

黑莓果实色素的稳定性分析

赵慧芳, 王小敏, 崔恩惠, 闫连飞, 吴文龙, 李维林^①

(江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014)

摘要: 研究了光照、温度、pH 值、氧化剂(H_2O_2)和还原剂(Na_2SO_3)对黑莓(*Rubus* spp.)果实色素水溶液稳定性的影响。结果表明,黑莓果实色素为水溶性花色苷类化合物,对光和热有较好的耐受性,对 pH、 H_2O_2 和 Na_2SO_3 较敏感,且耐还原性略强于耐氧化性。在小于 pH 4.0、温度低于 50 °C 及避光条件下黑莓果实色素的稳定性较好,可作为食品色素添加剂使用。

关键词: 黑莓; 果实; 色素; 稳定性

中图分类号: S663.2; Q946.83 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2008)02-0050-06

Analysis on stability of pigment from blackberry fruit ZHAO Hui-fang, WANG Xiao-min, CUI En-hui, LÜ Lian-fei, WU Wen-long, LI Wei-lin^① (Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2008, 17(2): 50-55

Abstract: The effects of light, temperature, pH value, oxidant (H_2O_2) and reductant (Na_2SO_3) on stability of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit were studied. The results show that the pigment from blackberry fruit is water-soluble anthocyanins. The pigment is resistive to light and heat, but it is sensitive to pH value, H_2O_2 and Na_2SO_3 . The reduction resistance of the pigment is slightly stronger than the oxidation resistance of the pigment. It is concluded that the stability of the pigment is better under the conditions of pH lower than pH 4.0, temperature below 50 °C and darkness, and it can be used as a food additive.

Key words: blackberry (*Rubus* spp.); fruit; pigment; stability

黑莓(*Rubus* spp.)为蔷薇科(Rosaceae)悬钩子属(*Rubus* L.)植物,原产北美^[1],是新兴的第三代小果类果树。黑莓果实柔嫩多汁、酸甜爽口、风味独特、色泽艳丽,其鲜果和加工产品受到欧美消费者的青睐。江苏省·中国科学院植物研究所于1986年开始黑莓引种与利用研究,至今已成功引进19个黑莓品种,并在生产中得到逐步推广应用^[2]。黑莓果实中含有大量的 V_C 、 V_E 及多种微量元素和氨基酸^[3],其中还含有大量的花色苷类物质,由这些花色苷类物质构成的天然食用色素具有很高的药用价值,国外很多学者已经对黑莓果实花色苷类成分的抗癌^[4-5]和抗氧化作用^[6-8]进行了深入研究,目前,有关黑莓果实色素稳定性的研究则较少。作者从黑莓成熟果实中提取、纯化得到黑莓果实色素,并对黑莓果实色素在光、热等条件下的稳定性进行了比较分析,以期为进一步开发利用这一丰富的天然色素资源提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为黑莓品种‘Boysen’的单粒速冻果,于2007年6月在江苏省·中国科学院植物研究所苗圃内采集新鲜成熟的果实, -18 °C 速冻保存。

1.2 方法

1.2.1 色素的提取方法 将速冻的黑莓果实用微波解冻,用搅拌机直接打浆后,按1 g 果浆加入2 mL

收稿日期: 2008-01-21

基金项目: 国家科学技术部星火计划项目(2007EA691013); 国家科学技术部农业科技成果转化资金项目(2007GB2C100118); 南京市科技人才创新项目(200703014); 江苏省高技术项目(BG2007311)

作者简介: 赵慧芳(1984—),女,山西临汾人,硕士研究生,研究方向为药用植物学。

^① 通讯作者 E-mail: lwlcnbq@mail.cnbg.net

提取溶剂[$V(80\% \text{乙醇}):V(\text{浓盐酸})=99:1$]的比例加入提取溶剂, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下提取 60 min , 提取液抽滤后, 残渣按上述条件重复提取 1 次, 重复提取时提取溶剂用量减半, 提取液抽滤后合并, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 减压浓缩, 经大孔树脂纯化, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 真空干燥后获得黑莓果实色素粉末。

1.2.2 色素溶解性的分析方法 取 7 份黑莓果实色素粉末, 各 1.0 mg , 分别加入 10 mL 水、无水乙醇、甲醇、丙酮、正丁醇、乙酸乙酯、氯仿 7 种溶剂, 搅拌均匀后, 放置 20 min , 观察黑莓果实色素粉末的溶解情况^[9]。

1.2.3 色素光谱特性的分析方法 精确称取黑莓果实色素粉末 100.0 mg , 用纯净水溶解后定容至 25 mL 。测定色素溶液的 pH 值, 以纯净水为空白对照, 用紫外可见分光光度计在可见光波长范围内扫描, 记录吸收光谱及最大吸收波长 (λ_{max})^[10]。

1.2.4 色素光稳定性的分析方法 称取黑莓果实色素粉末 100.0 mg , 用纯净水溶解后定容至 100 mL 。取 5 mL 色素溶液, 用 pH 3.0 的柠檬酸-磷酸二氢钠缓冲液稀释 6 倍, 以 5 mL 水加缓冲液为空白对照, 测定其在 514 nm 处的吸光度^[11], 并计算色价^[12]。另取 18 支具塞试管, 分为 3 组, 每组 6 支试管, 各加入 5 mL 色素溶液, 分别放置在室外太阳光直射(光照度约 $6 \times 10^4\text{ lx}$)、室内散射光和避光条件下, 每隔 1 h 在 514 nm 处测定吸光度, 共测 6 次, 计算色价及色素保存率。实验各重复 3 次。

1.2.5 色素热稳定性的分析方法 精确称取黑莓果实色素粉末 100.0 mg , 用纯净水溶解后定容至 100 mL 。取 5 mL 色素溶液, 用 pH 3.0 的柠檬酸-磷酸二氢钠缓冲液稀释 6 倍, 以 5 mL 水加缓冲液为空白对照, 测定其在 514 nm 处的吸光度, 并计算色价。另取 24 支具塞试管, 分为 4 组, 每组 6 支试管, 分别加入 5 mL 色素溶液, 于避光条件下分别置于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅中, 每隔 1 h 在 514 nm 处测定吸光度, 共测 6 次, 计算色价及色素保存率。实验各重复 3 次。

1.2.6 pH 对色素稳定性影响的分析方法 称取黑莓果实色素粉末 1.0 g , 用纯净水溶解后定容至 50 mL 。取 5 mL 色素溶液, 分别用柠檬酸-磷酸二氢钠缓冲液(分别为 pH 2.2、pH 3.0、pH 4.0、pH 5.0、pH 6.0、pH 7.0 和 pH 8.0)^[13-15]、盐酸-氯化钾缓冲液(pH 1.0)和醋酸-醋酸钠缓冲液(pH 4.5)定

容至 100 mL , 以各缓冲液为空白对照, 用紫外可见分光光度计在可见光波长范围内进行光谱扫描, 记录吸收光谱及最大吸收波长 (λ_{max})。在避光条件下, 测定各色素溶液在最大吸收波长下的吸光度, 并在 1、3、9 及 20 h 后各测定 1 次, 考察各色素溶液在 20 h 内 pH 的稳定性。实验各重复 3 次。

精确称取黑莓果实色素粉末 2 份, 各 100.0 mg , 分别用 pH 3.0 的柠檬酸-磷酸二氢钠缓冲液和纯净水溶解后定容至 100 mL , 配制成 pH 3.0 和 pH 4.06 的黑莓果实色素溶液。在直射光条件下按上述方法测定黑莓果实色素溶液在酸性条件下的光稳定性以及热稳定性。实验各重复 3 次。

1.2.7 色素耐氧化还原性的分析方法 精确称取黑莓果实色素粉末 500.0 mg , 用纯净水溶解后定容至 500 mL , 备用。分别取 25 mL 色素溶液, 各加入 25 mL 体积分数 $0.5\% \sim 2.0\%$ 的 H_2O_2 溶液(氧化剂)或浓度为 $60 \sim 200\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Na_2SO_3 溶液(还原剂), 使溶液中 H_2O_2 的终浓度分别为 0.25% 、 0.50% 、 0.75% 和 1.00% , Na_2SO_3 的终浓度分别为 30 、 50 、 70 和 $100\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[16], 混匀; 对照为 25 mL 色素溶液与 25 mL 纯净水的混合液。每 15 min 取一定量溶液在 514 nm 处测定吸光度, 共测定 5 次。实验各重复 3 次。

加入 H_2O_2 溶液或 Na_2SO_3 溶液 1 h 后, 每隔一定时间用移液管吸取 5 mL 色素溶液, 分别滴加少量的 Na_2SO_3 、 H_2O_2 或柠檬酸溶液, 观察黑莓果实色素溶液的颜色变化。

1.3 数据处理

用色价和色素保存率 2 个指标衡量不同条件下黑莓果实色素的稳定性。色价 = $(A \cdot f) / W$, 式中: A 为峰值下的吸光度; W 为取样量 (g); f 为样品溶液的稀释倍数。色素保存率 = $(E_1 / E_0) \times 100\%$, 式中: E_0 为处理前的色价; E_1 为处理后的色价。

2 结果和分析

2.1 黑莓果实色素的溶解性

根据黑莓果实色素在不同溶剂中的溶解情况可以判定, 黑莓果实色素极易溶于水、乙醇和甲醇, 微溶于丙酮、正丁醇和乙酸乙酯, 不溶于氯仿, 其不同溶剂中的溶解性从大到小依次为甲醇、无水乙醇、水、丙酮、正丁醇、乙酸乙酯、氯仿。

2.2 黑莓果实色素的光谱特性

花色苷类成分在不同 pH 条件下表现出的光谱特性差异较大。实验测定的黑莓果实色素水溶液的 pH 值为 4.06, 其吸收光谱见图 1。由图 1 可见, 黑莓果实色素在可见光区(400 ~ 600 nm)有 1 个吸收峰, 峰值波长(λ_{\max})为 521 nm, 与有关文献和图谱^[16-17]比较, 发现这一峰值是花色苷类色素的特征吸收峰, 说明黑莓果实色素属于花色苷类化合物。

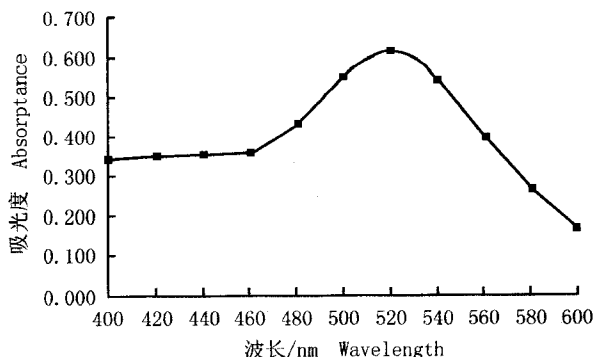


图 1 黑莓果实色素水溶液的吸收光谱
Fig. 1 Absorption spectrum, of water solution of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit

2.3 黑莓果实色素的光稳定性

在太阳光直射、散射光和避光 3 种不同光照条件下, 黑莓果实色素溶液的色价和保存率均随时间延长而不断下降(表 1), 尤其是在太阳光直射条件下黑莓果实色素的降解速度最快, 说明在该条件下色素最不稳定。在太阳光直射条件下照射 6 h 后色素溶液的色价从 41.29 下降到 35.10, 色素保存率也仅为 85.01%; 而在散射光条件下照射 6 h 后色素

溶液的色价为 38.96, 色素保存率为 94.36%; 避光条件下保存 6 h 后色素溶液的保存率为 96.85%, 色素降解最少。由此可知, 光照对黑莓果实色素的稳定性有显著影响, 且光照强度为决定性因素, 这与赵伯涛等^[13]的研究结果一致。

在太阳光直射条件下, 黑莓果实色素溶液的温度高于散射光及避光条件, 照射 2 h 即达到 30 °C 以上, 因此, 温度与黑莓果实色素溶液的光稳定性有一定关系。太阳光照射 6 h 后黑莓果实色素的保存率还能达到 85%, 据此可认为, 黑莓果实色素具有一定的光稳定性。但在实际应用中仍要尽量避免黑莓果实色素受到太阳光的长时间直射。

2.4 黑莓果实色素的热稳定性

温度对黑莓果实色素溶液的色价和保存率均有一定的影响, 温度越高、持续时间越长, 影响越大(表 2)。在 30 °C 条件下保存 6 h, 色素的损失最小, 保存率仅降低了 3.49%; 在 50 °C 和 70 °C 条件下保存 6 h, 黑莓果实色素的保存率分别降低了 11.62% 和 23.68%, 且色素溶液的颜色均未发生明显变化; 在 100 °C 条件下, 4 h 后色素溶液颜色即发生明显褐化, 6 h 后色素的保存率仅为 74.34%。从不同时间黑莓果实色素的保存率来看, 处理初期(1 h)色素的降解幅度最大, 而后降解速率较平缓。

色素作为食品添加剂使用时, 一般加热过程不会超过 1 h。在 30 °C、50 °C、70 °C 和 100 °C 条件下分别加热处理 1 h, 黑莓果实色素的保存率依次为 98.79%、95.18%、86.25% 和 73.99%。结果表明, 虽然温度尤其是长时间高温对黑莓果实色素的稳定性有一定影响, 但从食品加工角度来看, 该色素具有较强的耐热性, 能满足作为食品添加剂的要求。

表 1 光照条件对黑莓果实色素色价和保存率的影响¹⁾
Table 1 Effect of light condition on color value and preservation rate of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit¹⁾

时间/h Time	不同光照条件下色素的色价 Color value of pigment under different light conditions			不同光照条件下色素的保存率/% Preservation rate of pigment under different light conditions		
	太阳光直射 Sunlight	散射光 Scattered light	避光 Darkness	太阳光直射 Sunlight	散射光 Scattered light	避光 Darkness
	0	41.29	41.29	41.29	100.00	100.00
1	39.20	40.52	40.84	94.94	98.14	98.91
2	38.63	40.22	40.60	93.56	97.41	98.33
3	37.48	39.64	40.06	90.77	96.00	97.02
4	36.30	39.26	40.08	87.91	95.08	97.07
5	35.44	39.10	40.30	85.83	94.70	97.60
6	35.10	38.96	39.99	85.01	94.36	96.85

¹⁾表中数据为 3 次重复的平均值 The datums in the table are the average of three replications.

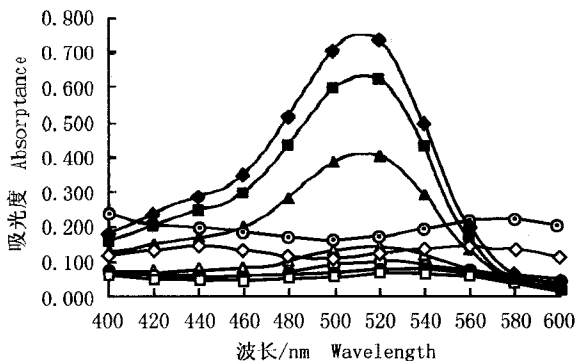
表2 温度对黑莓果实色素色价和保存率的影响¹⁾
Table 2 Effect of temperature on color value and preservation rate of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit¹⁾

时间/h Time	不同温度条件下色素的色价 Color value of pigment under different temperatures				不同温度条件下色素的保存率/% Preservation rate of pigment under different temperatures			
	30 °C	50 °C	70 °C	100 °C	30 °C	50 °C	70 °C	100 °C
0	41.30	41.30	41.30	41.30	100.00	100.00	100.00	100.00
1	40.80	39.31	35.62	30.56	98.79	95.18	86.25	73.99
2	40.55	38.47	34.27	25.31	98.18	93.15	82.98	61.29
3	40.25	37.96	33.05	20.27	97.46	91.91	80.02	49.09
4	40.11	37.44	32.21	15.07	97.12	90.65	77.99	36.50
5	39.98	36.86	31.96	12.60	96.80	89.25	77.38	30.51
6	39.86	36.50	31.52	10.60	96.51	88.38	76.32	25.66

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 The datums in the table are the average of three replications.

2.5 pH对黑莓果实色素稳定性的影响

2.5.1 pH对黑莓果实色素的光谱特性和稳定性的影响分析 不同pH值的黑莓果实色素溶液的吸收光谱见图2。由图2可以看出,pH 1.0~pH 3.0,黑莓果实色素溶液的最大吸收波长均为514 nm,但随pH值的提高,同一波长下色素的吸光度明显下降; pH 3.0~pH 6.0,色素溶液的最大吸收波长均增大,且波峰越来越不明显;高于pH 6.0,色素溶液在可见光区域内无明显的特征吸收峰。



—◆— pH 1.0; —■— pH 2.2; —▲— pH 3.0; —△— pH 4.0; —○— pH 4.5; —●— pH 5.0; —□— pH 6.0; —◇— pH 7.0; —○— pH 8.0.

图2 在不同pH条件下黑莓果实色素的吸收光谱
Fig. 2 Absorption spectrum of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit under different pH conditions

黑莓果实色素溶液的颜色受pH影响很大。在pH 1.0~pH 4.5的条件下,黑莓果实色素溶液为红色系,随pH值增加,色素溶液的颜色越来越淡,红色渐变,吸收峰的吸光值从0.749降到0.103(表3);在pH 5.0~pH 8.0的条件下,色素溶液由红色系变为蓝色系,且随pH增大颜色越来越深,吸收峰的吸光值从0.080上升至0.218。

由表3还可以看出,不同pH值的黑莓果实色素溶液在吸收峰处的吸光度在20 h内的变化不明显。pH 1.0~pH 3.0,色素溶液的吸光度略有增加; pH 4.0~pH 8.0,吸光度略有降低。因而,黑莓果实色素在小于pH 4.0的条件下色泽较好且性质稳定,适合作为果汁饮料等产品的添加剂。

表3 不同pH条件下黑莓果实色素溶液的吸光度¹⁾
Table 3 The absorbance of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit under different pH conditions¹⁾

pH	λ_{max}	不同时间色素的吸光度 Absorbance of pigment at different times				
		0 h	1 h	3 h	9 h	20 h
1.0	514	0.749	0.770	0.776	0.777	0.776
2.2	514	0.631	0.638	0.647	0.649	0.656
3.0	514	0.413	0.418	0.417	0.416	0.414
4.0	518	0.143	0.140	0.135	0.141	0.138
4.5	525	0.103	0.094	0.094	0.093	0.091
5.0	531	0.080	0.080	0.079	0.077	0.073
6.0	539	0.082	0.079	0.079	0.077	0.078
7.0	557	0.141	0.139	0.129	0.121	0.111
8.0	575	0.218	0.237	0.239	0.214	0.198

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 The datums in the table are the average of three replications.

2.5.2 在酸性条件下黑莓果实色素的光热稳定性 用纯净水溶解的黑莓果实色素溶液为pH 4.06,而黑莓原汁为pH 3.0^[18]。在太阳光直射和70 °C条件下,pH 3.0和pH 4.06的黑莓果实色素溶液的稳定性见表4和表5。由表中数据可见,在太阳光直射和70 °C条件下,黑莓果实色素溶液的色价和色素保存率均随时间延长而下降,且pH 3.0的色素溶液各指标的下降幅度均小于pH 4.06的色素溶液,即前者的稳定性比后者强。在太阳光直射或70 °C条件下处理6 h后,pH 4.06的色素溶液保存率分别为

80.01%和76.31%,而pH 3.0的色素溶液保存率分别为85.03%和79.65%。因此,在生产中应尽可能考虑在酸性条件下(小于pH 4.0)应用黑莓果实色素。

表4 太阳光直射对黑莓果实色素溶液(pH 3.0和pH 4.06)色价和保存率的影响¹⁾

Table 4 Effect of sunlight on color value and preservation rate of pigment solutions (pH 3.0 and pH 4.06) of blackberry (*Rubus* spp.) fruit¹⁾

时间/h Time	不同 pH 色素溶液的色价 Color value of pigment solution with different pH		不同 pH 色素溶液的保存率/% Preservation rate of pigment solution with different pH	
	pH 3.0	pH 4.06	pH 3.0	pH 4.06
	0	41.29	41.28	100.00
1	39.20	37.68	94.96	91.28
2	38.63	36.57	93.57	88.59
3	37.48	36.03	90.79	87.28
4	36.30	34.95	87.95	84.67
5	35.44	33.87	85.86	82.05
6	35.10	33.03	85.03	80.01

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 The datums in the table are the average of three replications.

表5 70℃条件下黑莓果实色素溶液(pH 3.0和pH 4.06)色价和保存率的变化¹⁾

Table 5 Changes of color value and preservation rate of pigment solutions (pH 3.0 and pH 4.06) of blackberry (*Rubus* spp.) fruit under 70℃ condition¹⁾

时间/h Time	不同 pH 色素溶液的色价 Color value of pigment solution with different pH		不同 pH 色素溶液的保存率/% Preservation rate of pigment solution with different pH	
	pH 3.0	pH 4.06	pH 3.0	pH 4.06
	0	41.28	41.30	100.00
1	36.62	35.62	88.71	86.29
2	36.05	34.27	87.32	83.02
3	34.91	33.05	84.56	80.06
4	34.46	32.21	83.48	78.03
5	33.54	31.96	81.26	77.41
6	32.88	31.50	79.65	76.31

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 The datums in the table are the average of three replications.

2.6 氧化剂和还原剂对黑莓果实色素稳定性的影响

2.6.1 H₂O₂对黑莓果实色素稳定性的影响 氧化剂H₂O₂对黑莓果实色素的稳定性有显著影响(表6)。由表6可见,H₂O₂浓度越高,处理时间越长,影响越大,色素的保存率也越低,色素溶液颜色变浅,直至无色。处理75 min后,色素的保存率分别只有

20.14%~10.44%,明显低于对照。从降解变化规律看,色素溶液在加入H₂O₂的前15 min内降解最快,45 min后降解变慢,这与高粱泡(*R. lambertianus* Ser.)红色素和木莓(*R. swinhoei* Hance)果实红色素的耐氧化性相似^[19-20]。

表6 不同浓度H₂O₂对黑莓果实色素保存率的影响¹⁾

Table 6 Effect of different H₂O₂ concentrations on preservation rate of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit¹⁾

H ₂ O ₂ 浓度/% H ₂ O ₂ conc.	不同时间的保存率/% Preservation rate at different times				
	15 min	30 min	45 min	60 min	75 min
	0.00(CK)	100.00	99.91	99.81	99.81
0.25	52.68	36.04	24.95	21.81	20.14
0.50	36.04	24.49	18.48	17.65	16.26
0.75	28.93	20.15	16.27	14.790	14.05
1.00	23.38	16.39	12.85	11.280	10.44

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 The datums in the table are the average of three replications.

2.6.2 Na₂SO₃对黑莓果实色素稳定性的影响 还原剂Na₂SO₃对黑莓果实色素的稳定性也有显著影响。Na₂SO₃浓度越高,色素的保存率越低;但随着时间的延长,各处理组色素的保存率无明显变化。由表7可见,处理15 min后,各处理组黑莓果实色素溶液的保存率分别只有18.76%~28.74%,此后,色素保存率的变化幅度不大,表明加入Na₂SO₃后,黑莓果实色素在15 min内快速降解。

表7 不同浓度Na₂SO₃对黑莓果实色素保存率的影响¹⁾

Table 7 Effect of different Na₂SO₃ concentrations on preservation rate of pigment from blackberry (*Rubus* spp.) fruit¹⁾

Na ₂ SO ₃ 浓度/mg·L ⁻¹ Na ₂ SO ₃ conc.	不同时间的保存率/% Preservation rate at different times				
	15 min	30 min	45 min	60 min	75 min
	0(CK)	100.00	99.91	99.81	99.81
30	28.74	27.91	29.48	28.56	28.37
50	23.66	23.38	23.84	23.94	23.38
70	21.53	21.07	21.44	21.53	20.79
100	18.76	17.74	18.39	18.02	18.39

¹⁾表中数据为3次重复的平均值 The datums in the table are the average of three replications.

2.6.3 黑莓果实色素的耐氧化还原性能的可逆性分析 加入氧化剂H₂O₂ 1 h后,黑莓果实色素溶液变为粉白色,滴入少量还原剂Na₂SO₃或柠檬酸溶液,颜色没有变化,说明H₂O₂对黑莓果实色素的影响效应是不可逆的,黑莓果实色素的耐氧化性能较差。

加入还原剂Na₂SO₃ 1 h后,黑莓果实色素溶液

的颜色变为浅咖啡色,滴加少量 H_2O_2 溶液,颜色变为红色,且红色先加深,1 h 后逐渐变淡,3 h 后溶液颜色变为浅咖啡色;滴入少量柠檬酸溶液,颜色变为桃红色,并能维持数天。加入还原剂 Na_2SO_3 24 h 后,色素溶液颜色变为深咖啡色,滴加少量 H_2O_2 溶液后颜色略变红,但 10 min 后迅速变成深咖啡色;加入还原剂 Na_2SO_3 40 h 后再滴加 H_2O_2 ,溶液颜色不能变为红色,但滴加柠檬酸后仍可使色素溶液变为红色,且在 8 h 内褪色。由此可见,还原剂 Na_2SO_3 对黑莓果实色素的影响效应在一定时间内是可逆的。此外,加入 Na_2SO_3 后黑莓果实色素溶液的 pH 值显著升高,而滴加柠檬酸能使色素溶液的 pH 值降低,因此滴加柠檬酸能使受 Na_2SO_3 影响而褪色的色素溶液变成红色。综上所述,黑莓果实色素的耐还原性略强于其耐氧化性。

3 结 论

通过以上实验研究和分析,可以得出以下结论:

1) 黑莓果实色素属水溶性色素,其主要成分为花色苷类化合物。

2) 黑莓果实色素溶液具有一定的光稳定性,但在太阳光直射和散射光条件下有一定的降解,因此在实际应用过程中,黑莓产品或以黑莓果实色素为添加剂的相关产品应避光保存。

3) 黑莓果实色素具有较强的热稳定性,但长时间高温对黑莓果实色素破坏较大,在实际生产中可采用瞬时高温处理,需长时间处理时温度应尽量不要高于 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 。

4) 在不同 pH 条件下,黑莓果实色素溶液呈现不同的颜色。小于 pH 4.0 的黑莓果实色素溶液性质稳定,适合用于果汁饮料等产品的添加剂。

5) 黑莓果实色素的耐氧化性和耐还原性均较差,且其耐还原性稍强于耐氧化性,在实际应用中,黑莓果实色素及其产品应尽量避免接触氧化剂和还原剂。

参考文献:

- [1] 吴文龙,李维林,闫连飞,等. 不同品种黑莓鲜果营养成分的比较[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(1): 58-61.
[2] 吴文龙,顾 娟. 新经济植物黑莓的引种[J]. 植物资源与环

境, 1994, 3(3): 45-48.

- [3] 吴文龙,李维林,闫连飞,等. 黑莓、树莓在南京地区的引种研究[J]. 江苏林业科技, 2006, 33(2): 13-15.
[4] Wang S Y, Bowman L, Ding M. Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (*Rubus* sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells[J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1261-1269.
[5] Boateng J, Verghese M, Shackelford L, et al. Selected fruits reduce azoxymethane (AOM)-induced aberrant crypt foci (ACF) in Fisher 344 male rats [J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(5): 725-732.
[6] Elisia I, Hu C, Popovich D G, et al. Antioxidant assessment of an anthocyanin-enriched blackberry extract [J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 1052-1058.
[7] Netzel M, Strass G, Kaul C, et al. *In vivo* antioxidative capacity of a composite berry juice[J]. Food Research International, 2002, 35: 213-216.
[8] Serraino I, Dugo L, Dugo P, et al. Protective effects of cyanidin-3-O-glucoside from blackberry extract against peroxynitrite-induced endothelial dysfunction and vascular failure [J]. Life Sciences, 2003, 73(9): 1097-1114.
[9] 徐 俐,金 毅,王 斌,等. 树莓红色素的提取及稳定性的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(5): 191-194.
[10] 陈智慧,宋光泉,张翠荣. 荔枝皮色素的超声提取及其性能研究[J]. 河南工业大学学报:自然科学版, 2006, 27(2): 63-66.
[11] 吴文龙,王小敏,李维林,等. 不同黑莓品种果汁色泽的分析与比较[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(7): 112-115.
[12] GB/T3792-1999, 食品添加剂菊花黄[S]. 北京:中国轻工业出版社, 1999.
[13] 赵伯涛,钱 骅,张卫明,等. 黑莓榨汁残渣中花色素的提取纯化、稳定性及功能研究[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 157-161.
[14] 任冰如,李维林,吴菊兰,等. 红凤菜红色素水溶液的稳定性试验[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(3): 8-11.
[15] 郭俊明,张德刚,张 虹,等. 云南石榴花红色素的鉴定及其稳定性研究[J]. 江苏农业科技, 2006(1): 117-120.
[16] 卢 钰,董现义,杜景平,等. 花色苷研究进展[J]. 2004, 35(2): 315-320.
[17] 焦中高,刘杰超,王思新,等. 黑莓红色素的提取及其稳定性的初步研究[J]. 食品科学, 2005, 26(3): 154-157.
[18] 吴文龙,王小敏,李维林,等. 黑莓优良品种果汁加工性能的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(8): 129-131.
[19] 陈炳华,刘剑秋. 高粱泡红色素及其稳定性研究[J]. 海南师范学院学报:自然科学版, 2001, 14(3): 97-101.
[20] 陈炳华,林文群,刘剑秋. 木莓果实红色素的理化性质及其稳定性[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(4): 5-10.