

不同温度贮藏下紫色小白菜的可食性研究

熊科胜¹, 刘鑫^{1,2}, 李蓉^{1,2}, 施婷婷², 徐冠华¹, 檀华蓉¹, 司雄元^{1,2*}

(1. 安徽农业大学生物科技中心, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036)

摘要: 以紫色小白菜为贮藏试验材料, 通过测定贮藏期间其失重率、Vc、叶绿素、类胡萝卜素及花青素含量的变化, 研究 2 种家庭贮藏条件下(避光贮藏于 4℃ 和 20℃±1℃)对紫色小白菜食用价值的影响。结果表明, 4℃ 能够在 7 d 左右有效降低紫色小白菜的失重率, 保持 Vc、叶绿素、类胡萝卜素及花青素含量, 对于紫色小白菜的品质有较好的保护作用, 有利于紫色小白菜的贮藏食用; 而 20℃±1℃ 贮藏对于紫色小白菜的品质保护只能维持 3 d 左右。对于不同品种紫色小白菜, 其贮藏性能有所差异, 其中紫菘较其他品种不易贮藏。通过主成分分析可以得出花青素和 Vc 含量是紫色小白菜在贮藏期间品质变化的主要特征影响因子; 2 种不同的家庭式贮藏方式对紫色小白菜贮藏时间长短的影响有所差异, 在 4℃ 下贮藏 7 d 仍可以保持其大部分营养价值, 而在 20℃±1℃ 贮藏条件下, 0~3 d 内食用, 其营养价值更佳。

关键词: 紫色小白菜; 不同温度; 主成分分析; 品质

中图分类号: S634.309

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2020)04-0631-09

Study on edible value of purple pakchoi under different temperature

XIONG Kesheng¹, LIU Xin^{1,2}, LI Rong², SHI Tingting², XU Guanhua¹, TAN Huarong¹, SI Xiongyuan^{1,2}

(1. Biotechnology Center, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: In this article, we studied the changes of weight loss rate, Vc, chlorophyll, carotenoid and anthocyanin contents during storage under two kinds of domestic storage conditions (stored at 4℃ and 20℃±1℃ at dark) with purple pakchoi as the material, to explore the effects of different domestic storage conditions on the edible value of purple pakchoi. The results showed that the storage in the dark at 4℃ could effectively reduce the weight loss rate of purple pakchoi and protect the contents of Vc, chlorophyll, carotenoid and anthocyanin for 7 days, which had good protective effects on the quality and beneficial to the storage and consumption of the purple pakchoi, while its storage in the dark at 20℃±1℃ could only be maintained for about 3 days. In conclusion, different purple pakchoi varieties have different storage performance, and Zisong is not suitable for storage as compared with other kinds of purple pakchoi. The results of principal component analysis showed that the contents of anthocyanin and Vc are the main factors affecting the quality of purple pakchoi during storage. The effect of storage time on nutritional value of purple pakchoi is different under different domestic storage conditions, and most of its nutritional value can be maintained at 4℃ for 7 days, but the storage at 20℃±1℃ should not be too long, it is better to eat within 3 days.

Key words: purple pakchoi; different temperatures; principal component analysis; quality

小白菜(*Brassica chinensis* L.)又名不结球白菜, 属于十字花科(*Cruciferae*)芸薹属(*Brassica*)芸薹种(*Campestris*)白菜亚种的一个变种, 由于其富含维生素、矿物质及类胡萝卜素等营养功能成分, 深受广大

众喜爱, 其中维生素 C(Vc)对人体有着重要的作用, 作为体内高效抗氧化剂可以清除活性氧基团、促进机体对铁的吸收及促进伤口愈合等功能, 是衡量小白菜品质的重要指标之一^[1-2]。叶绿素(Chlorophyll)

收稿日期: 2019-11-03

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划项目(201904e01020011), 安徽省教育厅自然科学重点项目(KJ2016A232)和安徽农业大学大学生创新基金(201810364144) 共同资助。

作者简介: 熊科胜, 硕士研究生。E-mail: 291126218@qq.com; 刘鑫, 在读本科生。E-mail: 406429057@qq.com

* 通信作者: 司雄元, 助理研究员。E-mail: xysi@ahau.edu.cn

作为绿色植物进行光合作用的重要色素物质^[3], 不仅是叶菜类作物重要生长指标之一, 同时也是评价绿色蔬菜品质的重要指标之一, 与蔬菜采后商品性密切相关^[4]。新鲜小白菜叶绿素含量高, 颜色鲜绿, 但采后随贮藏时间的延长, 叶绿素不断降解, 小白菜色泽逐渐消退并黄化, 严重影响其感官品质^[5-6]。一般来说, 富含叶绿素的植物组织也富含类胡萝卜素(Carotenoid), 因为叶绿体和有色体是类胡萝卜素含量较丰富的细胞器。类胡萝卜素属于四帖化合物, 是一种脂溶性色素, 是天然食品原料中分布最广泛的色素之一, 目前为止, 在自然界中已发现 1 100 余种^[7]。类胡萝卜素对维持植物生命活动具有重要作用, 同时它也是人和动物合成维生素 A 的重要前体物质, 一些类胡萝卜素具有抗氧化、抗衰老以及预防心脑血管疾病等生理活性^[8-10]。小白菜叶片颜色以绿色和白色为主, 但近些年国内外育种者培育出紫色白菜品种^[11-14], 其紫色是由于花青素类物质积累所致^[15-16]。花青素(Anthocyanin)是一种重要的植物次生代谢产物, 广泛存在于蔬菜和水果中, 属类黄酮类化合物, 是植物的主要呈色物质^[17-18]。目前已知天然存在的花青素有 600 多种, 存在于 27 个科、73 个属的植物中^[19-21], 但不同植物中花青素种类不同, 同种植物不同品种间花青素种类也存在着差异。花青素具有清除自由基的强抗氧化作用, 能够抑制肿瘤细胞增生, 防止细胞衰老, 降低血压和胆固醇含量及具有抗炎、预防心血管疾病、维护泌尿系统健康等功效^[22-25], 在食品、医药临床、化妆品等领域具有广阔的应用前景。紫色小白菜颜色亮丽, 营养丰富, 越来越受到大众青睐, 但其采摘后若贮藏不当易造成营养成分、外观、色泽、质地等品质下降, 会大幅降低其食用价值。目前对于蔬菜贮藏研究较多, 乔勇进等^[26]对白菜贮藏过程中叶绿体色素含量进行了研究, 结果表明白菜采后进行冰温(-0.5℃)贮藏可显著延缓其叶绿体色素降解, 以维持其原有色泽; Goncalves 等^[27]研究了花椰菜在贮藏过程中其营养品质的变化, 结果表明, 以损失 50%维生素 C(Vc)为阈值, 花椰菜在-18℃恒温条件下可以贮藏 4 个月; 姜文利等^[28]研究了低温加湿贮藏对叶菜类蔬菜品质的影响, 结果表明采用低温加湿条件贮藏可以有效保持叶菜类蔬菜水分及其组织活性。但由于紫色小白菜为近年来新培育品种, 目前对于其贮藏研究相对较少, 因此作者选择消费者常用蔬菜的主要贮藏温度 4℃和(20±1)℃来进行贮藏, 并对不同品种紫色小白菜的采后营养品质进行了研究, 以期对不同品种紫色

小白菜的采后贮藏保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试剂

供试材料: 紫色小白菜(紫罗兰(ZLL)、紫菘(ZS)、紫金星(ZJX)和紫冠(ZG))种子获取于丰原种子有限公司, 于安徽农业大学温室阳光房中种植 60 d 后采收。采收后 15 min 内运回实验室, 洗净并擦干表面水分后选取大小基本一致、无病虫害及机械损伤的紫色小白菜作为试验材料(图 1)。



a: ZLL; b: ZJX; c: ZG; d: ZS

图 1 不同品种紫色小白菜

Figure 1 Different varieties of purple pakchoi

试验试剂: 草酸(分析纯, 天津市河东区红岩试剂厂), 矢车菊素 3-O-葡萄糖苷(纯度>95%, 上海源叶生物科技有限公司), 抗坏血酸标准品(分析纯, 天津市凯通化学试剂有限公司), 色谱级甲醇、乙腈、甲酸及乙酸(美国 Tedia 公司), 分析纯乙醇、丙酮、甲醇及浓盐酸(国药公司), 实验用水均为超纯水(18.2 MΩ·cm)。

1.2 仪器与设备

6460 液相色谱三重四级杆串联质谱仪(美国安捷伦科技公司), Waters 600 液相色谱系统(美国 Waters 公司), AB104-N 电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司), JK-500DB 型数控超声清洗器(合肥金尼克机械制造有限公司), DGT-G 电热鼓风恒温干燥箱(合肥华德利科学器材有限公司), H-1650 台式高速离心机(上海穗康仪器有限公司), HITACHI U-5100 型紫外可见分光光度计(日本 HITACHI 公司), Milli-Q 超纯水制备系统(美国 Millipore 公司)。

1.3 试验方法

将选好的紫色小白菜去除死叶、黄叶后分别称重、装袋(聚乙烯塑料袋)和封口, 在塑料袋上打孔

用于呼吸作用。将包装好的紫色小白菜分别避光贮藏于 4℃ 和 (20±1)℃ 条件中。在 1、3、7、10 和 14 d 后分别取样, 以新鲜样品作为对照(0 d)。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 失重率的测定 取样时记录紫色小白菜的质量(精确到 0.01 g), 贮藏期间紫色小白菜失重率计算公式为:

$$W(\%)=(F_{W0}-F_{W1})/F_{W0}\times 100\%$$

式中: W 为失重率(%); F_{W0} 为采收时紫色小白菜质量(g); F_{W1} 为取样时紫色小白菜质量(g)。

1.4.2 维生素 C(Vc)含量的测定 参照谢轶等^[29]方法并略加修改后进行测定。准确称取 1.0 g 剪碎混匀后的紫色小白菜样品于 2.0 mL 离心管后加入 1.5 mL 2% 草酸-水, 涡旋振荡 1 min 后于 (15±1)℃ 超声提取 20 min, 提取液离心 10 min (12 000 r·min⁻¹), 取上清液过 0.45 μm 水相微孔滤膜, 待测。

HPLC 条件: 色谱柱为 Penomenex C18 (150 mm×4.6 mm, 5 μm); 柱温: 30℃; 流动相: 0.1% 草酸-水溶液(A 相), 100% 甲醇(B 相), 流动相梯度: 0~6 min, 1%~10% B, 6~6.1 min, 10%~1% B, 1% B 保持至 8 min; 流速为 1 mL·min⁻¹, 检测器为紫外检测器, 波长为 254 nm, 进样量 20 μL。

1.4.3 叶绿素和类胡萝卜素含量的测定 叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素及类胡萝卜素含量采用改进的混合液提取法^[30-31]进行测定: 准确称取 0.1 g 剪碎混匀后紫色小白菜样品, 加入 10 mL 浸提剂(丙酮: 乙醇=2:1, V/V)于室温(20±1)℃ 避光浸提 24 h 后分别于 470 nm、645 nm 和 663 nm 测吸光度值, 以浸提液为空白对照。叶绿素 a、b、总叶绿素和类胡萝卜素含量分别按式(1)(2)(3)(4)计算。

$$\text{叶绿素 a (mg}\cdot\text{g}^{-1})=(12.7 A_{663}-2.69 A_{645})\times V/1\ 000 W \quad (1)$$

$$\text{叶绿素 b (mg}\cdot\text{g}^{-1})=(22.9 A_{645}-4.68 A_{663})\times V/1\ 000 W \quad (2)$$

$$\text{总叶绿素 (mg}\cdot\text{g}^{-1})=\text{叶绿素 a}+\text{叶绿素 b} \quad (3)$$

$$\text{类胡萝卜素 (mg}\cdot\text{g}^{-1})=[(1\ 000 A_{470}-2.27 Ca-81.4 Cb)/227]\times V/1\ 000 W \quad (4)$$

V : 浸提剂总体积(mL); W : 样品质量(g); A : 吸光度值; Ca : 叶绿素 a 的浓度; Cb : 叶绿素 b 的浓度。

1.4.4 花青素含量的测定 准确称取 0.5 g 剪碎混匀后的紫色小白菜样品, 加入液氮研磨至粉末后加入 0.4 mL 80% 甲醇-水(含 0.5% HCl)继续研磨, 研磨至浆状后转移至 2 mL 离心管, 用 0.3 mL 提取液洗涤研钵 2 次, 并将洗涤液转移至离心管, 涡旋振荡 1 min 后于 50℃、80 Hz 超声提取 20 min, 超声结束后于 12 000 r·min⁻¹ 下离心 10 min, 收集上清液; 剩

下的残渣按上述步骤再提取 1 次, 合并上清液并定容至 5 mL, 取约 1.0 mL 提取液过 0.22 μm 有机微孔滤膜, 待测。

色谱柱为安捷伦 ZORBAX Eclipse Plus C18 柱 (100 mm×2.1 mm, 1.8 μm), 柱温: 30℃, 进样体积: 5 μL, 流速为 0.3 mL·min⁻¹, 紫外波长: 520 nm, 流动相为 0.4% 乙酸-水溶液(A 相), 100% 乙腈(B 相)。线性洗脱梯度为: 0~2 min, B 相从 5% 到 7.5% (V/V); 2~5 min, 从 7.5% 到 8%; 5~15 min, 从 8% 到 12%; 15~25 min, 从 12% 到 30%; 25~29 min, 从 30% 到 5%; 保持 1 min 以平衡色谱柱及系统后再次进样。质谱检测模式为正离子模式, 使用电喷雾离子源(ESI), 碎裂电压 135 V, 扫描目标离子质荷比范围设置为 m/z 100~1 500, 毛细管电压 3.5 kV, 干燥气为高纯氮气, 氮气流速为 6 L·min⁻¹, 氮气温度的 325℃, 喷雾器电压 45 psi, 鞘气流速为 11 L·min⁻¹, 鞘气温度为 325℃。

1.5 数据处理

使用 Excel 2010 软件进行数据统计分析, 数据均为 3 次重复实验的均值和标准方差, DPS 7.05 软件进行差异显著性分析, SIMCA-P+11 进行主成分分析, Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 紫色小白菜贮藏期间失重率和外观品质变化

不同品种紫色小白菜失重率随贮藏时间的增加而不断上升(表 1), 且在不同贮藏天数间存在显著差异($P<0.05$)。在 4℃ 下贮藏的失重率均低于 (20±1)℃ 且差异显著($P<0.05$); 贮藏 7 d 后, (20±1)℃ 下贮藏的紫色小白菜最大(ZLL)失重率已超过 4℃ 下的 13 倍, 差别最小(ZS)也接近 2 倍; 当样品贮藏 14 d 后, 在 (20±1)℃ 下贮藏的样品失重率均高于 25%, 最大(ZS)达到 32.15%, 4℃ 下贮藏的样品最大为 14.89%, 最小(ZG)仅为 5.46%。由此可见, 4℃ 下贮藏能较大程度缓解紫色小白菜的失重情况。

在紫色小白菜贮藏过程中, 4℃ 能够明显降低其在贮藏期间的衰老, 尤其是对于叶片的干瘪和黄化。从图 2(图 2a 为贮藏前状态, 图 2b、c、d、e、f 中左侧为 20±1℃ 贮藏, 右侧为 4℃ 贮藏)可以看出, 在 (20±1)℃ 下贮藏第 3 天时, 紫色小白菜叶片出现少量干瘪现象; 到第 7 天时 4 种紫色小白菜叶片均出现干瘪以及黄化现象, 甚至叶缘部分开始出现腐烂现象, 其食用价值基本丧失; 贮藏 10 d 后, 部分小白菜菜茎开始出现腐烂, 已经不适合食用。而 4℃ 下贮藏的紫色小白菜在 3 d 时外观品质较佳; 在贮

藏 7 d 后部分品种叶片出现干瘪和黄化现象; 14 d 后, 大部分品种叶片出现黄化, 食用价值有所下降。

该试验结果说明, 4℃贮藏有利于保持紫色小白菜的外观品质以及延长紫色小白菜的货架期。

表 1 贮藏温度对紫色小白菜贮藏期间失重率的影响

储藏温度/℃ Storage temperature	品种 Variety	储藏时间/d Storage time					%
		1	3	7	10	14	
4	ZLL	0.22±0.03 ^c	1.35±0.14 ^c	2.19±0.18 ^c	4.71±0.66 ^b	8.76±1.53 ^a	
	ZJX	0.27±0.04 ^c	0.52±0.35 ^c	5.53±0.22 ^b	6.78±0.63 ^b	10.60±1.18 ^a	
	ZG	0.16±0.02 ^d	0.72±0.05 ^d	3.27±0.12 ^c	4.81±0.44 ^b	5.46±0.29 ^a	
	ZS	2.11±0.16 ^e	6.84±0.23 ^d	8.76±0.45 ^c	10.13±0.12 ^b	14.89±1.23 ^a	
	20±1	ZLL	0.39±0.03 ^c	4.54±0.45 ^b	29.12±1.59 ^a	29.46±1.59 ^a	30.85±1.25 ^a
		ZJX	0.34±0.03 ^c	0.83±0.12 ^c	19.07±1.73 ^b	19.38±0.75 ^b	25.70±3.86 ^a
		ZG	0.29±0.01 ^c	0.82±0.02 ^c	24.07±0.52 ^b	24.38±0.51 ^b	28.97±3.46 ^a
		ZS	4.76±0.40 ^e	10.03±0.32 ^d	16.38±1.54 ^c	21.61±0.92 ^b	32.15±2.97 ^a

注: 数据表示为平均值±标准差(n=3); 不同字母表示差异显著(P<0.05)。下同

Note: Values are expressed as mean ± SD. Different capital letters refer to significant difference at the 0.05 level. The same below



a, b, c, d, e 和 f 分别为储藏 0、1、3、7、10 和 14 d
a, b, c, d, e and f represent the storage of 0, 1, 3, 7, 10 and 14 days, respectively

图 2 不同贮藏时间 ZLL 外观品质的变化

Figure 2 The change of appearance quality of ZLL at different storage time

2.2 紫色小白菜贮藏期间 Vc 的变化

对贮藏期间紫色小白菜中 Vc 进行了检测分析。结果(图 3)表明, 随着贮藏时间的延长, 紫色小白菜中 Vc 含量持续有所下降, 但不同条件下降低速率有所差异, 在 (20±1)℃贮藏 1~7 d 时下降速率较快, 在 4℃贮藏 3~10 d 时下降速率较快。(20±1)℃下的紫色小白菜在贮藏 1 d 后其 Vc 含量即出现显著性降低(P<0.05), 且不同天数之间均差异显著(P<0.05), 在贮藏 3 d 后 ZLL 和 ZS Vc 损失率超过 50% (分别为 59.55%和 74.66%), 贮藏 14 d 后, 紫色小白菜中 Vc

损失率达到 99%以上, 营养价值严重损失, 这与乔勇进等^[32]研究结果一致, 贮藏温度高会加剧白菜 Vc 含量的降低。而在 4℃下贮藏 1 d 其 Vc 含量损失较少, 仅 ZS 出现显著性降低(P<0.05), 贮藏 3 d 后 4 种紫色小白菜 Vc 含量均出现显著性下降(P<0.05), 但含量在 74%以上, 贮藏 7 d 后 ZLL 和 ZG Vc 含量损失仍不到 50%, 这与 He 等^[33]的研究结果相似, 低温下贮藏可以有效防止白菜中 Vc 含量的下降。但在 4℃下贮藏 14 d 后紫色小白菜中 Vc 损失均超过 70%, 这和 Zhu 等^[5]研究结果相比损失较高, 可能是由于贮

藏温度较高所致。紫色小白菜(除 ZS 外)在不同温度条件下贮藏 1 d 后其 Vc 含量即出现显著差异 ($P<0.05$), 在贮藏 7 d 后, 4°C 下贮藏的样品中 Vc 含量为 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的 2 倍以上, 差别最大达到 6

倍, 和寇兴凯等^[34]研究结果一致, 4°C 下贮藏较 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 能够有效降低 Vc 的降解速率, 对于紫色小白菜有较好的保鲜作用。

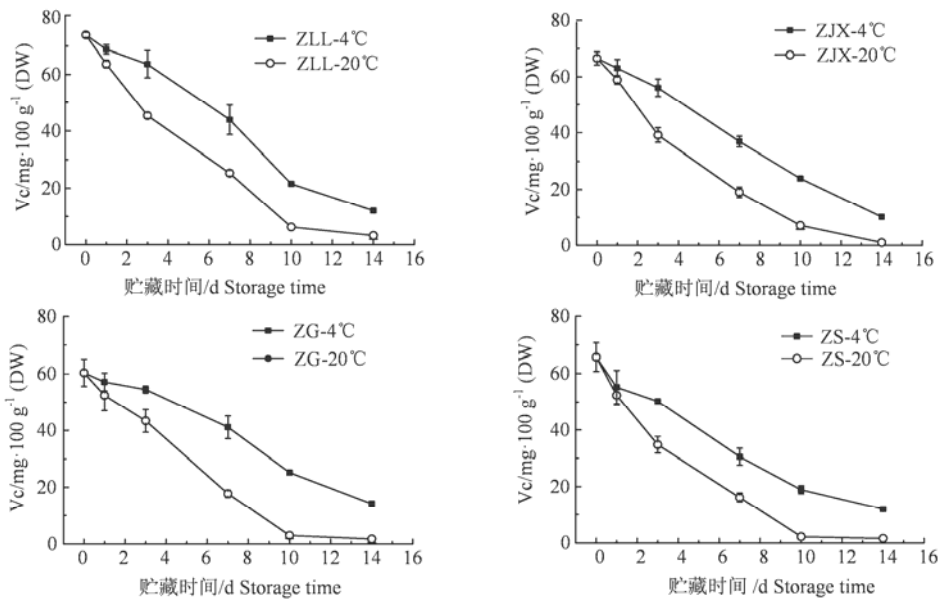


图 3 贮藏温度对紫色小白菜贮藏期间 Vc 含量的影响

Figure 3 Effects of storage temperature on the contents of vitamin C in purple pakchoi at different storage time

2.3 紫色小白菜贮藏期间叶绿素和类胡萝卜素的变化

紫色小白菜在贮藏期间叶绿素含量变化结果(表 2)显示, 叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量总体变化趋势和 Vc 类似, 随贮藏时间的延长而不断下降。在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 和 4°C 条件下贮藏 3 d 后, 虽然叶绿素含量变化较缓, 但其含量较之前有显著下降 ($P<0.05$)。 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏 7 d 后紫色小白菜中叶绿素含量出现急剧下降, 而 4°C 下贮藏 10 d 后出现较大降低。在贮藏期间, 4°C 下贮藏的样品中叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量始终高于 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下的样品, 且在贮藏 1 d 后部分品种即出现显著性差异 ($P<0.05$), 在贮藏 7 d 后, 4 种紫色小白菜中叶绿素含量均出现显著性差异 ($P<0.05$); 在贮藏 14 d 后, $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的样品中叶绿素 a 仅为初始值的 5.36%~6.69%, 而 4°C 下贮藏的紫色小白菜(ZS 除外, 仅为初始值的 11.43%)为初始值的 25.52%~31.38%。在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 贮藏的样品中, 叶绿素 b 和总叶绿素含量在 14 d 后均仅有初始值的 5%左右, 而在 4°C 下仅有 ZS 为初始值的 11.53%(叶绿素 a)和 11.46%(总叶绿素), 而其他品种中, 叶绿素 b 和总叶绿素含量均在初始值的 30%左右, 这和 Zhang^[35]和 Kramchote^[36]等的研究结果一致, 即 4°C 能够有效防止叶绿素含量

的下降, 可较好地维持紫色白菜的叶绿素含量和保留其营养物质, 保持白菜的鲜绿。

本文就紫色小白菜在不同温度贮藏期间其类胡萝卜素变化进行了检测。从图 4 可以看出, 随着贮藏时间的延长, 在 4°C 和 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的紫色小白菜中类胡萝卜素含量均有所下降, 但下降趋势有所区别。在 4°C 下贮藏的紫色小白菜, 除 ZS 外的其他品种在贮藏 3 d 后类胡萝卜素含量变化不大, 而在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的紫色小白菜类胡萝卜素含量下降比较明显, 在贮藏 1 d 后即与 4°C 组出现显著性差异 ($P<0.05$), 这与杨静^[37]的研究结果一致, 说明低温能够很大程度上抑制类胡萝卜素的下降。在贮藏 7 d 后, 4°C 下紫色小白菜类胡萝卜素含量除 ZS 外都在初始值的 50%以上(ZS 为 33.44%), 而 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下最高仅为初始值的 17.24%, 温度差异对紫色小白菜中类胡萝卜素含量影响显著。紫色小白菜(除 ZS 外品种)在 4°C 下贮藏 14 d 后, 类胡萝卜素含量均在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 组 4 倍以上(ZS 为 2.38 倍), 4°C 条件能有效降低紫色小白菜中类胡萝卜素的降解, 对紫色小白菜的营养品质有明显的保护作用。

2.4 紫色小白菜贮藏期间花青素的变化

对紫色小白菜贮藏期间其花青素含量变化进行了分析检测。结果(图 5)表明, 不同品种紫色小白菜

花青素含量差异显著($P<0.05$), 其中 ZLL 和 ZG 品种花青素含量较高, 分别达到 497.43 和 284.78 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (DW); ZJX 花青素含量最低, 仅为 78.38 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (DW), 这和张淑江^[38]和 Lee^[39]等的研究结果相似, 不同品种紫色小白菜其花青素含量及种类差异较大。不同品种紫色小白菜在不同温度的贮藏过程中, 其花青素含量随贮藏时间的延长而降低(图 5)。在 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏, 其花青素含量从第 1 天即出现显著降低($P<0.05$), 而 4°C 在贮藏 3 d 后出现显著降低($P<0.05$)。在 4°C 下贮藏 7 d 后的紫色小白菜, 除 ZS 外, 其花青素含量均保持在 50%左右

(ZLL、ZJX、ZG 和 ZS 分别为 55.63%、49.36%、52.02%和 32.80%); 而在 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下, 贮藏 7 d 后其花青素含量降低均超过 80%, 损失最多达到 87.33% (ZS)。在贮藏 14 d 后, 4°C 下样品的花青素含量均是 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下 3 倍以上, 差别最大的达到 5.51 倍 (ZG)。由此可见, 4°C 条件能够有效保护紫色小白菜中花青素的降解, 延缓其活性成分的下降。随着贮藏时间的增加, 小白菜中各营养成分均出现不同程度的下降, 这可能是由于其体内活性氧代谢的失调, 比如过氧化物酶活性增加和丙二醛含量上升而引起的^[40]。

表 2 贮藏温度对紫色小白菜贮藏期间叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of storage temperature on the contents of chlorophyll in purple pakchoi at different storage time

叶绿素含量 /mg·g ⁻¹ (DW) Chlorophyll	储藏温度/°C Storage temperature	Variety	储藏时间/d Storage time					
			0	1	3	7	10	14
Chlorophyll a	4	ZLL	20.41±0.13 ^a	19.55±0.03 ^b	16.15±0.16 ^c	13.47±0.76 ^d	8.77±0.23 ^e	6.40±0.10 ^f
		ZJX	16.12±0.38 ^a	14.62±0.82 ^b	13.56±0.14 ^b	7.61±0.68 ^c	5.35±0.18 ^d	4.11±0.24 ^e
		ZG	18.60±1.60 ^a	17.93±0.22 ^a	15.16±0.20 ^b	12.27±0.19 ^c	8.34±1.42 ^d	5.69±0.13 ^e
		ZS	19.30±0.07 ^a	15.61±0.14 ^b	9.41±0.13 ^c	6.59±0.04 ^d	3.82±0.23 ^e	2.21±0.02 ^f
	20±1	ZLL	20.41±0.13 ^a	18.94±0.04 ^b	12.06±0.41 ^c	2.96±0.12 ^d	1.46±0.05 ^e	1.21±0.01 ^e
		ZJX	16.12±0.38 ^a	13.38±0.62 ^b	10.33±1.12 ^c	1.98±0.24 ^d	1.39±0.13 ^d	1.08±0.04 ^d
		ZG	18.60±1.60 ^a	16.47±0.82 ^b	14.23±0.42 ^c	1.95±0.01 ^d	1.41±0.02 ^d	1.05±0.02 ^d
		ZS	19.30±0.07 ^a	10.78±0.08 ^b	5.69±0.03 ^c	3.05±0.47 ^d	1.80±0.02 ^e	1.03±0.03 ^f
Chlorophyll b	4	ZLL	9.10±0.17 ^a	8.76±0.07 ^a	7.10±0.24 ^b	6.51±0.48 ^b	4.75±0.52 ^c	2.94±0.15 ^d
		ZJX	6.05±0.46 ^a	5.74±0.52 ^{ab}	5.11±0.05 ^b	3.25±0.08 ^c	2.27±0.03 ^d	1.66±0.13 ^d
		ZG	8.56±0.98 ^a	7.51±0.70 ^{ab}	7.08±0.25 ^b	5.75±0.39 ^c	3.79±0.57 ^d	2.52±0.13 ^d
		ZS	8.21±0.07 ^a	6.09±0.13 ^b	4.16±0.16 ^c	3.28±0.27 ^d	1.69±0.17 ^e	0.95±0.09 ^f
	20±1	ZLL	9.10±0.17 ^a	8.21±0.07 ^b	5.17±0.49 ^c	1.36±0.02 ^d	0.60±0.02 ^e	0.30±0.02 ^e
		ZJX	6.05±0.46 ^a	5.58±0.07 ^a	4.96±0.47 ^b	0.96±0.07 ^c	0.55±0.02 ^{cd}	0.35±0.01 ^d
		ZG	8.56±0.98 ^a	7.18±0.06 ^b	6.18±0.79 ^b	0.99±0.01 ^c	0.69±0.05 ^c	0.43±0.05 ^c
		ZS	8.21±0.07 ^a	5.46±0.06 ^b	3.12±0.04 ^c	1.55±0.15 ^d	0.83±0.03 ^e	0.26±0.03 ^f
Chlorophyll	4	ZLL	29.51±0.22 ^a	28.31±0.10 ^a	23.25±0.09 ^b	19.99±1.24 ^c	13.51±0.60 ^d	9.34±0.05 ^e
		ZJX	22.17±0.47 ^a	20.36±0.33 ^b	18.67±0.18 ^c	10.86±0.60 ^d	7.62±0.21 ^e	5.78±0.11 ^f
		ZG	27.16±2.58 ^a	25.44±0.51 ^a	22.24±0.08 ^b	18.02±0.21 ^c	12.13±1.19 ^d	8.20±0.01 ^e
		ZS	27.51±0.08 ^a	21.70±0.17 ^b	13.57±0.28 ^c	9.87±0.31 ^d	5.51±0.07 ^e	3.15±0.11 ^f
	20±1	ZLL	29.51±0.22 ^a	27.16±0.10 ^b	17.23±0.09 ^c	4.32±0.14 ^d	2.06±0.04 ^e	1.51±0.02 ^f
		ZJX	22.17±0.47 ^a	19.25±0.66 ^b	15.29±1.60 ^c	2.94±0.31 ^d	1.94±0.14 ^d	1.42±0.04 ^d
		ZG	27.16±2.58 ^a	23.66±0.77 ^b	20.41±0.38 ^c	2.94±0.01 ^d	2.10±0.04 ^d	1.48±0.07 ^d
		ZS	27.51±0.08 ^a	16.24±0.13 ^b	8.82±0.07 ^c	4.60±0.62 ^d	2.63±0.02 ^e	1.29±0.06 ^f

2.5 主成分分析

以 ZLL 品种为例, 采用 SIMCA-P+11 软件对紫色小白菜在贮藏期间花青素等含量为变量进行主成分分析。通过主成分分析可以得知, 第一主成分和

第二主成分分别能解释样品信息的 98.43%和 1.11%。从得分图(图 6)可以看出 ZLL 在不同贮藏时间及温度下的聚类情况, 其中在 4°C 下贮藏 1 d、3 d 和 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏 1 d 及 0 d 的样品分布比较集

中,可以聚为一类,其食用价值最高;其中 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏 3 d 和 4°C 下贮藏 7 d 的样品分布比较集中,可以聚为一类,其食用价值相对有所降低,而其他组别样品比较分散,食用价值相对较差。载荷图反映了样品指标与其主成分的相关性及影响程度^[41]。从 ZLL 在不同贮藏时间和温度其花青素等指标与主成分的载荷图(图 6 b)可以看出,花青素和 Vc

含量偏离中心点较远,在第一主成分和第二主成分上的载荷均较大,说明 ZLL 在贮藏期间其花青素和 Vc 含量变化相对较大,而叶绿素和类胡萝卜素含量主要分布在中心点左右,差异较小。在 ZLL 的贮藏过程中,花青素和 Vc 含量的变化是其品质的主要特征影响因子。

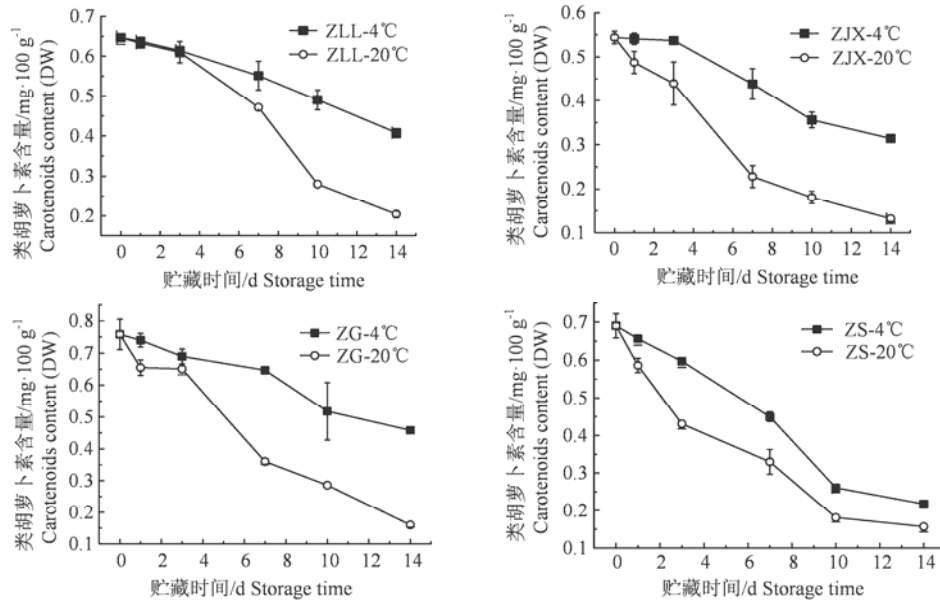


图 4 贮藏温度对紫色小白菜贮藏期间类胡萝卜素含量的影响

Figure 4 Effects of storage temperature on the contents of carotenoids in purple pakchoi at different storage time

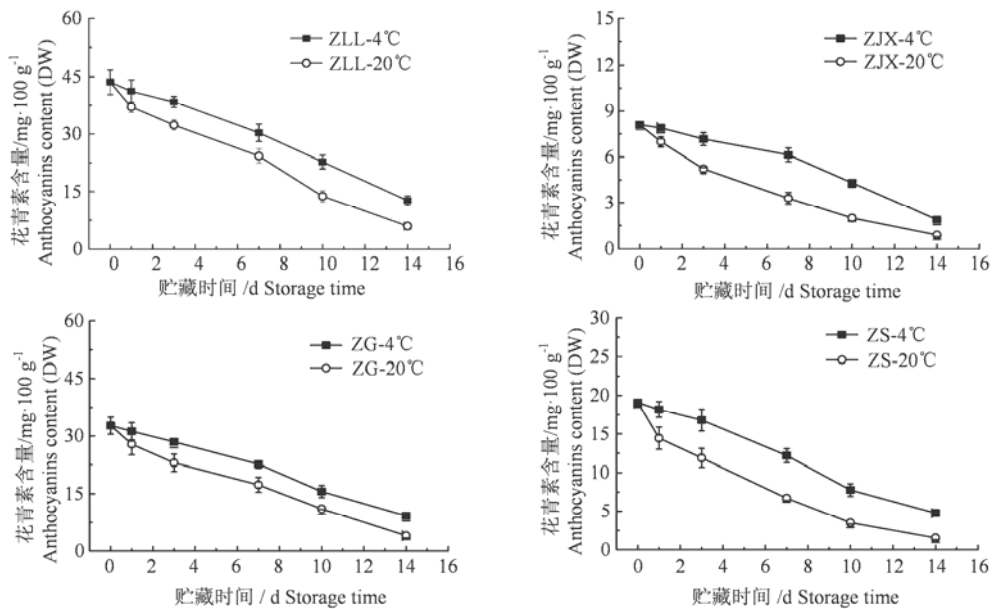


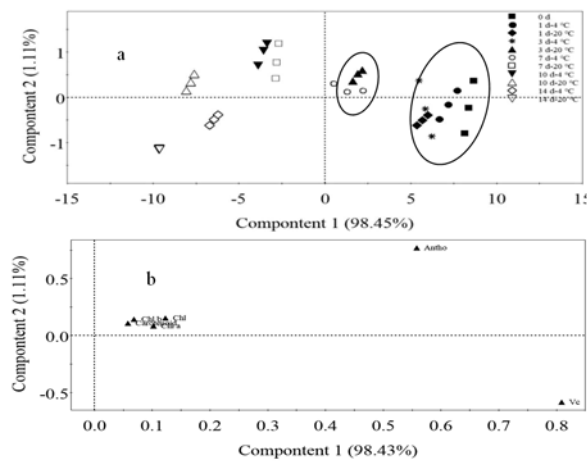
图 5 贮藏温度对紫色小白菜贮藏期间花青素含量的影响

Figure 5 Effects of storage temperature on the contents of anthocyanins in purple pakchoi at different storage time

3 结论

本研究对紫色小白菜在家庭式贮藏条件下其营

养成分及可食性进行了分析。结果表明,在 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏的紫色小白菜(除 ZS 外)在 3 d 后其营养成分下降 50%左右,在 4°C 下贮藏其营养成分



a: 得分图 Score plot; b: 载荷图 Loading plot

图 6 ZLL 主要指标在贮藏期间主成分分析图

Figure 6 PCA results of main indexes of purple pakchoi (ZLL) during storage periods

则在 7 d 后下降 50%左右, 而较高温度时营养物质更易损失, 在 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏的紫色小白菜品质均低于 4°C 贮藏的同期样品。对于不同品种的紫色小白菜, 其贮藏性能有所差异, ZS 在相同贮藏时间下其营养成分损失相较于其他 3 种紫色小白菜较大, 且差异显著($P < 0.05$)。主成分分析结果表明紫色小白菜在贮藏过程中其品质变化的主要特征影响因子为 Vc 和花青素含量, 且从主成分分析得分图得知 4 种紫色小白菜在 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏时间不宜过长, 1~3 d 内食用营养价值较佳; 而在 4°C 下贮藏则可以保持 7 d 左右。

参考文献:

- [1] CARR A, FREI B. Does vitamin C act as a pro-oxidant under physiological conditions?[J]. *FASEB J*, 1999, 13(9): 1007-1024.
- [2] VILLALPANDO S, SHAMAH T, RIVERA J A, et al. Fortifying milk with ferrous gluconate and zinc oxide in a public nutrition program reduced the prevalence of Anemia in toddlers[J]. *J Nutr*, 2006, 136(10): 2633-2637.
- [3] 王宝增. 叶绿素降解代谢的研究进展[J]. *生物学教学*, 2010(2): 7-8.
- [4] 杨晓棠, 张昭其, 庞学群. 果蔬采后叶绿素降解与品质变化的关系[J]. *果树学报*, 2005, 22(6): 691-696.
- [5] ZHU Z W, WU X W, GENG Y, et al. Effects of modified atmosphere vacuum cooling (MAVC) on the quality of three different leafy cabbages[J]. *LWT*, 2018, 94: 190-197.
- [6] MATILE P, HÖRTENSTEINER S, THOMAS H. Chlorophyll degradation[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1999, 50(1): 67-95.
- [7] RODRIGUEZ-CONCEPCION M, AVALOS J, BONET M L, et al. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health[J]. *Prog Lipid Res*, 2018, 70: 62-93.
- [8] AYDEMIR G, KASIRI Y, BARTÓK E M, et al. Lycopene supplementation restores vitamin A deficiency in mice and possesses thereby partial pro-vitamin A activity transmitted via RAR signaling[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2016, 60(11): 2413-2420.
- [9] EGGERSDORFER M, WYSS A. Carotenoids in human nutrition and health[J]. *Arch Biochem Biophys*, 2018, 652: 18-26.
- [10] NISAR N, LI L, LU S, et al. Carotenoid metabolism in plants[J]. *Mol Plant*, 2015, 8(1): 68-82.
- [11] 张德双, 张凤兰, 余阳俊, 等. 紫色大白菜育种材料的创造[J]. *长江蔬菜*, 2007(11): 52-53.
- [12] 孙日飞, 张淑江, 章时蕃, 等. 紫红色大白菜种质的创新研究[J]. *园艺学报*, 2006, 33(5): 1032.
- [13] WANG W H, ZHANG D S, YU S C, et al. Mapping the BrPur gene for purple leaf color on linkage group A03 of *Brassica rapa*[J]. *Euphytica*, 2014, 199(3): 293-302.
- [14] 张鲁刚, 张明科, 惠麦侠. 一种紫心大白菜新种质的选育方法: CN101480164[P]. 中国: 2009-07-15.
- [15] YUAN Y X, CHIU L W, LI L. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in red cabbage[J]. *Planta*, 2009, 230(6): 1141-1153.
- [16] PARK S, ARASU M V, JIANG N, et al. Metabolite profiling of phenolics, anthocyanins and flavonols in cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata)[J]. *Ind Crop Prod*, 2014, 60: 8-14.
- [17] GROTEWOLD E. The genetics and biochemistry of floral pigments[J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2006, 57: 761-780.
- [18] 杨秀娟, 赵晓燕, 马越, 等. 花青素研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2005(4): 40-42, 17.
- [19] KAHAR P, IWATA T, HIRAKI J, et al. Enhancement of ϵ -polylysine production by *Streptomyces albulus* strain 410 using pH control[J]. *J Biosci Bioeng*, 2001, 91(2): 190-194.
- [20] ANDERSEN Ø M, MARKHAM K R. Flavonoids: Chemistry, biochemistry and applications[M]. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006.
- [21] SMERIGLIO A, BARRECA D, BELLOCCO E, et al. Chemistry, pharmacology and health benefits of anthocyanins[J]. *Phytother Res*, 2016, 30(8): 1265-1286.
- [22] DEGENHARDT A, KNAPP H, WINTERHALTER P. Separation and purification of anthocyanins by high-speed countercurrent chromatography and screening for antioxidant activity[J]. *J Agric Food Chem*, 2000, 48(2): 338-343.
- [23] KANG J, THAKALI K M, JENSEN G S, et al. Phenolic acids of the two major blueberry species in the US market and their antioxidant and anti-inflammatory activities[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2015, 70(1): 56-62.
- [24] LI C Y, FENG J, HUANG W Y, et al. Composition of polyphenols and antioxidant activity of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) in Nanjing[J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(3): 523-531.
- [25] CUTLER B R, PETERSEN C, ANANDH BABU P V. Mechanistic insights into the vascular effects of blueberries: Evidence from recent studies[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2017, 61(6): 1-14.
- [26] 乔勇进, 张辉, 唐坚, 等. 采后小白菜叶绿体色素含量变化及其叶绿素降解动力学研究[J]. *食品安全质量*

- 检测学报, 2013, 4(6): 1692-1698.
- [27] GONCALVES E M, ABREU M, BRANDAO T R S, et al. Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *Italica*) during storage at isothermal and non-isothermal conditions[J]. *Int J Refrig*, 2011, 34(8): 2136-2144.
- [28] 姜文利, 刘金光, 孙艳, 等. 低温加湿保鲜对叶菜类蔬菜贮藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(4): 43-48.
- [29] 谢轶, 苏冰霞, 周鹏. 高效液相色谱法测定不同品种番木瓜果实中维生素 C 含量[J]. *热带农业科学*, 2016, 36(2): 50-53.
- [30] 徐华. 混合液法测定茶树叶片叶绿素含量[J]. *龙岩师专学报*, 1995(3): 94-95.
- [31] DERE Ş, GUNEŞ T, SIVACI R. Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents[J]. *Turkish J Bot*, 1998, 22(1): 13-18.
- [32] 乔勇进, 高春霞, 甄凤元, 等. 贮藏温度对鸡毛菜贮藏品质的影响[J]. *上海农业学报*, 2018, 34(2): 94-98.
- [33] HE S, FENG G P, YANG H S, et al. Effects of pressure reduction rate on quality and ultrastructure of iceberg lettuce after vacuum cooling and storage[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2004, 33(3): 263-273.
- [34] 寇兴凯, 李文香. 不同贮藏方式对鲜切大白菜食用品质的影响[J]. *包装与食品机械*, 2013, 31(6): 7-10.
- [35] ZHANG L P, XIE J, WANG T, et al. Study of physico-chemical properties of Chinese small cabbage (*Brassica Chinensis* L.) stored at four temperatures[J]. *Adv Mater Res*, 2013, 690/691/692/693: 1275-1281.
- [36] KRAMCHOTE S, SRILAONG V, WONGS-AREE C, et al. Low temperature storage maintains postharvest quality of cabbage (*Brassica oleraceae* var. *capitata* L.) in supply chain[J]. *Int Food Res J*, 2012, 19(2): 759-763.
- [37] 杨静. 营养状态和采后处理对小白菜硫代葡萄糖苷的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [38] 张淑江, 马越, 徐学玲, 等. 芸薹属 5 种紫红色蔬菜花青素苷含量及组分分析[J]. *园艺学报*, 2014, 41(7): 1451-1460.
- [39] LEE H, OH I N, KIM J, et al. Phenolic compound profiles and their seasonal variations in new red-phenotype head-forming Chinese cabbages[J]. *LWT*, 2018, 90: 433-439.
- [40] 侯建设, 席琦芳, 余挺. 白菜采后衰老生理的研究[J]. *园艺学报*, 2003, 30(3): 335-337.
- [41] ERIKSSON L, JOHANSSON E, LINDGREN F, et al. Megavariate analysis of hierarchical QSAR data[J]. *J Comput - Aided Mol Des*, 2002, 16(10): 711-726.