 ^b	22.46 ± 1.75 ^b
	0.2	274.19 ± 4.60 ^a	30.50 ± 1.95 ^a
	0.3	168.52 ± 14.25 ^c	18.33 ± 1.68 ^c
	0.4	179.56 ± 3.11 ^c	19.06 ± 0.25 ^c
	0.5	161.29 ± 2.86 ^c	17.83 ± 1.10 ^c
白砂糖	0.0	204.79 ± 10.92 ^a	15.62 ± 0.37 ^a
	0.1	134.32 ± 14.36 ^b	3.01 ± 0.26 ^b
	0.2	117.12 ± 6.44 ^b	4.11 ± 0.22 ^b
	0.3	187.93 ± 0.13 ^a	3.36 ± 0.11 ^b
	0.4	99.38 ± 1.04 ^c	2.74 ± 0.21 ^b
	0.5	129.37 ± 3.38 ^b	4.61 ± 0.14 ^b
食醋	0.000	208.24 ± 9.22 ^a	15.11 ± 0.50 ^a
	0.005	100.96 ± 6.76 ^c	11.56 ± 0.05 ^b
	0.010	119.45 ± 5.91 ^b	10.40 ± 0.49 ^c
	0.015	92.73 ± 5.89 ^c	2.40 ± 0.59 ^d
	0.020	107.51 ± 3.24 ^{bc}	0.75 ± 0.08 ^e
	0.025	69.91 ± 6.69 ^d	-

注: 每种调味料的同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

加比例为 0.025% 时, 岩藻黄质含量与对照组相比损失了 66.43%, 可能是在酸性条件促进下, 岩藻黄质浸出到水中导致含量损失^[25]。

2.2.2 盐、糖、醋对煮制裙带菜中叶绿素 a 含量的影响 在加工裙带菜过程中主要色素——叶绿素容易分解成衍生物, 通过添加添加剂等可以优化裙带菜颜色。如表 8 所示, 添加不同比例食盐煮制后的裙带菜中叶绿素 a 含量增加, 且随食盐比例的增加呈现先增加后降低的趋势, 在食盐添加量为 0.2% 时叶绿素 a 保留效果最好, 含量为 (30.50 ± 1.95) $\mu\text{g}/\text{g}$, 得率提高了 79.73%, 这一结果与食盐对煮制裙带菜中岩藻黄质含量的影响一致。这表明低水平盐也可促进叶绿素 a 的积累。有研究表明, 将去皮或切分后的果蔬浸于一定浓度的盐溶液中, 可以起到护色的作用^[20]。在裙带菜煮制过程中, 食盐的建议添加量为 0.2%。添加不同比例白

砂糖和食醋煮制后的裙带菜中叶绿素 a 含量显著降低。与对照组相比, 添加不同比例白砂糖煮制后的裙带菜中叶绿素 a 含量仅为对照组的 17.54%~29.51%, 在改善甜度且使叶绿素 a 保留率最大方面, 建议白砂糖添加比例为 0.2%, 这一结果与添加比例为 0.2% 时裙带菜绿度值最强相对应。说明添加白砂糖会导致裙带菜的内部结构发生改变, 细胞壁被破坏, 细胞液流失, 进而使叶绿素流失到烹饪水中^[26-27]。随着食醋比例的增加, 煮制裙带菜中叶绿素 a 含量开始下降, 而且在食醋添加比例为 0.015%~0.020% 时下降最为严重。在食醋添加比例 0.25% 时叶绿素 a 完全丧失, 其可能的原因是, 加入食醋之后, 烹饪水呈酸性, 叶绿素发生脱镁或碳环裂解反应, 进而促使叶绿素降解, 生成脱镁叶绿素^[28], 这进一步证实测的绿度值减弱, 黄度值增强。

2.3 添加剂对煮制裙带菜中岩藻黄质和叶绿素 a 含量的影响

以裙带菜为原料, 考察添加剂对煮制裙带菜岩藻黄质和叶绿素 a 含量的影响, 结果见表 9。

2.3.1 添加剂对煮制裙带菜中岩藻黄质含量的影响 如表 9 所示, 当裙带菜中的抗坏血酸添加比例为 0.004% 时, 裙带菜中岩藻黄质含量达到最大值 (422.73 ± 26.35) $\mu\text{g}/\text{g}$, 与对照组相比, 得率显著提高; 而后继续增加抗坏血酸比例, 裙带菜中岩藻黄质含量虽有所下降, 但仍高于对照组。同时抗坏血酸添加量为 0.004% 时岩藻黄质含量的显著增多, 可与测得的红度值增加相对应, 这可能是因与岩藻黄质结合的蛋白中的活泼基团, 如 -COOH, -NH₂ 等和抗坏血酸发生作用, 导致蛋白质构象被破坏, 使岩藻黄质释放出来^[23]。当向裙带菜中添加柠檬酸比例达 0.004% 时, 裙带菜中岩藻黄质含量增加最为显著, 达到最大值, 此时得率提高 29.53%。此结果与 2017 年李宇等^[29]测得的柠檬酸处理后的胭脂萝卜色素显著增加结果一致, 说明柠檬酸对该种色素有明显的护色作用^[30]。此结果也与 2020 年李悦等^[31]测得的一定浓度的柠檬酸对密蒙花色素具有增色作用的结果相似, 推测由于柠檬酸螯合能力强, 使与色素形成某种络合物, 增强了色素结构稳定性。由表 9 可看出, 添加不同比例山梨酸钾煮制后的裙带菜中岩藻黄质含量随

山梨酸钾添加比例的增加呈现降低的趋势,而当其添加量小于0.04%时,这种变化不显著;当山梨酸钾添加比例为0.08%时,岩藻黄质含量为 $(145.09 \pm 12.10) \mu\text{g/g}$,与对照组相比,得率损失36.21%,这与测得的裙带菜黄度值降低相对应。此结果与2021年余佳熹等^[32]测得的随山梨酸钾添加量的增加,花色苷水提液红色褪去,玫瑰花色苷保存率减小的结果一致。其原因是加入山梨酸钾后,水溶液呈弱碱性,而碱性条件不利于色素的稳定。

2.3.2 添加剂对煮制裙带菜中叶绿素 a 含量的影响 如表 9 所示,与对照组相比,添加不同比例 D-异抗坏血酸钠和柠檬酸煮制后的裙带菜中叶绿素 a 含量随添加比例的增加而降低。当加入 0.04% 的 D-异抗坏血酸钠时,裙带菜中叶绿素 a 含量与对照组相比损失高达 46.98%,而后继续增加 D-异抗坏血酸钠添加比例至 0.1% 时,裙带菜中叶绿素 a 含量仅为对照组的 18.35%,说明 D-异抗坏血酸钠对裙带菜中叶绿素有明显的破坏作用,且添加量越大,对叶绿素的破坏作用越大。在针对裙带菜叶绿素的加工利用中,应尽量避免加入 D-异抗坏血酸钠。当向煮制裙带菜中添加柠檬酸比例为 0.002% 时,叶绿素 a 含量降低,不显著。此后,继续增加柠檬酸比例,叶绿素 a 含量显著下降,当柠檬酸添加量为 0.010% 时,叶绿素 a 含量损失非常明显 ($P < 0.05$),与对照组相比,损失 94.07%。这与测得的色差值以及裙带菜由亮绿色变为明显的橄榄色结果相一致。有研究^[23]发现,随着柠檬酸质量分数的增加,藻蓝色素的保留率会急剧下降。添加不同比例抗坏血酸和山梨酸钾煮制后的裙带菜中叶绿素 a 含量随其比例的增加呈现先升高后降低的趋势。在抗坏血酸添加比例达 0.004% 时,裙带菜中叶绿素 a 含量达到最大值,而其它添加比例下叶绿素 a 含量均显著低于对照组,仅为对照组的 49.43%~55.99%。建议抗坏血酸添加量为 0.004%,这一结果与抗坏血酸在保留岩藻黄质含量方面一致。也与 2020 年任顺成等^[23]发现随着抗坏血酸质量分数的增加,藻蓝色素的保存率急剧下降的趋势一致。与 2021 年余佳熹等^[32]报道的抗添加坏血酸会降低玫瑰花色苷水提液的色素保存率,且随抗坏血酸浓度的升高,花色苷保

表 9 添加剂对煮制裙带菜岩藻黄质和叶绿素 a 含量的影响

Table 9 Effects of additives on the contents of fucoxanthin and chlorophyll a in boiled *Undaria pinnatifida*

添加剂	添加比例/%	岩藻黄质/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	叶绿素 a/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$
D-异抗坏血酸钠	0.00	203.21 ± 10.51^{ab}	17.22 ± 4.41^a
	0.02	198.11 ± 14.67^{ab}	14.01 ± 1.00^{ab}
	0.04	245.48 ± 13.43^a	9.13 ± 0.73^{bc}
	0.06	235.26 ± 7.08^a	6.36 ± 0.40^{cd}
	0.08	158.10 ± 7.86^b	7.93 ± 0.59^{cd}
	0.10	172.57 ± 4.00^b	3.16 ± 0.24^d
抗坏血酸	0.00	201.09 ± 14.42^c	14.02 ± 0.39^a
	0.002	326.05 ± 16.41^b	6.93 ± 0.67^b
	0.004	422.73 ± 26.35^a	14.88 ± 1.54^a
	0.006	233.93 ± 18.48^d	6.93 ± 0.56^b
	0.008	289.38 ± 15.66^c	7.51 ± 0.66^b
	0.010	237.37 ± 6.71^d	7.85 ± 0.08^b
柠檬酸	0.000	213.47 ± 16.77^b	16.54 ± 1.97^a
	0.002	173.69 ± 10.21^{bc}	11.10 ± 0.93^{ab}
	0.004	276.51 ± 16.15^a	7.52 ± 0.83^{bcd}
	0.006	208.34 ± 6.02^b	8.73 ± 0.67^{bc}
	0.008	124.47 ± 12.45^c	2.82 ± 0.14^{cd}
	0.010	177.50 ± 8.36^{bc}	0.98 ± 0.36^d
山梨酸钾	0.00	227.44 ± 4.38^a	15.69 ± 1.29^b
	0.02	220.40 ± 49.83^a	10.94 ± 1.12^c
	0.04	188.96 ± 15.12^{ab}	18.74 ± 1.55^a
	0.06	147.90 ± 13.06^b	6.97 ± 0.24^d
	0.08	145.09 ± 12.10^b	5.47 ± 0.66^d
	0.10	218.21 ± 14.62^a	4.77 ± 0.57^d

注: 每种添加剂的同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

存率降低的结果相一致。添加不同比例山梨酸钾煮制裙带菜时,当其添加比例达 0.04% 时,山梨酸钾起到很好地保留裙带菜中叶绿素 a 的作用,与对照组相比,叶绿素 a 得率提高了 19.44%,而后继续增加山梨酸钾比例,叶绿素 a 含量显著下降。当其添加比例达 0.10% 时,裙带菜中叶绿素 a 仅剩 $(4.77 \pm 0.57) \mu\text{g/g}$ 。对于裙带菜中叶绿素而言,建议添加比例为 0.04%。此结果与 2021 年杨娟娟等^[33]测得的低浓度山梨酸钾有利于保持色素的稳定

性, 而高浓度的山梨酸钾导致葡萄皮色素发生褪色的结果一致。

3 结论

研究了添加食盐、白砂糖和食醋以及抗坏血酸、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠和山梨酸钾 4 种添加剂对煮制裙带菜颜色和色素含量的影响, 结果表明: 低比例的食盐对煮制裙带菜起到较好的护色作用, 可使岩藻黄质和叶绿素 a 得率分别提高 29.12% 和 79.73%; 同时低比例的白砂糖和 D-异抗坏血酸钠也起到较好的护色作用; 柠檬酸可使岩藻黄质得率显著提高 29.53%; 抗坏血酸和山梨酸钾对裙带菜颜色的稳定性具有双重作用, 如 0.004% 的抗坏血酸具有增色效应, 在促进叶绿素 a 保留的同时, 可使裙带菜中岩藻黄质得率显著提高。因此, 可以通过在煮制裙带菜的过程中添加低比例的食盐和抗坏血酸以达到护色目的, 同时使岩藻黄质和叶绿素的保留率较高, 进而改善裙带菜的加工色泽。

参 考 文 献

- [1] LEE J B, HAYASHI K, HASHIMOTO M, et al. Novel antiviral fucoidan from sporophyll of *Undaria pinnatifida* (Mekabu)[J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 2004, 52(9): 1091-1094.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 22-23.
Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Areas. China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 22-23.
- [3] WANG S, LI Y, WHITE W, et al. Extracts from New Zealand *Undaria pinnatifida* containing fucoxanthin as potential functional biomaterials against cancer *in vitro*[J]. Journal of Functional Biomaterials, 2014, 5(2): 29-42.
- [4] LAKSHMIKANDAN M, MURUGESAN A G, WANG S, et al. Optimization of acid hydrolysis on the green seaweed *Valoniopsis pachynema* and approach towards mixotrophic microalgal biomass and lipid production[J]. Renewable Energy, 2021, 164: 1052-1061.
- [5] ZHONG Q W, ZHOU T S, QIU W H, et al. Characterization and hypoglycemic effects of sulfated polysaccharides derived from brown seaweed *Undaria pinnatifida*[J]. Food Chemistry, 2021, 341(1): 128-148.
- [6] HAVLÍKOVÁ L, ŠATÁNSKÝ D, OPLETAL L, et al. A fast determination of chlorophylls in barley grass juice powder using HPLC fused-core column technology and HPTLC[J]. Food Analytical Methods, 2014, 7(3): 629-635.
- [7] LAPARRA J M, VÉLEZ D, MONTORO R, et al. Estimation of arsenic bioaccessibility in edible seaweed by an *in vitro* digestion method[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(20): 6080-6085.
- [8] DOS REIS L C R, DE OLIVEIRA V R, HAGEN M E K, et al. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1)[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 63(1): 177-183.
- [9] TIAN J, CHEN J, LV F. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 1264-1270.
- [10] TRACHOOTHAM D, CHUPEERACH C, TUNTIPOPIPAT S, et al. Drinking fermented milk containing *Lactobacillus paracasei* 431 (IMULUSTM) improves immune response against H1N1 and cross-reactive H3N2 viruses after influenza vaccination: A pilot randomized triple-blinded placebo controlled trial[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 33: 1-10.
- [11] 李媛媛, 欧雅文, 崔羽, 等. 利用体外发酵模型研究叶绿素对儿童肠道菌群的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(6): 11-18.
LI Y Y, OU Y W, CUI Y, et al. Effects of Chlorophyll on intestinal flora from children *in vitro* fermentation model[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 11-18.
- [12] GONNELLA M, DURANTE M, CARETTO S, et al. Quality assessment of ready-to-eat asparagus spears as affected by conventional and sous-vide cooking methods[J]. LWT - Food Science and Technology,

- 2018, 92: 161–168.
- [13] DANOWSKA -OZIEWICZ M, NARWOJSZ A, DRASZANOWSKA A. The effects of cooking method on selected quality traits of broccoli and green asparagus[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2020, 55(1): 127–135.
- [14] GUILLÉN S, MIR-BEL J, ORIA R, et al. Influence of cooking conditions on organoleptic and health-related properties of artichokes, green beans, broccoli and carrots[J]. Food Chemistry, 2017, 217: 209–216.
- [15] RAGURAMAN V L S A, MUBARAKALI D, NARENDRAKUMAR G, et al. Unraveling rapid extraction of fucoxanthin from *Padina tetrastromatica*: Purification, characterization and biomedical application[J]. Process Biochemistry, 2018, 73: 211–219.
- [16] 任顺成, 徐彩虹, 李翠翠. 玫瑰茄色素的提取及稳定性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2009, 30(5): 39–43.
- REN S C, XU C H, LI C C. Study on the extraction and stability of pigment from roselle[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 30(5): 39–43.
- [17] 夏其乐, 陈剑兵, 郜海燕, 等. *D*-异抗坏血酸钠对蓝莓果酱品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 20–24.
- XIA Q L, CHEN J B, GAO H Y, et al. Effect of sodium *D*-isoascorbate on the quality of blueberry jam[J]. Food Science, 2018, 39(2): 20–24.
- [18] 姚思敏蕾, 单虹宇, 于雅静, 等. 食品添加剂对黑果枸杞中花青素颜色稳定性的影响[J]. 中国调味品, 2017(8): 133–137.
- YAO S M Q, SHAN H Y, YU Y J, et al. Effect of food additives on color stability of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr[J]. China Condiment, 2017(8): 133–137.
- [19] 刘金文. 刺五加果花青素的提取纯化及性质研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
- LIU J W. Study on extraction, purification and properties of *Acanthopanax* fruit anthocyanins [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2015.
- [20] 姜文利, 方佩佩, 张岩, 等. 紫甘薯的护色及其色素提取工艺优化[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2015, 32(3): 180–188.
- JIANG W L, FANG P P, ZHANG Y, et al. Technology optimization on extracting and color protection of purple sweet potato anthocyanins [J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2015, 32(3): 180–188.
- [21] 袁斌玲, 王瑞敏, 陈颖, 等. NaCl 处理下茉莉酸甲酯对金叶银杏光合色素、抗氧化性及黄酮代谢的调控作用[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(2): 64–71.
- YUAN B L, WANG R M, CHEN Y. The regulation of methyl jasmonate on photosynthetic pigments, antioxidation and flavonoid metabolism in golden-leaf ginkgo biloba seedlings under salinity treatment [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(2): 64–71.
- [22] CHAIKLAHAN R, CHIRASUWAN N, BUNNAG B. Stability of phycocyanin extracted from *Spirulina* sp.: Influence of temperature, pH and preservatives [J]. Process Biochemistry, 2012, 47(4): 659–664.
- [23] 任顺成, 王凤雯, 曹悦, 等. 藻蓝色素稳定性的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(6): 1–7.
- REN S C, WANG W F, CAO Y, et al. Study on the stability of phycocyanin [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(6): 1–7.
- [24] BERNHARDT S, SCHLICH E. Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 327–333.
- [25] FOGLIANO V, PELLEGRINI N, MIGLIO C, et al. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2008, 56(1): 139–147.
- [26] RODRIGUEZ-AMAYA D B. Natural food pigments and colorants [J]. Current Opinion Food Science, 2016, 7: 20–26.
- [27] SÁNCHEZ C, BARANDA A B, DE MARAÑÓN I M. The effect of high pressure and high temperature processing on carotenoids and chlorophylls content in some vegetables [J]. Food Chemistry, 2014, 163: 37–45.
- [28] MAZZEO T, PACIULLI M, CHIAVARO E. Impact of the industrial freezing process on selected vegetables -Part II: Colour and bioactive compounds [J]. Food Research International. 2015, 75: 89–97.
- [29] 李宇, 陈丹, 李敏, 等. 响应面试验优化鲜切胭脂萝卜复合护色配方[J]. 食品工业, 2017, 38(6):

- 88-91.
- LI Y, CHEN D, LI M, et al. Study on compound color protection formula of fresh cut carmine radish by response surface method[J]. The Food Industry, 2017, 38(6): 88-91.
- [30] 张梓涵, 蔡铖, 李恒, 等. 红心萝卜色素分布及其抑菌特性分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(10): 58-62.
- ZHANG Z H, CAI C, LI H, et al. Analysis of pigment distribution and antibacterial characteristics of red radish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 58-62.
- [31] 李悦, 李晓娇, 章金龙, 等. 食品添加剂对密蒙花色素稳定性的影响及其在果汁加工中的应用初探[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(7): 76-83.
- LI Y, LI X J, ZHANG J L, et al. Food additives on the stability of *Buddleja officinalis* Maxim pigment and its application in fruit juice processing[J]. China Food Additives, 2020, 31(7): 76-83.
- [32] 余佳熹, 于雅静, 吕远平. 玫瑰花色苷水提液颜色稳定性的研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(3): 144-149, 153.
- YU J X, YU Y J, LÜ Y P. Study on the color stability of rose anthocyanin aqueous extract solution [J]. China Condiment, 2021, 46(3): 144-149, 153.
- [33] 杨娟娟, 王斌. 赤霞珠葡萄皮花色色素稳定性研究[J]. 粮食与食品工业, 2021, 28(1): 51-54.
- YANG J J, WANG B. The stability of anthocyanin of cabernet sauvignon grape skin was study[J]. Cereal and Food Industry, 2021, 28(1): 51-54.

The Effect of Flavoring and Additives on the Color of Cooked *Undaria pinnatifida*

Yu Meiqi¹, Jin Meiran¹, Zhao Baomin², Zhu Taihai², Qi Hang^{*}

(¹National Engineering Research Center of Seafood, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning

²Jiangsu Palarich Food Co. Ltd., Xuzhou 221116, Jiangsu)

Abstract The effects of salt, sugar and vinegar as well as ascorbic acid, citric acid, sodium *D*-isoascorbate and potassium sorbate on color and pigment of *Undaria pinnatifida* during boiling were studied by using colorimeter and high performance liquid chromatography. The results showed that 0.2% salt provided good color protection and increased the yield of fucoxanthin and chlorophyll a by 29.12% and 79.73%, respectively. The addition of 0.3% sugar and 0.04% sodium *D*-isoascorbate significantly reduced the chlorophyll a content [(3.36 ± 0.11) μg/g and (9.13 ± 0.73) μg/g, respectively] while improving the color stability of *Undaria pinnatifida*, which was only 21.51% and 53.02% of the control group. As the ratio of vinegar increased, the *Undaria pinnatifida* gradually changed to olive color, with a color difference of up to 5.01. 0.025% vinegar resulted in a complete loss of chlorophyll a, while the addition of 0.004% citric acid resulted in a significant increase of 29.53% in the yield of fucoxanthin [(276.51 ± 16.15) μg/g] compared to the control [(213.47 ± 16.77) μg/g]. Ascorbic acid and potassium sorbate had a dual effect on the color stability of *Undaria pinnatifida*, with low levels (0.004%) of ascorbic acid promoting the retention of chlorophyll a, resulting in a significant increase in the yield of fucoxanthin [(422.73 ± 26.35) μg/g] compared to the control [(201.09 ± 14.42) μg/g], while high levels (0.10%) of potassium sorbate resulted in a 69.60% loss of chlorophyll yield. In the future development of seasoned *Undaria pinnatifida*, appropriate proportions of flavorings as well as additives should be added to achieve the desired processing quality traits.

Keywords *Undaria pinnatifida*; flavoring; food additives; color; pigments