

文章编号: 1673 1689(2011)01-0138-06

镰刀霉菌(*Fusarium* sp) JN158 紫色素的提取及理化性质

李昌伟¹, 蔡宇杰¹, 廖祥儒^{*1}, 李枝玲², 罗军侠², 张大兵²

(1. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏汉邦科技有限公司, 江苏 淮安 223001)

摘要: 研究了由镰刀霉菌(*Fusarium* sp) JN158 发酵所产紫色素的提取条件和理化性质, 结果表明: 该紫色素的提取溶剂为体积分数 95% 乙醇溶液; 紫色素在酸性条件下对温度, 光照, 柠檬酸和苯甲酸钠有较好的稳定性; 最大吸收波长为 310 nm 和 510 nm; 对 H₂O₂ 和 Na₂SO₃ 敏感; 蔗糖与葡萄糖有增色效果; 金属离子 Zn²⁺、Na⁺、Ca²⁺ 对色素稳定性无影响, K⁺、Mg²⁺、Fe³⁺、Al³⁺、Cu²⁺ 对色素影响较大。

关键词: 镰刀霉菌; 紫色素; 提取; 稳定性

中图分类号: TS 202.3

文献标识码: A

Study on Extraction and the Physicochemical Property of Purple Pigment from *Fusarium* sp. JN158

LI Chang-wei¹, CAI Yu-jie¹, LIAO Xiang-ru^{*1}, LI Zhi-ling²,
LUO Jun-xia², ZHANG Da-bing²

(1. Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122; 2. Jiangsu Hanbang Science & Technology Co. Ltd, Huaian 223001, China)

Abstract: The optimum conditions of extracting purple pigment from the culture of *Fusarium* sp JN158 were studied, and then the physicochemical properties were analyzed. The results showed that the purple pigment could be extracted with 95% ethanol (pH=1). Under the acid condition, the pigment was stable to heat, light, citric acid, and sodium benzoate. The maximum absorption wavelength were 310nm and 510nm, which affected by H₂O₂ and Na₂SO₃. Sucrose and Glucose had the hyperchromic effect; The pigment was influenced by Fe³⁺, Al³⁺, K⁺, Cu²⁺, Mg²⁺, but Mg²⁺, Zn²⁺, Na⁺, Ca²⁺ could not badly affect it at all.

Key words: *Fusarium* sp JN158, purple pigment, extraction, stability

色素即着色剂, 是印染工业和食品添加剂的一个重要组成部分, 它可以改善印染物品和食品的颜色

泽, 是决定产品品质的关键因素之一, 通常分为天然色素和人工色素^[1]。天然色素主要来自于植物、

收稿日期: 2010-06-03

基金项目: 江苏省科技成果转化重大专项项目(BA2007077)。

* 通信作者: 廖祥儒(1964-), 男, 江西南康人, 教授, 博士研究生导师, 从事生化与分子生物学研究。

Email: liaoxiangru@163.com

动物、微生物和矿物质等^[2]。而矿物色素大多对人体有害, 现已不再用于食品的着色; 动植物色素是天然色素应用最多的一类, 但由于原料受季节、气候、产地等因素的影响, 从中提取的色素价格昂贵, 应用受到局限。合成色素一般色泽鲜艳、着色力强、稳定性好, 还易于溶解、调色, 此外其成本较低, 所以受到许多厂家的青睐, 但不少合成色素具有慢性毒性和致癌性, 已有逐渐被天然色素取代的趋势^[2-3]。目前人们已经认识到, 天然色素也可以改善食品色泽、增加营养, 并能提高安全性, 是食品加工中决定食品质量的关键因素之一, 另外在化妆品和医药工业中也有广泛的用途。

利用微生物资源生产天然色素, 克服了以动植物为原料生产天然色素的诸多不足, 并且易于工业化生产。因此, 采用微生物生产天然色素将逐渐成为天然色素来源的主流^[4]。作者正是着眼于微生物产色素这一优点, 利用镰刀霉菌(*Fusarium* sp) JN158 液态发酵产紫色素, 并对该紫色素的提取条件及理化性质进行了初步研究, 以探索其在生产中的应用前景。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 菌 种

镰刀霉菌(*Fusarium* sp) JN158, 作者所在实验室筛选并保藏。

1.1.2 培养基 PDA 斜面培养基(g/L): 土豆 200, 葡萄糖 20, 琼脂 20, pH 自然; 种子培养基(g/L): 土豆 200, 葡萄糖 20, pH 自然; 液态发酵培养基(g/L): 土豆 200, 葡萄糖 20, 牛肉膏 3, pH 自然。

1.1.3 试剂 丙酮、氯仿、盐酸、无水乙醇、乙酸乙酯、石油醚、异丙醇、二甲基亚砷、葡萄糖、蔗糖、柠檬酸、苯甲酸钠、亚硫酸钠、双氧水等均为分析纯。

1.1.4 仪器 高速冷冻离心机: HITACHI 公司产品; PB-10 pH 计: 赛多利斯科学仪器有限公司产品; 冷冻干燥机 EZ585Q: 美国 FTS 公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 镰刀霉菌的培养及色素提取 从斜面培养基上挑取菌落一小块, 转接到有种子培养基的三角瓶(250 mL 三角瓶中装液量 50 mL), 30 ℃下旋转式摇床以 200 r/min 的转速培养 36 h, 以 5% 的接种量接到 4 L 的发酵罐中(装液量 3.5 L), 发酵 72 h。发酵液经离心 10 min(8 000 r/min), 收集紫色菌体冷冻干燥, 加入 4 倍体积的体积分数 95% 乙醇溶液(pH=1, HCl 调节 pH 值)浸提 4 h, 得到色素

提取液, 再加入 1 mol/L NaOH 溶液直到颜色褪净, 离心得到紫色沉淀, 即得色素粗品。

1.2.2 几种破壁方法对紫色素提取的影响 取 0.1 g 的干菌体, 分别用研磨法, 反复冻融法, 细胞自溶法, 甲苯法^[7]破碎细胞, 然后加 10 mL 的体积分数 95% 乙醇(pH=1)浸提 4 h, 在 510 nm 处测定色素提取液的吸光值, 对照为直接用 95% 乙醇(pH=1)浸提。

1.2.3 提取条件的研究

1) 提取溶剂对色素提取的影响 取破碎后的干菌体 0.1 g, 分别加入 10 mL 的水, 无水乙醇, 体积分数 95% 乙醇(pH=1, HCl 调节 pH 值), 甲醇, 丙酮, 氯仿, 乙酸乙酯, 石油醚, 异丙醇和二甲基亚砷中, 室温下浸提 4 h, 在 510 nm 处测定色素提取液的吸光值。

2) 提取液 pH 对色素提取的影响 取破碎后的干菌体 0.1 g, 分别加入 10 mL pH 为 1~6 的 95% 乙醇, 在室温下浸提 4 h, 然后离心得上清, 在 510 nm 处测定吸光值。

3) 乙醇体积分数对色素提取的影响 取 pH=1 的体积分数别分为 40、50、60、70、80、90、95% 乙醇 4 mL 加入到 0.1 g 菌体中, 室温下浸提 4 h, 离心得上清, 在 510 nm 处测定吸光值。

1.2.4 色素的显色反应 对色素溶液进行不同的物理、化学处理(如不同光照, 化学试剂), 观察色素溶液颜色变化。分别取 10 mL 色素提取液放置在日光灯与紫外灯下照射 1 h, 同时取 10 mL 色素提取液, 分别加入 200 μL, 质量分数 1% 的硝酸铝, 中性醋酸铅, 氯化锶, 三氯化铁, 硼酸, 氨水, 反应 5 min 后观察变化现象。

1.2.5 色素的稳定性研究 取一定量色素样品溶于一定量的体积分数 95% 乙醇(pH=1, HCl 调节 pH 值)中得到色素溶液, 以便于研究其稳定性。

1) 热稳定性 取色素溶液 5 mL, 分别置于 4、20、30、40、50、60、70、100 ℃的水浴锅中加热 1 h, 然后在 510 nm 处测定吸光值。

2) 光照对色素的影响 取 10 mL 色素液放入平板中(用保鲜膜封口), 分别置于太阳光和紫外灯下照射 24 h, 每 3 h 在 510 nm 处测一次吸光值。

3) 金属离子对色素稳定性的影响 配置含各种金属离子的溶液, 浓度分别为 0.005、0.05、0.1 mol/L, 取 5 mL 色素溶液, 分别加入 500 μL 各种金属离子溶液, 相同条件下放置 3 h, 然后在 510 nm 处测定吸光值。

4) 氧化剂与还原剂的影响 分别配置质量分

数为 0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 的 H_2O_2 和 Na_2SO_3 , 分别取 1 mL 加入到 5 mL 的色素液中, 放置 1 h 后在 510 nm 处测定吸光值。

5) 葡萄糖和蔗糖对色素的影响 分别配置质量分数为 2.5%、5%、10%、20% 的葡萄糖和蔗糖溶液, 取 1 mL 加入到 5 mL 的色素液中, 放置 1 h 后在 510 nm 处测定吸光值。

6) 食品添加剂 配制质量分数为 0.5% 的苯甲酸钠和柠檬酸, 各取 200 μ L 放入一定浓度的 5 mL 色素液中, 在室温下暗处放置 24 h, 定时在 510 nm 处测定吸光值。

2 结果与讨论

2.1 紫色素含量测定最佳波长的确定

经镰刀霉菌 (*Fusarium* sp) JN158 发酵得到大量菌丝体, 经干燥后加入 40 倍体积的体积分数 95% 乙醇 ($pH=1$, HCl 调节 pH), 8 000 r/min 离心 10 min 得到红色提取液, 再往色素提取液中加入 1 mol/L NaOH 溶液直到红色褪净, 离心得到紫色沉淀, 即得色素粗品。取 10 mg 色素溶于 4 mL 的体积分数 95% 乙醇溶液 ($pH=1$), 然后通过分光光度计 (UV-3000) 全波长扫描, 结果见图 1。

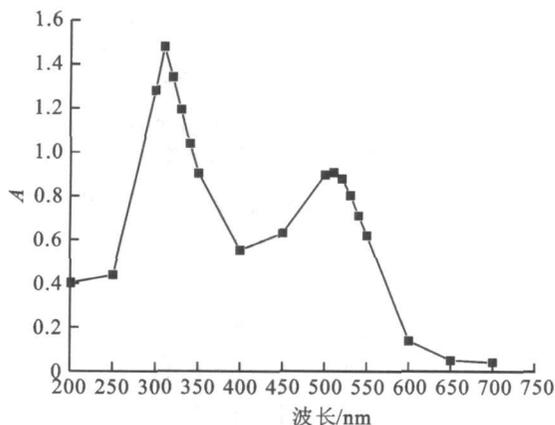


图 1 紫色素吸收光谱曲线

Fig. 1 Absorption spectrum of purple pigment

由图 1 可知, 该色素在波长 200~700 nm 之间最大吸收值为 310 nm 和 510 nm, 由于提取液中可能混有蛋白质和核酸等众多物质, 这些物质在紫外区均有吸收, 因而选取可见光的最大吸收波长以便测定提取液中的值, 可以提高色素含量测定的灵敏度和稳定性, 避免其它因素的干扰, 能够更准确的反映色素的相对含量, 故后继研究中天然紫色素相对含量的确定均以 A_{510} 为指标。

2.2 几种破壁方法对色素提取的影响

由于该色素是存在于菌体中, 为了更有效的提

取色素, 所以要对发酵菌体进行破壁, 其影响的结果如表 1 所示。由表可知, 4 种破壁方法中, 反复冻融法的破壁效果最差, 其次是研磨法和甲苯法, 效果最好的是细胞自溶法, 总吸光值可达到 1.518, 相对提高 68.1%。所以作者选择细胞自溶法为最佳破壁方法, 并且分别对这 4 种破壁方法提取的色素液进行了全波长扫描, 吸收峰不变。

表 1 破壁对色素提取的影响

Tab. 1 Effect of destrong cell wall on pigment extraction

破碎方法	$A_{510\text{nm}}$	相对提取率/ %
对照	0.903±0.019	100
反复冻融	0.964±0.035	106.8
研磨	1.006±0.046	111.4
甲苯法	1.231±0.044	136.3
细胞自溶	1.518±0.029	168.1

2.3 提取条件的选择

色素的提取主要有以下几种方法: 溶剂萃取法、压榨法、粉碎法、酶反应法、培养法等, 但是大部分生产天然色素的原料, 基本上都是利用溶剂萃取的方法。有机溶剂提取法萃取剂便宜、设备简单, 且操作步骤简单易行、提取率较高。因此, 选用有机溶剂提取法。

2.3.1 提取溶剂对色素提取的影响 天然色素原料萃取所用的溶剂应根据不同原料所含不同色素的性质来选择。一般采用的溶剂是乙醇、水、丙酮、氯仿、石油醚等。通过实验观察该紫色素易溶于酸性乙醇和二甲基亚砜, 微溶于甲醇, 不溶于水, 乙醇, 丙酮, 氯仿, 乙酸乙酯, 石油醚, 异丙醇。在酸性条件下显红色, 二甲基亚砜中显紫色。从安全与经济上来考虑, 因此选用盐酸-乙醇作为最佳提取剂。

2.3.2 提取溶剂的 pH 对色素提取的影响 由于有些色素不稳定, 需要处于不同 pH 值的环境中, 采用混合溶剂萃取法来提高萃取率, 因此选择了盐酸-乙醇作为提取剂。提取液 pH 对色素提取的影响如图 2 所示, 由图可以看出, pH 值越小, 提取效果越好, 在本实验范围内, 当提取液 $pH=1$ 时, 色素提取效果最佳。

2.3.3 乙醇体积分数对色素提取的影响 为了能够更有效的提高色素提取率和合理利用有机溶剂, 因此要确定乙醇体积分数对色素提取的影响。结果如图 3 所示, 由图 3 可知, 用 $pH=1$ 的体积分数 95% 乙醇作为提取剂效果最好, 所以实验中选用 95% 乙醇 ($pH=1$, HCl 调节 pH) 作为最佳提取条件。

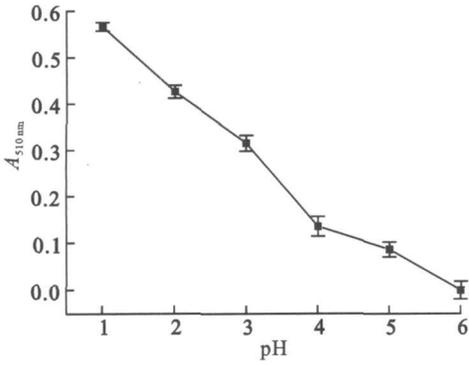


图 2 pH 对紫色素提取的影响

Fig. 2 Effect of pH on Purple pigment extraction

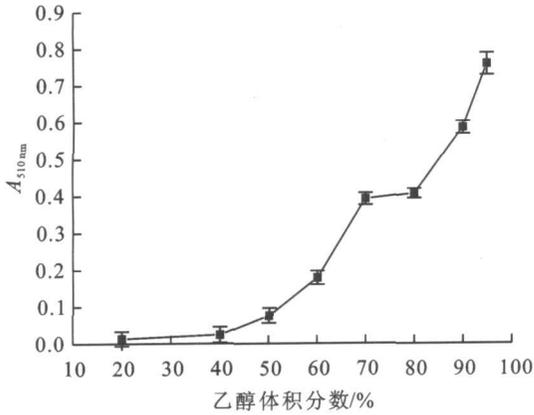


图 3 乙醇体积分数对紫色素提取的影响

Fig. 3 Effect of ethanol on purple pigment extraction

2 3 4 色素的显色反应 由于多数天然化合物结构中含有一些特殊基团, 所以经一些物理、化学处理会有特定的反应变化^[11]。由表 2 可知, 该紫色素在可见光和紫外光下所显红色是其本色; 而经氨水和氯化铯(氨性)处理显示的颜色变化是由于溶液的 pH 值由酸性变碱性, 导致色素沉淀; 醋酸铅使色素形成白色沉淀, 是因为该色素中含有邻二酚羟基或兼有 3-OH, 4=O 或 5-OH, 4=O, 与醋酸铅形成络合物; FeCl₃会使色素有绿色沉淀, 说明色素中含有游离酚羟基; 硝酸铝使色素由红色变为紫红色。

表 2 物理、化学处理对色素颜色的影响

Tab. 2 Effect of physical and chemical disposal on purple pigment

处理条件	颜色变化	沉淀情况
可见光下	红色	无
紫外光下	红色	无
质量分数 1% 硝酸铝	紫红色	无
质量分数 1% 中性醋酸铅	浅红	白色沉淀
质量分数 1% 氯化铯	浅红	紫色沉淀
质量分数 1% 三氯化铁	绿色	绿色沉淀
质量分数 1% 硼酸	红色	无
氨水处理	褪色	紫色沉淀

2 3 5 色素的稳定性研究 由于大部分天然色素对光、热、氧、金属离子等敏感, 稳定性较差, 严重制约着它的开发应用。

1) 色素热稳定性 色素的热稳定性结果见图 4, 由图可知该色素在酸性乙醇中对热较稳定, 在一定的温度条件下加热红色素, 吸光度增加且随着温度的升高, 在 50 °C 以下随时间的延长吸光度值变化不大, 说明红色素在 50 °C 以下比较稳定; 当温度为 60 °C 时, 随着时间的延长, 溶液的吸光度略有下降的趋势。总体来说该色素的耐热性较好。因此应用于食品加工中可以耐受一定程度的高温处理。

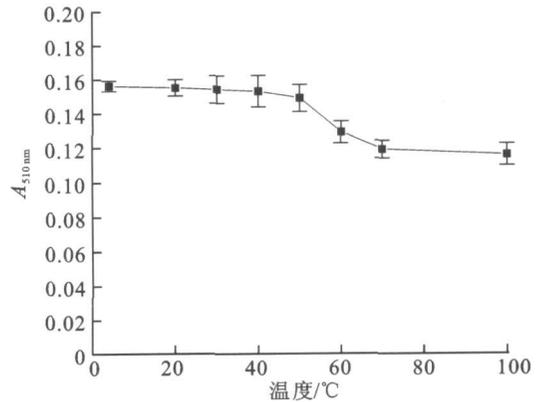


图 4 温度对色素稳定性的影响

Fig. 4 Effect of temperature on purple pigment stability

2) 光照对色素的影响 光照结果见图 5, 在室内避光放置 24 h, 该色素不会变化, 在阳光直射和紫外灯(色素置于培养皿中, 保险膜封口)下照射 24 h 后, 色素有些褪色, 吸光值有所下降, 变化不大。因此认为与其他常见的天然色素相比, 该色素在体积分数 95% 乙醇溶液 (pH=1, HCl 调节 pH 值) 中具有较好的光稳定性, 但在加工和使用过程中仍应尽量避免长时间的日光直射。

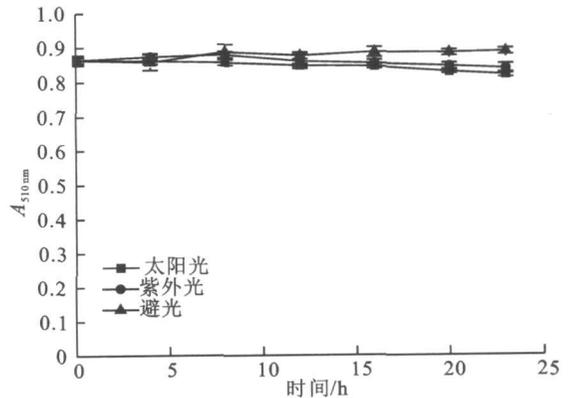


图 5 光照对色素稳定性的影响

Fig. 5 Effect of illumination on stability of purple pigment

3) 金属离子对色素稳定性的影响 金属离子

对色素的影响如表3所示,由表可知,当加入 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 时,随着离子浓度的升高,色素的吸光度逐渐下降, Al^{3+} 是颜色由红色变为紫红色,说明这种离子影响色素的稳定性;加入 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} ,因为这2种离子本身颜色的影响,所以随着浓度的增大,色素吸光度下降, Fe^{3+} 还会和色素形成络合沉淀物,而在 Zn^{2+} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等离子存在的条件下,色素非常稳定,且色泽鲜艳。

表3 不同金属离子对色素的影响

Tab. 3 Effect of metal iron on purple pigment stability

金属离子	离子浓度/ (mol/L)	放置3h后 的 $\Delta A_{510\text{nm}}$	颜色 变化	沉淀 情况
Mg^{2+}	0.005	0.308 ± 0.002	红色	无
	0.05	0.305 ± 0.007		
	0.1	0.289 ± 0.003		
Zn^{2+}	0.005	0.300 ± 0.007	红色	无
	0.05	0.303 ± 0.005		
	0.1	0.306 ± 0.009		
Cu^{2+}	0.005	0.278 ± 0.007	蓝色	无
	0.05	0.195 ± 0.007		
	0.1	0.131 ± 0.003		
Fe^{3+}	0.005	0.284 ± 0.003	棕绿色	绿色沉淀
	0.05	0.192 ± 0.004		
	0.1	0.153 ± 0.007		
Na^+	0.005	0.297 ± 0.010	红色	无
	0.05	0.308 ± 0.004		
	0.1	0.313 ± 0.006		
K^+	0.005	0.321 ± 0.006	红色	无
	0.05	0.309 ± 0.011		
	0.1	0.305 ± 0.007		
Al^{3+}	0.005	0.303 ± 0.012	紫红色	无
	0.05	0.267 ± 0.009		
	0.1	0.232 ± 0.007		
Ca^{2+}	0.005	0.305 ± 0.005	红色	无
	0.05	0.316 ± 0.008		
	0.1	0.312 ± 0.009		

4) 氧化剂与还原剂的影响 结果见图6,由图可知 H_2O_2 、 Na_2SO_3 使色素褪色,吸光度明显下降。原因可能是色素属多元酚,极易氧化,从而导致色素分解。

5) 葡萄糖和蔗糖对色素的影响 结果见图7,由图可知,葡萄糖和蔗糖对色素都有增色效应,颜色不变。随着糖浓度的增加,吸光值升高不太明显,说明色素在体积分数95%乙醇溶液($pH=1$, HCl 调节 pH) 中的耐糖性比较稳定。

6) 食品添加剂对色素稳定性的影响 苯甲酸钠和柠檬酸是常用的食品添加剂,对色素稳定性影响结果见表4,由表可知,苯甲酸钠和柠檬酸随放置

时间的变化在体积分数95%乙醇溶液($pH=1$, HCl 调节 pH) 中对色素稳定性没有影响。

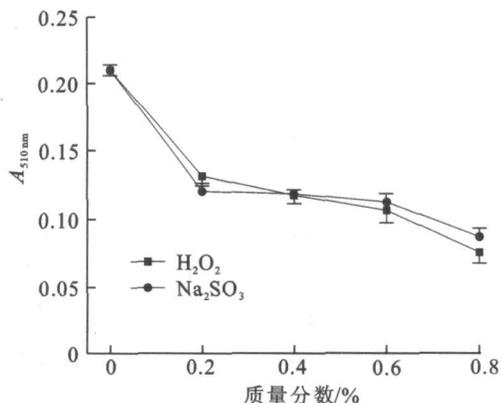


图6 不同质量分数的氧化剂与还原剂对色素的影响

Fig. 6 Effect of oxidizer and reducing agents on purple pigment stability

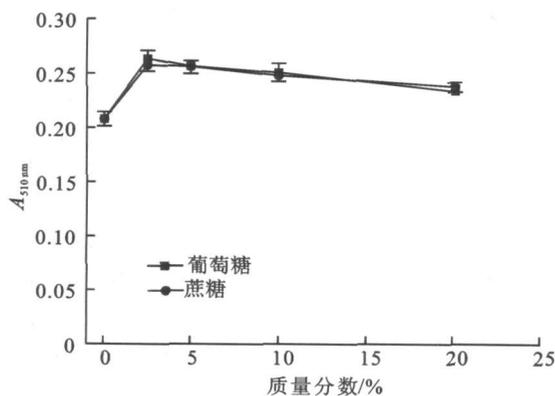


图7 不同质量分数的糖对紫色色素的影响

Fig. 7 Effect of different concentration sugar on purple pigment stability

表4 不同食品添加剂对紫色色素的影响

Tab. 4 Effect of different food additives on purple pigment stability

添加剂	$A_{510\text{nm}}$			
	2 h	4 h	8 h	24 h
对照	0.208 ± 0.006	0.208 ± 0.006	0.208 ± 0.006	0.208 ± 0.006
	0.227 ± 0.007	0.231 ± 0.003	0.293 ± 0.005	0.310 ± 0.004
苯甲酸钠	0.227 ± 0.005	0.235 ± 0.003	0.228 ± 0.008	0.224 ± 0.01

3 结语

研究了镰刀霉菌紫色素的提取条件和理化性质,选择用体积分数95%乙醇($pH=1$, HCl 调节 pH) 来作为提取剂;在310 nm和510 nm处有吸收峰;易溶于酸性的有机溶剂和 $DMSO$, 微溶于甲醇;

色素在酸性条件下呈红色,在 DMSO 中呈紫色,在中性和碱性条件下不溶,呈紫色的粉末状;在酸性条件下热稳定性较好;具有较好的光稳定性;对 H_2O_2 和 Na_2SO_3 敏感;蔗糖与葡萄糖有增色效果;金属离子 Zn^{2+} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 对色素稳定性无影响, K^+ 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Cu^{2+} 对色素影响较大;氨水和氯化锶(氨性)会使色素沉淀;醋酸铅使色素形成白色沉淀;硝酸铝使色素由红色变为紫红色。

近年来合成色素陆续从各国许可使用范围内被撤除,而天然色素研究日趋活跃。目前大部分国

内许可使用的天然色素是从植物中提取得到,然而,这些天然色素远远不能满足现实的需求,急待我们去开发新型的色素资源。作者所研究的紫色素属于天然色素,从对它性质的初步研究发现,目前尚未发现对该色素的相关报道,所以对其分子量、化学式等都还不了解,要想把其用作食品添加剂或用于化妆品和医药中,还必须对其做一些必要的毒理试验,弄清此紫色素的化学结构式,是今后研究工作的重点。

参考文献(References):

- [1] 陈运中.天然色素的生产及应用[M].北京:中国轻工业出版社,2007,21.
- [2] 邓祥元,王淑军,李富超,等.天然色素的资源和应用[J].中国调味品,2006,10(10):49-53.
DENG Xiang yuan, WANG Shu jun, LI Fu chao, et al. Resources and application of natural pigments[J]. **China Condiment**, 2006, 10(10):49-53. (in China)
- [3] Sava V M, Yang S- M, Hong M- Y, et al. Isolation and characterization of melanic pigments derived from tea and tea polyphenols[J]. **Food Chemistry**, 2001, 73 (2) :177-184.
- [4] 王君,张宝善.微生物生产天然色素的研究进展[J].微生物学通报,2007,34(03):580-583.
WANG Jun, ZHANG Bao shan. Research progress on natural pigments produced by microorganisms[J]. **Microbiology**, 2007, 34(3):580-583 (in China)
- [5] 曾立峰,图力古尔.大型真菌色素的研究现状与应用前景[J].菌物研究,2005,3(04):57-62.
ZAN Li feng, TU Li guer, Research and application of Macofungi pigment[J]. **Journal of Fungal Research**, 2005, 3(04):57-62 (in China)
- [6] P Robert, R M Carlsson, N Romero, et al. Stability of spray-dried encapsulated carotenoid pigments from rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa*) oleoresin[J]. **JAACS**, 2003, 80, (11):1115-1119.
- [7] 刘小娟.产红色素菌株的筛选、鉴定、色素提取、红色素发酵工艺及性质的研究[D].合肥:安徽农业大学,2008.
- [8] 霍文兰.桑果红色素的提取及性能[J].食品与生物技术学报,2006,25(1):74-78.
HUO Wen lan. Extraction of red pigment from mulberry and its stability[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2006, 25(1):74-78. (in China)
- [9] 金青哲,齐策,王兴国等.辣椒红色素的分离及光稳定性研究[J].食品与生物技术学报,2007,26(2):53-57.
JIN Qin g zhe, QI Ce, WANG Xing guo. Study on the Separation and Photostability of the Paprika Pigments[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2007, 26(2):53-57. (in China)
- [10] 苏宇杰,印小燕,蔡宇杰等.竹黄中竹红菌素的提取及稳定性研究[J].食品工业科技,2009,(02):261-264.
SU Yu jie, YIN Xiao yan, CAI Yu jie, et al. Study on extraction and stability of hypocrelin in shiraia bambusicola hemm[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2009,(02):261-264. (in China)
- [11] 张培成.黄酮化学[M].北京:化学工业出版社:2009.1,350-400.
- [12] 苏龙,刘洪海,吴弦华等.一株高产红色素菌的筛选及其色素的提取和理化性质研究[J].食品科技,2007,(12):36-38.
SU Long, LIU Hong hai, WU Xi an hua, et al. Screening test and study on the physicochemical property of its pigment for a microbial strain producing high yield of red pigment[J]. **Food Science and Technology**, 2007, (12):36-38. (in China)
- [13] 杨佩荣,康健彪.草莓色素的提取及稳定性的研究[J].冷饮与速冻食品工业,2003,9(01):24-28.
YANG Pei rong, KANG Jian biao. Study on the extraction method and stability of strawberry pigment[J]. **Beverage & Fast Frozen Food Industry**, 2003,9(01):24-28. (in China)
- [14] 李一苇,张明.链霉菌 ZLT 产生的蓝色素性质研究[J].激光生物学报,2008,17(2):202-205.
LI Yi wei, ZHANG Ming. A Study on Properties of the Blue Pigment by *S. treptomyces* sp. ZLT[J]. **ACTA LASER BIOLOGY SINICA**, 2008, 17(2):202-205. (in China)
- [15] 王飞,石晓,刘畅,等.一株细菌产紫红色素的稳定性研究[J].食品工业科技,2009,(12):332-334.
WANG Fei, SHI Xiao, LIU Chang, et al. Study on stability of pigment from a purplish red bacterium[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2009,(12):332-334. (in China)
- [16] 王川.茄子紫色素的提取工艺及稳定性研究[J].食品科学,2007,28(1):118-120.
WANG Chuan. Research on extraction and stability of eggplant purple pigment[J]. **Food and Science**, 2007, 28(1):118-120. (in China)
- [17] 张莲姬,张敬爱.黑木耳中黑色素的提取及其稳定性研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2006,37(3):369-371.
ZHANG Lian ji, ZHANG Jing ai. Study of exmelanin from *auricularia* and its stability[J]. **Journal of Shan dong Agricultural University: Natural Science**, 2006, 37(3):369-371. (in China)