

红心萝卜色素分布及其抑菌特性分析

张梓涵¹, 蔡 铖¹, 李 恒¹, 朱益源¹, 高 健², 陶婷婷³, 丁 超^{1,*}

(1.南京财经大学食品科学与工程学院,江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心,

江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室,江苏南京 210023;

2.长江师范学院生命科学与技术学院,重庆涪陵 408100;

3.江苏省农业科学院农产品质量安全与营养研究所,省部共建国家重点
实验室培育基地-江苏省食品质量安全重点实验室,江苏南京 210014)

摘要:为研究不同红心萝卜色素含量及其分布特性,探究红心萝卜色素的稳定性和抑菌性,本文采用超声波辅助法提取4种红心萝卜的色素,比较色素分布差异,综合分析色素稳定性和红心萝卜色素的抑菌特性。结果表明,4种萝卜中,胭脂萝卜色素总量最高(0.039 mg/g)。萝卜个体内部色素存在差异,萝卜皮中的色素含量显著高于萝卜内部其他部位($P < 0.05$)。提取色素对高温($\geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)较为敏感,在 $\text{pH}=7$ 时色素较稳定,抗 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 的干扰能力较弱;耐还原能力比耐氧化能力强;柠檬酸和维生素C对色素有保色作用,蔗糖和食盐对色素稳定性影响不显著,且对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有抑制作用。

关键词:红心萝卜,色素分布,稳定性,抑菌性

Analysis of Pigment Distribution and Antibacterial Characteristics of Red Radish

ZHANG Zi-han¹, CAI Cheng¹, LI Heng¹, ZHU Yi-yuan¹, GAO Jian², TAO Ting-ting³, DING Chao^{1,*}

(1.Key Laboratory of Grains and Oils Quality Control and Processing, Collaborative Innovation Center

for Modern Grain Circulation and Safety, College of Food Science and Engineering,

Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China;

2.Department of Life Sciences and Technology, Yangtze Normal University, Fuling 408100, China;

3.Jiangsu Key Laboratory for Food Quality and Safety-State Key Laboratory Cultivation Base, Jiangsu Academy of
Agricultural Sciences, Institute of Food Safety and Nutrition, Ministry of Science and Technology, Nanjing 210014, China)

Abstract: To study the distribution, stability and antibacterial activity of natural pigment rich in red radish, the pigments of four kinds of red radish were extracted by ultrasonic assisted method, and the differences of pigment distribution were compared. The pigment extract was treated with different light, pH value, temperature and different concentrations of metal ions, oxidants, reducing agents and common food additives. The antibacterial properties of red radish pigment were verified by filter paper method. The results showed that the pigment distribution was different, and the pigment content of radish skin was the highest (0.039 mg/g). The pigment content in radish skin was significantly higher than that in other parts of radish. The pigment was more sensitive to light and high temperature ($\geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$), and it was the most stable when the pH was around 7. Fe^{3+} and Al^{3+} could reduce its stability. The resistance to reduction was stronger than the resistance to oxidation. Citric acid and vitamin C had color retention effect on pigments, while the sugar or salt had no significant effect on its stability. At the same time, the bacteriostatic test by filter paper method showed that the pigment had inhibitory effects on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*.

Key words: red radish; pigment distribution; stability; bacteriostatic activity

中图分类号: TS254.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)10-0058-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.10.010

引文格式: 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.

萝卜作为一种好培育、成本低的经济作物,可以通过有效的加工利用可以提升附加值并增加农民收入。中国的涪陵地区地理环境独特,在当地产出的

常见红心萝卜有北雁红心萝卜、胭脂萝卜、龙泉红心萝卜、红心一号萝卜等,均有心皮全红的特性^[1]。红心萝卜色素是一种天然色素,主要是天竺葵素葡萄

收稿日期: 2019-07-29

作者简介: 张梓涵(1997-),女,本科,研究方向:食品科学与工程, E-mail: 489437998@qq.com。

*通讯作者: 丁超(1985-),男,博士,副教授,研究方向:农产品加工及贮藏工程, E-mail: cding@nufe.edu.cn。

糖苷衍生物^[2]。红心萝卜提取出的色素含量高、质量好^[3-4],为市场提供了更为物美价廉的天然安全色素选择,对红心萝卜色素提取利用可提高该农产品附加值。

目前我国已采用多种技术提取红心萝卜色素,包括溶剂提取法、超声波辅助提取法、超临界 CO₂ 提取法等^[5-6],但红心萝卜内部色素分布规律尚不明确。通过色素分布研究可实现红心萝卜分部利用,实现组合收益。因此,本文对 4 种红心萝卜进行色素的提取和含量测定,研究其色素分布,有助于对红心萝卜不同部位色素的选择性利用,并检测色素的稳定性和探究其抑菌特性,利于红心萝卜的生产工艺优化和深加工。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

北雁红心萝卜(重量 300~450 g,最粗部位直径 4~6 cm)、胭脂萝卜(重量 200~350 g,最粗部位直径 4~5 cm)、龙泉红心萝卜(重量 500~550 g,最粗部位直径 9~11 cm)、红心一号萝卜(重量 200~350 g,最粗部位直径 4~5 cm) 重庆长江师范学院;大肠杆菌(CICC10254)、金黄色葡萄球菌(CICC21600) 本实验室提供;甲醇 色谱纯,ROE scientific inc.;柠檬酸、抗坏血酸、磷酸氢二钠、氢氧化钠、三氯化铁、硫酸铝、盐酸、氯化钠 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;食盐 未加碘精制盐,氯化钠含量≥98.50%,中盐;蔗糖 太古。

TP-214 电子天平 丹佛仪器(北京)有限公司;PHS-3CpH 计 上海精密科学仪器有限公司;SB25-12DTDN 超声波清洗机 宁波新芝生物科技股份有限公司;SF-CJ-2A 净化工作台、GNP-9160 型隔水式恒温培养箱 上海三发科学仪器有限公司;HH-4 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;TG16-WS 高速离心机 长沙湘智离心机仪器有限公司;LDZX-50FBS 立式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂;旋转蒸发仪 德国 Heidolph;U-3900 紫外可见分光光度计 日本日立。

1.2 实验方法

1.2.1 色素的提取 随机选取北雁红心萝卜、胭脂萝卜、龙泉红心萝卜、红心一号萝卜,处理收集需测定色素的部分,准确称取各部位待测样品 10.00 g 于三角瓶中,立即加入 60 mL 0.01% HCl 的甲醇溶液,密闭。用超声波辅助提取法,设置温度 30 ℃,时间 40 min^[5]。后进行过滤,收集滤液,滤渣进行二次提取,直到颜色几乎接近无色,合并滤液。将滤液在 45 ℃ 的条件下旋转蒸发完全后,用 0.01% 的 HCl 水溶液对蒸馏烧瓶进行冲洗,溶解壁内全部色素后倒入离心瓶。浓缩液在 4000 r/min 下离心 10 min,取上清液,因红心萝卜色素在弱酸(pH = 6.0)条件下保色度好^[4],用 0.01% 的 HCl 溶液定容到 25 mL 保存。后续的实验均用 0.01% 的 HCl 溶液 10 倍稀释作为各品种萝卜色素测定液 a。

1.2.2 色素分布

1.2.2.1 色素总含量 选取 pH 示差法更为精确地确

定总色素含量。根据熊玥等^[4]研究,可知萝卜红色素为天竺葵素的葡萄糖苷衍生物,结合 Fuleki 等^[7]的方法进行改进。取 40 mL 测定液 a,平均分成两份,每份 20 mL,分别用 pH = 1.0、pH = 4.5 的缓冲液定容至 100 mL,静置后在最大吸收波长 530 nm 处测定其吸光度,计算其色素含量并进行比较。

$$C(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{(A_0 - A_1) \times V \times n \times M}{\epsilon \times m}$$

式中:C 为色素含量(mg/g);A₀ 和 A₁ 分别 pH = 1.0、pH = 4.5 时色素在 530 nm 处的吸光度;V 为提取液总体积(mL);n 为稀释倍数;M 为天竺葵素-3-槐二糖苷相对分子量(648.5);ε 为消光系数(30200);m 为样品质量(g)。

1.2.2.2 不同部位色素含量分布比较 选用紫外分光光度法测定,进行不同部位的比较,最大吸收波长为 530 nm。萝卜的根头至叶柄部位为上部,根颈至根头部位为中部,根颈至真根部位为下部,还选定了外皮和叶片的部分^[8],向各部位稀释后的测定液中加入 0.10 mol/L pH3.0 的柠檬酸-磷酸盐缓冲溶液调节 pH 并定容,测定红心萝卜在波长 530 nm 处的吸光度,并比较其差异。

1.2.3 色素稳定性

1.2.3.1 光照稳定性 取胭脂萝卜色素提取液 5 mL 于三支试管中,分别于室温避光、室温 24 h 有光照、室温自然光条件下放置总共 144 h,在 4、24、48、96 和 144 h 时,测在波长 530 nm 处的吸光度,并观察色素颜色的变化。

1.2.3.2 热稳定性 取五只试管,取 5 mL 胭脂萝卜色素提取液,加入 5 mL 蒸馏水,分别设置在室温(25 ℃)、40、60、80 ℃ 下进行实验^[9],放置避光 2 h,每隔 1 h 测量其在 530 nm 处的吸光度,同时观察色素颜色变化。

1.2.3.3 酸碱稳定性 取 5 mL 胭脂萝卜的色素提取液,用 0.2 mol/L 的 HCl、0.1 mol/L 的 NaOH 配制 pH 为 3、5、7、9、11、13 的缓冲液^[9],准确移取 5 mL 缓冲液于色素提取液中,室温下避光放置 4 h,每隔 2 h 分别测定其在波长 530 nm 处的吸光度,同时观察色素颜色变化。

1.2.3.4 金属离子稳定性 取 5 mL 胭脂萝卜色素提取液,分别加入 5 mL 0.001、0.002、0.003 mol/L 的氯化钙、三氯化铁、氯化铝以得到 Al³⁺、Fe³⁺、Ca²⁺,另取一支加 5 mL 蒸馏水,室温下放置 12 h,最后分别测定其在 530 nm 处的吸光度,目测颜色变化。

1.2.3.5 氧化还原特性 取 5 mL 胭脂萝卜色素提取液,分别加入 5 mL 浓度为 1%、2%、3% 的 H₂O₂、Na₂SO₃ 溶液,另取一支加 5 mL 蒸馏水,室温下避光放置 2 h,测定其在 530 nm 的吸光度。

1.2.3.6 外源食品添加剂稳定性 取 5 mL 胭脂萝卜色素提取液,分别加入 5 mL 0.003 mol/L 的蔗糖、食盐、柠檬酸和维生素 C(抗坏血酸)溶液^[10],另取一支加 5 mL 蒸馏水,室温下避光放置 12 h,分别测定其在 530 nm 处的吸光度。

1.2.4 色素的抑菌特性

1.2.4.1 抑菌特性探究 选用一种革兰氏阴性菌和

一种革兰氏阳性菌进行试验,金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)经培养增殖,取胭脂萝卜色素测定液a,经pH示差法计算浓度后,稀释调整至3 mg/mL,作为胭脂萝卜色素测定液b,用滤纸片法进行色素的抑菌性探究实验^[11],分别设置扩散组与非扩散组^[12],扩散组在接种后在4℃冰箱内放置24 h,使胭脂萝卜色素测定液b充分扩散后再进行常规培养,每组均设置无菌生理盐水对照组。测量抑菌圈的大小,以此判定胭脂萝卜色素的抑菌性能。

1.2.4.2 最小抑菌浓度(MIC) 取胭脂萝卜色素测定液a与各菌液按比例加入试管中,使试管中的抑菌剂(即胭脂萝卜色素)的质量浓度梯度为50.00%、25.00%、12.50%、6.25%、3.13%、1.56%、0.78%、0.39%、0.19%、0.09%、0.05%和0,后在(37±1)℃培养箱内进行培养,在24 h后观察比较,培养基中没有细菌生长的最低浓度即为最小抑菌浓度。

1.3 数据处理

每组条件下的实验均设置对照实验,每个样品重复3次。通过PASW Statistics 18软件进行T检验,并进行数据评价。

2 结果与分析

2.1 色素分布

2.1.1 色素总含量比较 图1以色素含量最小的北雁红心萝卜作为标准,比较了其余3种红心萝卜色素的含量,可以看出胭脂萝卜色素含量显著高于其他品种的萝卜($P < 0.05$)。根据pH试差法得出胭脂萝卜色素含量为0.039 mg/g。相较于其他果蔬,如红苋菜花青素(0.035 mg/mL^[13]),胭脂萝卜的色素含量基本一致,但作为根茎类食用原料,单位面积产量高,因此萝卜红色素可以作为色素加工的重要原料。

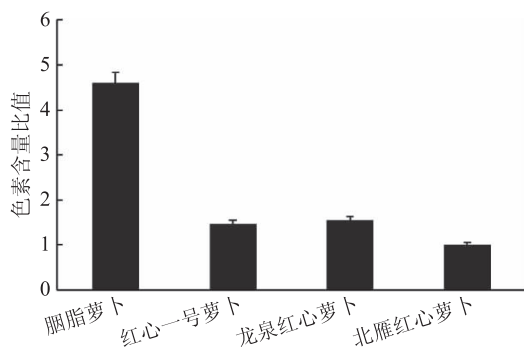


图1 四种红心萝卜的色素含量比值

Fig.1 Pigment absorbance of different parts of four kinds of red radish

2.1.2 不同部位色素含量分布比较 紫外分光光度法的结果(图2)表明,每种萝卜色素分布的差异性,北雁红心萝卜标准品底部色素含量显著高于上部和中部,而龙泉红心萝卜是上部色素含量明显高于中部和底部的色素含量。通过整体数据的差异显著性分析可得,在测四种红心萝卜的外皮与其他部位吸光值的差值平均值是0.040,在红心萝卜这四个品种中,外皮的色素均为含量最高。叶中的红色素含量普遍偏低,但提取叶中的红色素能做到废物利用,经济价值

较高。

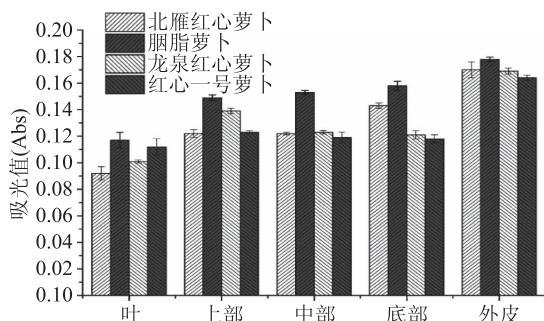


图2 四种红心萝卜不同部位色素吸光值

Fig.2 Ratio of pigment content of 4 kinds of carrots in different parts

2.2 红心萝卜色素稳定性

2.2.1 光照稳定性和热稳定性 对144 h储藏期内色素的稳定性进行监测,图3中可以看出,日光和灯光照射条件下,吸光值从24 h之后下降速度变快,避光条件下的色素在观测期内变化不大(吸光值变化在0.002之内)。在日光和灯光处理比较,日光条件下变动相对较大,日光处理的吸光值在48 h左右开始低于灯光处理的数据。但图3看出,无论是日光还是灯光,在短时间内,对胭脂萝卜色素的影响仍有限,吸光值最终变化范围在0.04之内。在24 h出现的灯光和日光条件下的吸光值短暂升高,推测是溶剂挥发导致。根据图4可以看出在室温至40℃之间,胭脂萝卜色素较为稳定,在60℃之后,色素吸光值出现更为明显的下降,可见在室温到40℃的温度区间,色素对温度变化并不敏感,对高温较为敏感。

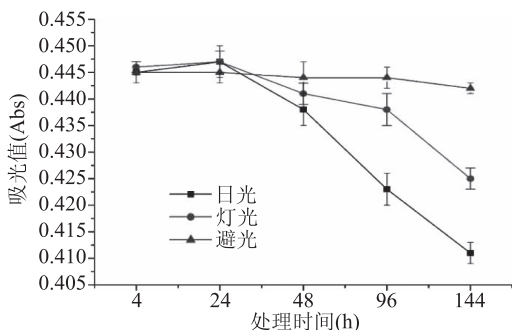


图3 不同光照条件下的色素吸光值

Fig.3 Pigment absorbance under different light conditions

2.2.2 pH稳定性 在pH从3~13变动的同时,吸光值有明显的变化(表1),与中性条件相比,色素在强酸(pH≤5)或强碱(pH≥11)条件下,尤其是在强酸性条件下吸光度值变动极大,可以推测是由于强酸和强碱破坏了色素的结构,导致吸光度值的变化,所以胭脂萝卜色素应在中性环境(pH≈7)下使用。

2.2.3 金属离子稳定性 胭脂萝卜提取液在不同金属离子处理12 h后,各溶液的吸光度均有变化(表2)。肉眼观察溶液颜色时,加Fe³⁺的溶液颜色由紫红色转变为棕红色,加Al³⁺后原紫红色变得更为鲜艳,而Ca²⁺对胭脂萝卜色素的影响是最小的。由此说明,胭脂萝卜红色素的抗Ca²⁺的干扰能力强,抗

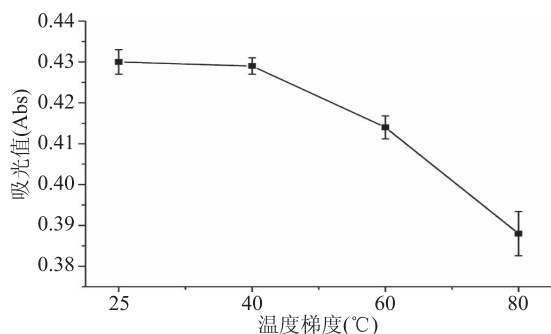


图4 不同温度下色素吸光值

Fig.4 Pigment absorbance at different temperatures

表1 不同 pH 下的色素吸光值

Table 1 Pigment absorbance at different pH values

pH	吸光值(Abs)
3	2.015 ± 0.011
5	1.229 ± 0.006
7	0.443 ± 0.003
9	0.614 ± 0.016
11	0.757 ± 0.002
13	0.371 ± 0.020

Fe³⁺、Al³⁺的干扰能力较弱,故在使用时应注意减少暴露在 Fe³⁺、Al³⁺ 金属离子中,尽量避免使用铁、铝制容器储藏。

表2 常见金属离子处理后色素的吸光值

Table 2 Pigment absorbance after common metal ion treatment

金属离子	吸光值(Abs)
Fe ³⁺	0.460 ± 0.018
Al ³⁺	1.233 ± 0.085
Ca ²⁺	0.452 ± 0.050
空白	0.445 ± 0.040

2.2.4 氧化剂和还原剂稳定性 当胭脂萝卜色素与 H₂O₂ 共存时,吸光值最低值出现在浓度 2% 时的 0.037 ± 0.005,影响较大,在与 Na₂SO₃ 共存时,吸光值在 2% 时为 0.105 ± 0.009,相比较之下, H₂O₂ 试剂处理下的吸光度明显变化更大,与空白对照样吸光度相差最大约为 0.406。所以,可以推测胭脂萝卜色素的耐还原能力比抗氧化能力强。

表3 氧化剂和还原剂处理后色素的吸光值

Table 3 Pigment absorbance after treatment with oxidant and reducing agent

试剂	浓度(%)	吸光值(Abs)
H ₂ O ₂	1	0.059 ± 0.014
	2	0.037 ± 0.005
	3	0.040 ± 0.002
Na ₂ SO ₃	1	0.102 ± 0.012
	2	0.105 ± 0.009
	3	0.197 ± 0.020
空白	-	0.443 ± 0.003

2.2.5 常见食品添加剂对色素稳定性的影响 含有常见食品添加剂的溶液 12 h 后吸光度值变化程度不

同(图5),与空白组相比,食盐对色素的影响不显著,说明胭脂萝卜色素对盐的耐受度较大;而蔗糖相比于食盐,对色素吸光值的影响幅度较为明显,12 h 后吸光值下降大于 0.1,可见此色素对糖的耐受度偏低,因此在应用此类色素时,需要关注多糖的添加。相反,柠檬酸和维生素 C 这类抗氧化剂,对色素有明显的护色作用^[14],可用作此色素的维稳剂。

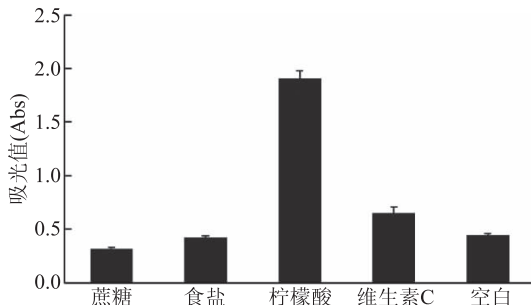


图5 常见食品添加剂处理后色素的吸光值

Fig.5 Pigment absorbance after treatment of common food additives

2.3 抑菌特性

未扩散时胭脂萝卜色素测定液对大肠杆菌的抑菌圈大小为(7.18 ± 0.30) mm,而大肠杆菌在无菌的生理盐水纸片下,抑菌圈大小仅有(4.12 ± 0.12) mm。扩散后,胭脂萝卜色素测定液和无菌生理盐水处理大肠杆菌的抑菌圈大小都有增大,胭脂萝卜色素测定液处理下抑菌圈由未经扩散的(7.18 ± 0.30) mm 扩大为扩散后的(9.01 ± 0.45) mm,说明扩散后抑菌效果更好;同时,扩散后胭脂萝卜色素测定液处理下大肠杆菌的抑菌圈大小仍然大于无菌生理盐水处理下大肠杆菌的抑菌圈大小(5.08 ± 0.15) mm。对于金黄色葡萄球菌,抑菌圈的大小也有相同的规律,但是经扩散和未经扩散处理下,胭脂萝卜色素测定液处理下的金黄色葡萄球菌抑菌圈比相同情况下的大肠杆菌抑菌圈小,说明胭脂萝卜色素测定液对大肠杆菌的抑菌效果良好。综合其他数据可以得出,胭脂萝卜色素对常见的致病性细菌,如金黄色葡萄球菌、大肠杆菌,均有不同程度的抑制效果,且经扩散处理后的效果更为明显。

最小抑菌浓度(MIC)实验结果由表5所示,胭脂萝卜色素在 6.25%~50 的质量浓度之间时,对两个菌种均有较为良好的抑菌效果,胭脂萝卜色素对金黄色葡萄球菌的抑菌作用在 3.13%~6.25% 的质量浓度之间开始出现转折,即在最小质量浓度为 6.25% 时,胭脂萝卜色素对金黄色葡萄球菌就有良好的抑菌效果,而对大肠杆菌的抑菌作用在 1.56%~3.13% 之间开始出现转折,即在最小质量浓度为 3.13% 时对大肠杆菌就有良好的抑菌效果;对比看出相对金黄色葡萄球菌,胭脂萝卜色素对大肠杆菌的抑菌效果更好,与抑菌圈实验结果相似。

在质量浓度逐渐降低的过程中,培养液也愈加浑浊,胭脂萝卜色素对大肠杆菌的抑菌作用从 1.56% 开始到 0.19% 呈现了逐渐减弱的状态,从 0.19% 开始与 0 差别较小,微生物生长情况几乎未受

表4 胭脂萝卜色素作用下培养皿中的抑菌圈(mm)

Table 4 Bacteriostatic ring in petri dish under the action of red radish pigment(mm)

菌种	未经扩散抑菌圈直径		经扩散抑菌圈直径	
	胭脂萝卜色素测定液 b	无菌生理盐水	胭脂萝卜色素测定液 b	无菌生理盐水
大肠杆菌	7.18 ± 0.30	4.12 ± 0.12	9.01 ± 0.45	5.08 ± 0.15
金黄色葡萄球菌	5.34 ± 0.21	3.04 ± 0.20	7.56 ± 0.25	4.49 ± 0.27

表5 最小抑菌浓度

Table 5 Minimum inhibitory concentration

菌种	胭脂萝卜色素质量浓度(%)											
	50.00	25.00	12.50	6.25	3.13	1.56	0.78	0.39	0.19	0.09	0.05	0.00
大肠杆菌	-	-	-	-	-	+	++	+++	++++	++++	++++	++++
金黄色葡萄球菌	-	-	-	-	+	++	+++	++++	++++	++++	++++	++++

备注：“+”表示观察到有微生物生长，“-”表示观察到无微生物生长。

影响;胭脂萝卜色素对金黄色葡萄球菌的抑菌作用从3.13%开始到0.78%逐渐减弱,从0.39%开始与0差别较小。

3 结论

通过对北雁红心萝卜、胭脂萝卜、龙泉红心萝卜、红心一号萝卜等4种萝卜色素分析,发现胭脂萝卜色素总量最高(0.039 mg/g),相比其他果蔬,色素含量具有较高的应用价值。萝卜个体内部色素存在差异,萝卜皮中的色素含量显著高于萝卜内部其他部位($P < 0.05$)。提取色素对高温($\geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)较为敏感,在pH=7时色素较稳定,抗 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 的干扰能力较弱;耐还原能力比耐氧化能力强;柠檬酸和维生素C对色素有保色作用,蔗糖和食盐对色素稳定性影响不显著,且对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有抑制作用。食品加工和贮运过程中如何提高胭脂萝卜色素稳定性及工业化生产仍需进一步研究。

参考文献

- [1] 汪隆植,何启伟.中国萝卜[M].北京:科学技术文献出版社,2005:13-14.
- [2] 梁姗,蒋子川,杨霞,等.高效液相色谱法测定胭脂萝卜中天竺葵素含量[J].广州化工,2017,45(7):92-93.
- [3] 高家祥.红心萝卜和萝卜红色素研究进展及前景展望[J].南方农业,2012,6(9):53-56.

(上接第57页)

- [27] Dai S J, Wei D Z, Zhou D Q, et al. Removing cadmium from electroplating wastewater by waste saccharomyces cerevisiae[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2008, 18(4): 1008-1013.
- [28] 陈灿,王建龙.酿酒酵母对放射性核素铯的生物吸附[J].原子能科学技术,2008,42(4):308-313.
- [29] 于富玲.颗粒活性炭吸附染料的影响因素和分形特征的研究[D].北京:北京林业大学,2005.

- [4] 熊玥,孟余燕,张伦,等.萝卜红色素的研究进展及未来展望[J].现代食品,2018(19):130-133.

- [5] 阳晖,曾召银.超声波辅助法提取胭脂萝卜色素的工艺研究[J].食品工业科技,2012,33(24):325-328.

- [6] 朱卫平,韦庆益,宁正祥,等.低果胶萝卜红色素的提取工艺优化实验研究[J].食品科技,2011,36(6):234-238.

- [7] Fuleki T, Francis F J. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries[J]. Journal of Food Science, 1968, 33(1): 72-77.

- [8] 孟振农,何启伟,郎丰庆,等.萝卜(*Raphanus sativus* L.)不同品种中色素分布的发育变化[J].山东大学学报:自然科学版,2000(2):224-229.

- [9] 汪洪涛,陈成,余芳,等.黑莓渣中原花青素的抑菌性与稳定性研究[J].酿酒科技,2013(12):85-88.

- [10] 宋珊珊,谭沙,蔡国跃,等.火龙果果皮色素提取工艺及稳定性研究[J].食品与机械,2013,29(2):121-125.

- [11] 戴妙妙,马红青,王婷婷,等.紫娟茶中花青素的抑菌性研究[J].食品研究与开发,2017,38(3):28-31.

- [12] 刘健,王海雁,赵淑江.牛津杯法测定五倍子对大黄鱼病原弧菌的体外抑菌活力[J].海洋科学,2009,33(11):44-47.

- [13] 张瑞,邢军,毛居代·亚尔买买提,等.红苋菜天然红色素的提取及其稳定性[J].食品与发酵工业,2013,39(1):208-214.

- [14] 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.

- [27] Dai S J, Wei D Z, Zhou D Q, et al. Removing cadmium from electroplating wastewater by waste saccharomyces cerevisiae[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2008, 18(4): 1008-1013.

- [30] Liu Z R, Md A U, Sun Z X. FT-IR and XRD analysis of natural Na-bentonite and Cu(II)-loaded Na-bentonite[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2011, 79(5): 1013-1016.

- [31] 李家政,孙江晓,史作清.氢键吸附及其展望[J].离子交换与吸附,2001,17(6):561-566.