

## 专题研究专栏

**编者按:**随着我国人民生活水平的提高,消费者对果蔬食品消费的观念已经由过去的贫乏型、数量化向当前的多元化、质量化转变,消费者对果蔬产品的新鲜度和安全性的要求也越来越高。微生物会导致果蔬贮藏过程中腐败变质,加工方式会影响果蔬产品的风味及品质,因此对于微生物多样性的考察和风味品质的探究越来越成为果蔬贮藏加工领域的研究热点。本期3篇文章分别探讨了不同切分方式对紫甘蓝营养品质和风味的影响,分析了桃杏果实内生细菌多样性,考察了复热对香菇汤挥发性风味物质的影响。研究结果将为相关果蔬产品的保鲜和加工提供理论依据。

(主持人:刘野教授)

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2020.04.004

文章编号:2095-6002(2020)04-0027-10

引用格式:王丹,鲁榕榕,马越,等.切分方式对鲜切紫甘蓝营养品质和挥发性风味物质的影响[J].食品科学技术学报,2020,38(4):27-36.



WANG Dan, LU Rongrong, MA Yue, et al. Effect of cutting direction on nutritional quality and volatile flavor substances of fresh-cut purple cabbage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020,38(4):27-36.

## 切分方式对鲜切紫甘蓝营养品质和挥发性风味物质的影响

王丹,鲁榕榕,马越,朱莉,王宇滨,赵晓燕\*

(北京市农林科学院蔬菜研究中心/北京市果蔬农产品保鲜与加工重点实验室/  
农业农村部蔬菜采后处理重点实验室,北京 100097)

**摘要:**为研究不同切分方式对鲜切紫甘蓝品质的影响,采用横切及纵切两种方式切分紫甘蓝,比较贮藏前后鲜切紫甘蓝的表观颜色、褐变率、可溶性固形物、酚类物质和花色苷含量及风味品质。结果表明,贮藏9 d后,鲜切紫甘蓝的 $L^*$ 值和 $a^*$ 值降低, $b^*$ 值增加,褐变率增加,可溶性固形物减少0.27~0.33 Brix,总酚和总花色苷质量分数分别增加2.69~2.78 mg/g和0.06~0.11 mg/g;纵切可有效减缓样品褐变,保持儿茶素、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸和奎宁酸等酚类物质含量。电子鼻与挥发性物质分析表明,贮藏9 d后紫甘蓝中的氮氧化合物增加,横切较纵切样品异硫氰酸烯丙酯等含量增加,导致不良风味的产生。研究结果表明,纵向切分可减缓切面褐变,较好地保持紫甘蓝的酚类成分及风味品质。

**关键词:**切分方式;紫甘蓝;酚类;花色苷;挥发性化合物

中图分类号:TS255.3

文献标志码:A

紫甘蓝(*Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra*)属十字花科,又名紫卷心菜。紫甘蓝富含多

酚、花色苷及硫代葡萄糖苷等营养成分,具有抗氧化、抗突变、预防心脑血管疾病、保护肝脏及抑制肿

收稿日期:2020-07-01

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-23);北京市农林科学院协同创新中心项目(KJXC201915);北京市农林科学院杰出科学家专项项目(JKZX201908)。

第一作者:王丹,女,副研究员,博士,主要从事农产品加工方面的研究。

\*通信作者:赵晓燕,女,研究员,博士,主要从事农产品加工方面的研究。

瘤细胞发生等多种生理功能。紫甘蓝可用于食品、医药及化妆品着色等领域,具有广阔的开发应用前景<sup>[1-3]</sup>。

随着人们生活节奏的加快以及对轻食健康生活方式的追求,鲜切果蔬越发受到人们的喜爱,并逐渐进入主流果蔬消费市场。影响鲜切蔬菜品质的因素较多,包括环境温度、湿度,杀菌方式及包装材料等<sup>[4]</sup>。切分处理会破坏蔬菜的细胞组织,加快细胞的呼吸代谢及成熟衰老进程,且会导致蔬菜的切面褐变、香气物质及营养成分流失,不利于蔬菜的贮藏<sup>[5]</sup>;切分方式也会影响鲜切蔬菜的品质。Park等<sup>[4]</sup>研究表明,切分尺寸会影响鲜切马铃薯的褐变指数,从而影响其贮藏稳定性;Deza-Durand等<sup>[6]</sup>研究了不同切分方向对结球生菜中挥发性成分的影响,表明纵切处理较横切处理更易保持鲜切球生菜的香气成分;Martinez等<sup>[7]</sup>比较了手撕与切割两种方式对生菜品质的影响,发现手撕可以减小生菜组织损伤,降低呼吸速率,有助于延长鲜切生菜的货架期。这些研究多集中于切分方式对蔬菜生理代谢、颜色或香气品质的影响,尚缺少切分方式对蔬菜营养品质影响方面的研究。

目前,有关鲜切紫甘蓝的研究主要有气调包装、预冷方式及不同保鲜剂(抗坏血酸、壳聚糖、异硫氰酸烯丙酯和植酸)对其生理代谢、酚类物质、抗氧化性及硫代葡萄糖苷含量等方面的影响<sup>[8-13]</sup>,而关于不同切分方式对鲜切紫甘蓝品质影响的研究少见报道。本研究拟以紫甘蓝为试材,采用横切及纵切两种切分方式,比较贮藏前后鲜切紫甘蓝的表观变化、营养成分含量及风味品质,揭示切分方式对鲜切紫甘蓝品质的影响,以为果蔬鲜切产业的发展提供理论参考和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

“紫甘2号”紫甘蓝,购于北京市海淀区彰化路农贸市场,处理前于4℃冷库预冷24h;包装膜由北京裕农公司提供;福林酚试剂,购于北京索莱宝科技有限公司;营养琼脂,购于北京奥博星生物技术有限公司;次氯酸钠、氯化钠、无水碳酸钠、无水乙酸钠、没食子酸、无水乙醇、氯化钾、盐酸等均为分析纯(AR),购自北京化学公司。

### 1.2 仪器与设备

DZQ-600T型台式外抽真空充气包装机,浙江佑天元包装机械制造有限公司;CM-3700型分光测色仪,日本柯尼卡-美能达公司;超净工作台,北京东联哈尔仪器制造有限公司;G154DW型高压灭菌锅,美国致微公司;恒温培养箱,德国3M公司;3-18K型高速冷冻离心机,德国Sigma公司;UV-1800型紫外分光光度计,日本岛津公司;PEN3型电子鼻,德国Airsense公司;QP2010 plus型气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),日本岛津公司;1260型高效液相色谱仪,美国Agilent technologies公司;Seven Compact S210型台式pH计、AL204型电子天平,瑞士梅特勒-托利多公司;PAL-1 Pocket Refractometer型手持折光仪,日本Atago公司;EOS 450D型照相机,日本Canon公司;SC-316型海尔立式冷藏柜,青岛海尔股份有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 紫甘蓝鲜切与贮藏方式

选取新鲜、无病虫害和无机械损伤的完整紫甘蓝,自来水清洗后,分别用纵切(平行于茎方向)、横切(垂直于茎方向)两种方式将其切分为长8.0~10.0 cm、宽1.0~1.5 cm的紫甘蓝片(如图1)。依次用体积分数为0.01%、0.05%的次氯酸钠溶液浸泡2 min,清水冲洗、脱水后,按250 g每袋用聚乙烯食品包装袋(42 cm×29 cm)分装,于4℃避光贮藏。分别在第0天和9天时取样,每个处理随机取3袋样品,用未开封样品进行菌落总数测定,其他指标则混匀后进行测定。



图1 紫甘蓝的切分方式

Fig. 1 Cutting direction of purple cabbage

#### 1.3.2 各项指标的测定

##### 1.3.2.1 可溶性固形物含量的测定

将样品打浆、4层纱布过滤后,取清汁,用手持折光仪对样品可溶性固形物含量(SSC)进行测定,每组重复测定3次。

### 1.3.2.2 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检测 菌落总数测定》<sup>[14]</sup>对样品的菌落总数进行测定。

### 1.3.2.3 表观颜色的测定

$L^*$  值表示样品表面的明度,  $a^*$  表示红绿度,  $b^*$  值代表蓝黄度,  $\Delta E^*$  值表示样品切面的总容差, 以式(1)计算得到。鲜切紫甘蓝片取出后在室温下平衡 30 min, 然后在室温下进行颜色测定, 每组样品重复测定 5 次, 取平均值。

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

### 1.3.2.4 褐变率的测定

按固定参数用相机对样品切面进行拍照, 使用 Image-pro-plus 6.0 软件(美国 Media Cybernetics 公司)处理所得照片: 随机框选出正方形区域, 载入预先定义褐变颜色, 对框选区域内的褐变部位进行颜色标记。褐变率 = 被标记部位像素/所在框区总像素, 结果以百分比(%)表示<sup>[15]</sup>。

### 1.3.2.5 酚类物质的测定

1) 总酚含量测定: 采用 Folin-Ciocalten 比色法<sup>[16]</sup>测定。取 5 g 紫甘蓝浆液于 75 mL 蒸馏水中, 磁力搅拌 15 min, 用 4 层纱布过滤, 8 000 r/min 离心 15 min。取 1 mL 上清液加入蒸馏水 5 mL, 1 mol/L 的 Folin-Ciocalten 显色剂 1 mL 和体积分数为 7.5% 的碳酸钠溶液 3 mL, 漩涡震荡 1 min, 室温下静置 2 h 后, 于 765 nm 处测定吸光度。根据没食子酸的标准曲线及公式(2)计算样品中总酚含量。

$$w = \frac{V \times C \times n}{1000 \times W} \quad (2)$$

式(2)中:  $V$  为试样定容体积, mL;  $C$  为测定样中一水合没食子酸的质量浓度,  $\mu\text{g/mL}$ ;  $n$  为样品稀释倍数;  $W$  为样品质量, g;  $w$  为总酚质量分数, mg/g。

2) 单酚化合物测定: 参照刘小莉<sup>[17]</sup>方法提取酚类物质, 略有改动。称取 2 g 紫甘蓝浆, 加 25 mL 75% 甲醇, 超声 40 min 后, 于 4 °C、8000 r/min 离心 15 min, 上清液即为酚类物质提取物。

HPLC 分析: 将提取物过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜后进样, 进样量 20  $\mu\text{L}$ ; 采用 XBridge C18 色谱柱(250 mm  $\times$  4.6 mm  $\times$  5  $\mu\text{m}$ ), 柱温 30 °C; 流动相为 0.2% 甲酸水溶液(A)、乙腈(B), 流速 1 mL/min, 洗脱程序为 0 min 3% B, 3 min 26% B, 5 min 30% B, 保持 5 min; DAD 检测器, 检测波长为 280 nm。将测得液相谱图与质谱数据库、文献信息比对进行化合物的定性, 以

峰面积进行含量对比。

### 1.3.2.6 花色苷的测定

1) 总花色苷含量测定: 采用 pH 示差法<sup>[18]</sup>测定。取 2 g 紫甘蓝浆于 20 mL 无水乙醇中, 40 °C 超声 15 min(至样品变白), 4 层纱布过滤, 8 000 r/min、4 °C 下离心 15 min。取 1.5 mL 上清液分别用 pH 值为 1.0 的 KCl 溶液(0.025 mol/L)和 pH 值为 4.5 的乙酸钠缓冲溶液(0.4 mol/L)定容至 10 mL, 室温下平衡 10 min。以无水乙醇为对照, 在 480 ~ 580 nm 扫描, 得到最大吸收峰, 测定最大吸收峰和 700 nm 处的吸光值, 计算方法如式(3)。

$$A = (A_{\lambda_{\max}} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{\lambda_{\max}} - A_{700})_{\text{pH}4.5};$$

$$w = \frac{A}{\varepsilon L} \times MW \times DF \times \frac{V}{W_t} \quad (3)$$

式(3)中:  $MW$ , 花色苷的摩尔质量, 449.2 g/mol;  $DF$ , 稀释因子, 为 6.7;  $\varepsilon$ , 矢车菊素-3-O-葡萄糖苷的摩尔消光系数, 26 900 L/(mol  $\cdot$  cm);  $L$ , 光程, 1 cm;  $V$ , 乙醇定容体积, mL;  $W_t$ , 样品质量, g;  $w$ , 总花色苷质量分数, mg/g。

2) 花色苷单体的测定: 参照王海<sup>[19]</sup>方法对花色苷单体提取纯化, 略有改动。按 1:3(100 g/300 g)的料液比, 将紫甘蓝在 60% 乙醇溶液(用 1 mol/L 盐酸溶液调 pH 值为 3.0)中浸提 1 h(50 °C)后抽滤, 取滤液于 60 °C 旋蒸浓缩, 得到花色苷粗提物; 将已经预处理的 Amberlite XAD-8 大孔树脂填装在 1.6 cm/60 cm 的填装柱中, 取粗提物上样, 流速 7 mL/min, 用体积分数 0.5% 的三氟乙酸的水溶液冲洗后, 采用 0.5% 的三氟乙酸的乙醇溶液洗脱, 收集液体于 45 °C 旋蒸浓缩, 4 °C 保存待测。

HPLC 分析: 将纯化后提取物过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜后进样, 进样量 5  $\mu\text{L}$ ; 采用 XBridge C18 色谱柱(250 mm  $\times$  4.6 mm  $\times$  5  $\mu\text{m}$ ), 柱温 25 °C; 流动相为 0.5% 甲酸-水溶液(A)、0.5% 甲酸-乙腈溶液(B), 流速 0.3 mL/min, 洗脱程序为 0 min 10% B, 30 min 60% B, 32 min 10% B; DAD 检测器, 检测波长 520 nm。

依据质谱数据库、文献信息比对, 对化合物进行定性分析, 以峰面积进行定量对比。

### 1.3.3 电子鼻分析

称取 4 g 新鲜样品匀浆于 50 mL 顶空瓶中, 室温下平衡 30 min 后, 进行电子鼻分析。分析条件: 以洁净干燥空气为载气, 采样时间 60 s, 气体流量 300 mL/min, 采样后清洗时间 60 s<sup>[20]</sup>。样品平行检

测3次,取稳定后数据信息进行主成分分析(PCA)。电子鼻传感器的性能描述见表1。

表1 电子鼻传感器性能

Tab.1 Properties of electronic nose sensors

阵列序号	传感器名称	敏感化合物
1	W1C	芳香成分
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	氨水、芳香成分
4	W6S	氢气
5	W5C	烷烃、芳香成分
6	W1S	甲烷
7	W1W	无机硫化物
8	W2S	乙醇
9	W2W	芳香成分
10	W3S	烷烃

### 1.3.4 GC-MS 分析

挥发性成分的富集:采用顶空固相微萃取法(SPME),即取1g紫甘蓝鲜样于20mL样品瓶中,50℃下平衡40min,将65μm PDMS/DVB萃取头插入顶空瓶萃取30min。结束后取出萃取头,插入GC-MS解吸附2min,随后进行挥发性成分的分析。

色谱条件:DB-WAX(30m×0.25mm×0.25μm)色谱柱,进样口温度250℃,不分流进样,载气流速1mL/min。柱温箱升温程序<sup>[6]</sup>:40℃保持3min,5℃/min升至120℃,10℃/min升至200℃,保持13min。质谱条件:离子源温度200℃,传输线温度250℃,全扫描模式(Scan),扫描范围 $m/z$ 35~500u。定性和定量:采用保留指数(RI)和NIST-11谱库检索比对进行定性,采用峰面积归一化法进行定量分析。

### 1.4 数据处理

采用Microsoft Office Excel 2013软件对测得的样本( $n=3$ )各指标数据进行基本处理,用Origin 2018软件绘制图像,用SPSS 25软件进行挥发性物质的主成分分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 切分方式对紫甘蓝表现颜色的影响

鲜切紫甘蓝贮藏至9d时,测得横切和纵切紫甘蓝的菌落总数分别为1.67、1.18lg(CFU/g)(均小于5.00lg(CFU/g)),符合食品微生物安全要求<sup>[21]</sup>。因此,本研究主要考察鲜切紫甘蓝贮藏0d

和9d时不同切分方式对其品质的影响。表观颜色是紫甘蓝最主要的品质特性之一,也是衡量鲜切产品新鲜度的重要指标。图2为两种切分方式及贮藏前后鲜切紫甘蓝样品的颜色变化情况。由图2(a)至(d)可知,样品的亮度下降、红色和蓝色减弱,逐渐失去紫甘蓝的新鲜色泽,这与贮藏过程中紫甘蓝的水分流失及花色苷含量变化有关<sup>[10]</sup>。纵切样品的初始 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值均高于横切样品,且贮藏9d后,其亮度和蓝色的下降程度(14.77%和13.57%)均低于横切样品(19.04%和15.25%),表明纵向切分较横切可更好地保持鲜切紫甘蓝的亮度和蓝色。这是由于平行于茎的切分更大程度地保持了紫甘蓝细胞的完整性,减少了细胞色素的损失,并减弱了愈伤诱导细胞呼吸速率加快的效果<sup>[7]</sup>。纵切样品中红色的减弱程度(42.77%)明显高于横切样品(18.14%);同样贮藏9d后,纵切样品的色差值( $\Delta E^*=6.97$ )高于横切样品( $\Delta E^*=3.05$ ),贮藏前后纵切样品的颜色变化较大,尤其是红色减弱较多。

褐变率能够直观反映鲜切蔬菜的颜色变化,贮藏期间的酶促褐变或非酶促褐变使色素积累,导致鲜切果蔬颜色变暗,从而影响其感官品质<sup>[22]</sup>。各样品的褐变率见图2(e),纵切样品的初始褐变率略高于横切样品,贮藏9d时其褐变率略增;而横切样品的褐变率增加一倍,说明横切样品更易发生褐变,且随贮藏时间延长,其褐变程度大幅增加。这与Primo等<sup>[23]</sup>关于切分方式对香蕉品质研究中的结论一致,沿果蔬纹理切分能最大程度减小组织损伤,降低果蔬呼吸速率,从而延缓褐变、延长贮藏期。

### 2.2 切分方式对紫甘蓝营养成分的影响

#### 2.2.1 可溶性固形物含量的变化

鲜切紫甘蓝的可溶性固形物含量测定结果如图3。图3显示,与0d相比,贮藏9d后样品中的SSC下降0.27~0.33Brix,但两种切分方式样品中的SSC无显著性差异,可见贮藏时间会降低鲜切紫甘蓝中的可溶性固形物含量,而不同切分方式对其无影响。

#### 2.2.2 酚类物质含量的变化

酚类物质是蔬菜中主要的次生代谢产物之一,其含量与蔬菜褐变有密切关系。蔬菜中酚类物质含量的变化直接影响其外观、鲜食和运输品质<sup>[24]</sup>。鲜切紫甘蓝中的酚类物质含量测定结果见图4。由图4(a)可知,与0d相比,贮藏9d后样品中总酚含量

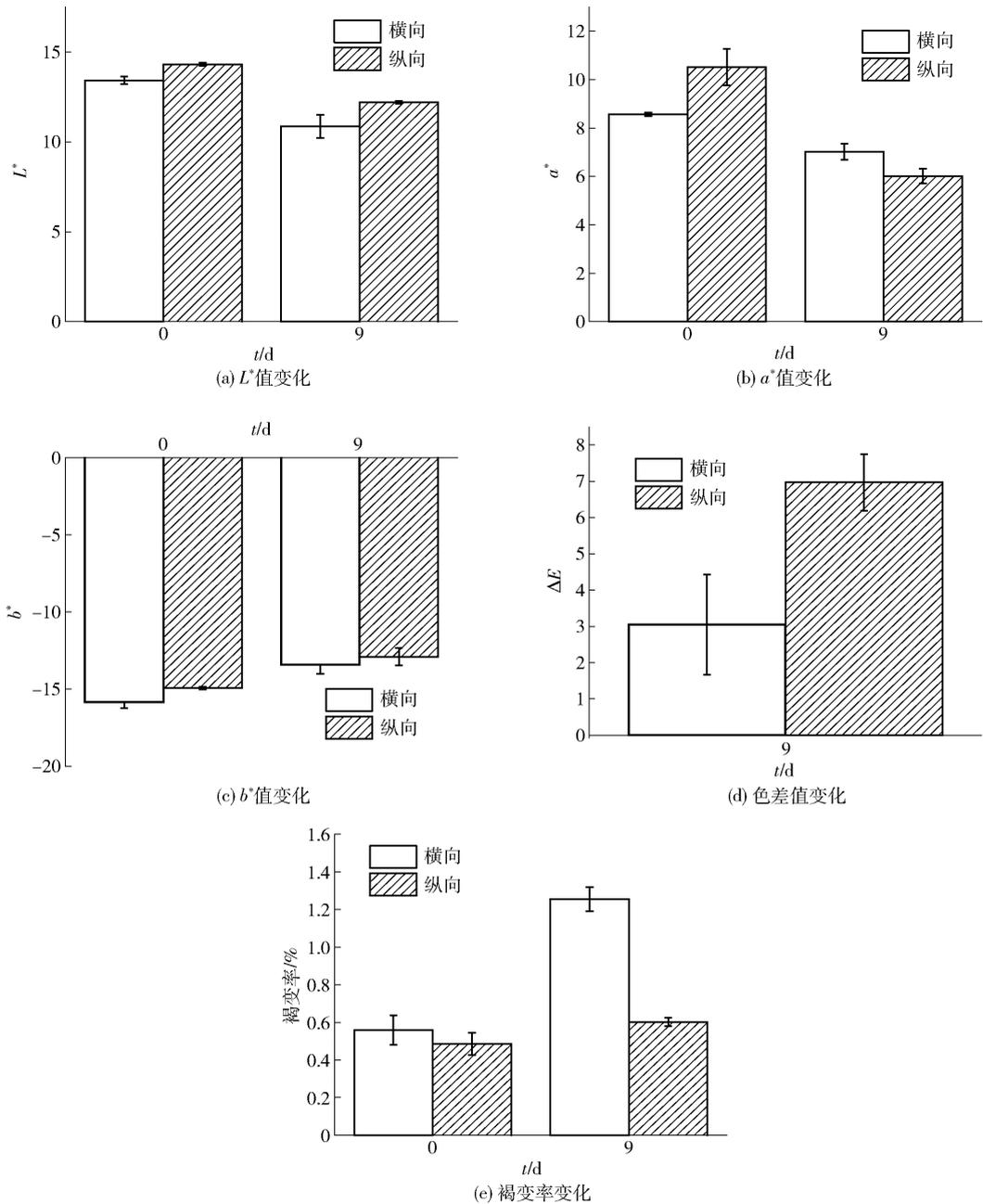


图2 贮藏过程中鲜切紫甘蓝的颜色变化及褐变程度

Fig. 2 Color index and browning degree of fresh-cut purple cabbage during storage

有所增加,可能是由于切割破坏了紫甘蓝的组织结构,组织损伤诱导相关酶活性的增加,导致酚类物质的合成<sup>[22]</sup>。横切和纵切样品的总酚含量分别为2.69、2.78 mg/g,纵切时平行于茎,对组织破坏程度较小,而横切对组织细胞破坏严重,导致酚类物质损失更多。为了进一步对比单酚物质差异,对各样品中的酚类化合物进行HPLC分析(图4(b)),与前人报道相似,5种酚类化合物中,儿茶素、绿原酸和咖啡酸在样品中含量较多<sup>[12]</sup>。随贮藏时间的延

长,横切处理贮藏9 d时5种成分的峰面积明显低于其他3个样品,尤其是儿茶素;其他处理无显著性差异,这与总酚含量变化存在差异,可能除以上5种外,其他酚类化合物导致其含量的增加。纵切较横切更加有效保持了紫甘蓝中这5种酚类化合物的含量。

### 2.2.3 花色苷含量的变化

花色苷是紫甘蓝的重要成分之一,不仅反映紫甘蓝外观颜色的变化,还是其营养品质的重要指

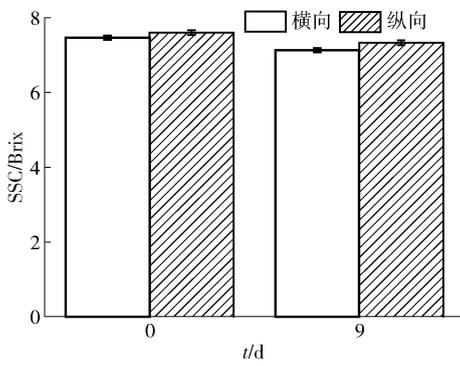
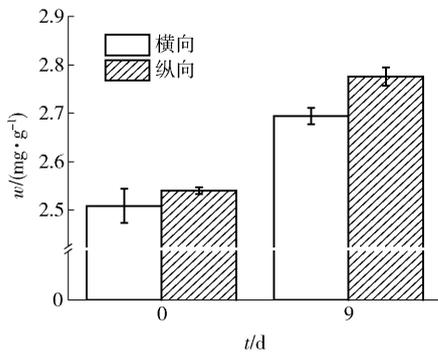


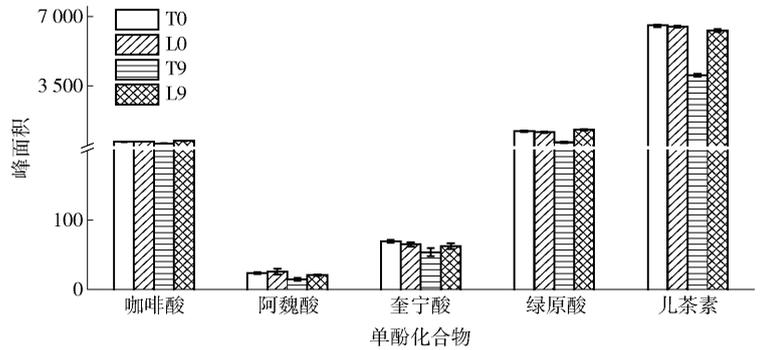
图3 贮藏过程中鲜切紫甘蓝的可溶性固形物含量变化

Fig. 3 Changes of soluble solids content of fresh-cut purple cabbage during storage

标<sup>[19]</sup>。两种切分方式及贮藏前后鲜切紫甘蓝中的



(a) 总酚含量变化

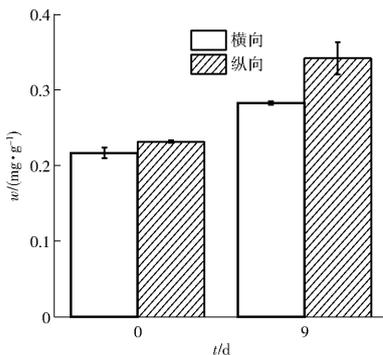


(b) 单酚含量变化

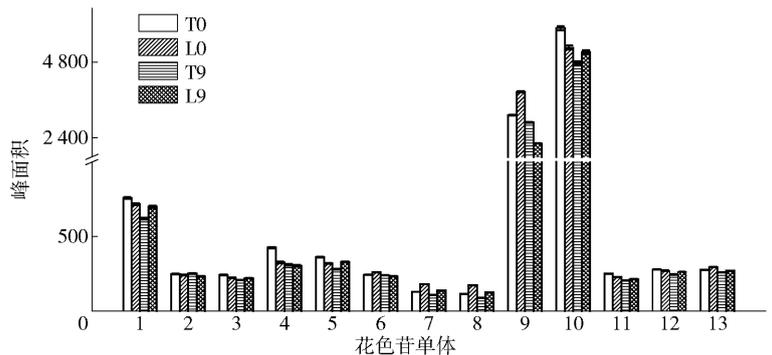
T:横切,L:纵切,0:贮藏0 d,9:贮藏9 d。

图4 贮藏过程中鲜切紫甘蓝的总酚及单酚化合物含量变化

Fig. 4 Contents of total and single phenolic compounds of fresh-cut purple cabbage during storage



(a) 总花色苷含量变化



(b) 花色苷单体含量变化

1. 矢车菊素-3-槐糖苷-5-葡萄糖苷; 2. 矢车菊素-3,5-双葡萄糖苷; 3. 矢车菊素-3-(芥子酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 4. 矢车菊素-3-(咖啡酰)(p-香豆酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 5. 矢车菊素-3-(咖啡酰)(芥子酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 6. 矢车菊素-3-(p-香豆酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 7. 矢车菊素-3-(芥子酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 8. 矢车菊素-3-(p-香豆酰)槐糖苷-5-(琥珀酰)-葡萄糖苷; 9. 矢车菊素-3-(芥子酰)(阿魏酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 10. 矢车菊素-3-(阿魏酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 11. 矢车菊素-3-槐糖苷-5-葡萄糖苷; 12. 矢车菊素-3-(芥子酰)(p-香豆酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷; 13. 矢车菊素-3-(芥子酰)槐糖苷-5-(芥子酰)-葡萄糖苷。T:横切,L:纵切,0:贮藏0 d,9:贮藏9 d。

图5 贮藏过程中鲜切紫甘蓝的总花色苷及花色苷单体含量变化

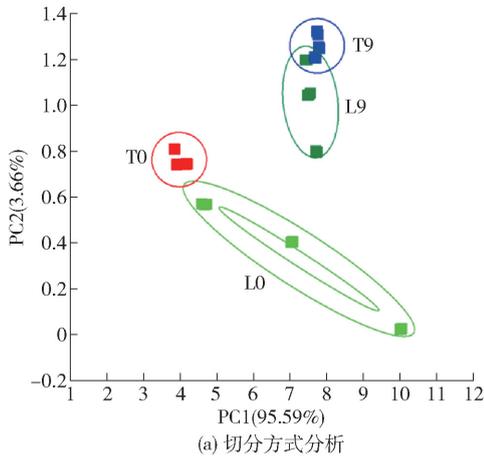
Fig. 5 Contents of total and single anthocyanins of fresh-cut purple cabbage during storage

花色苷含量变化情况如图5。图5(a)中,与0 d相比,贮藏9 d时横切和纵切样品中的总花色苷含量分别增加0.06、0.11 mg/g,且纵切样品比横切样品高0.06 mg/g。图5(b)显示了各样品中13种花色苷单体的峰面积,与前人研究结果相似,紫甘蓝中检测的花色苷均为矢车菊类花色苷,其中矢车菊素-3-(阿魏酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷、矢车菊素-3-(芥子酰)(阿魏酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷和矢车菊素-3-槐糖苷-5-葡萄糖苷相对较多,均属于B环二羟基的矢车菊类花色苷<sup>[25]</sup>。贮藏9 d时这3种化合物均有所减少,其中矢车菊素-3-(阿魏酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷和矢车菊素-3-槐糖苷-5-葡萄糖苷横切处理的含量低于纵切,而矢车菊素-3-(芥子酰)(阿魏酰)槐糖苷-5-葡萄糖苷含量相对较多。

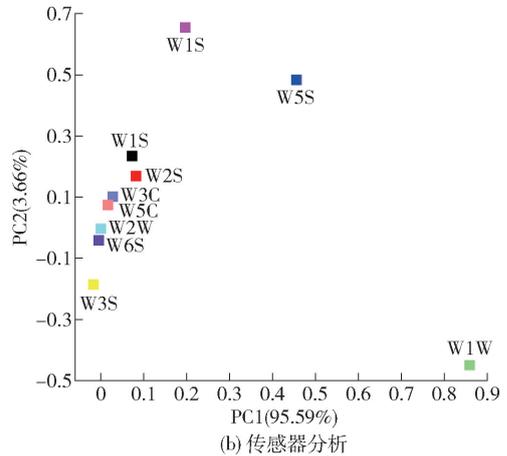
## 2.3 切分方式对紫甘蓝风味品质的影响

### 2.3.1 电子鼻分析结果

电子鼻由具有不同选择性的化学传感器阵列与相关的模式识别系统组成,可用于食品风味分析、新鲜度监测、掺假鉴定及微生物安全评估等领域<sup>[26]</sup>。为比较两种切分方式及贮藏前后紫甘蓝的感官风味差异,对各样品进行了电子鼻分析,实验结果见图6。对结果的主成分分析表明(图6(a)),PC1和PC2的贡献率分别为95.59%和3.66%,基本可反映原变量的全部信息。由图6(a)可知,PC2可有效



(a) 切分方式分析



(b) 传感器分析

T:横切,L:纵切,0:贮藏0 d,9:贮藏9 d。

图6 鲜切紫甘蓝样品的电子鼻分析结果

Fig. 6 Electronic nose analysis of fresh-cut purple cabbage samples

### 2.3.2 挥发性成分分析

为进一步观察样品风味品质的差异,采用HS-GC-MS方法对两种切分方式及贮藏前后紫甘蓝中的挥发性成分进行分析,结果见表2。由表2可知,样品中共检出15种挥发性化合物,包括4种醇类、1种酯类、1种醛类、2种烷烯类和7种硫化物。二甲基二硫醚、(Z)-3-己烯-1-醇、二甲基三硫醚、3-丁烯基异硫氰酸酯和苯乙醇等含量相对较高的化合物在所有样品中均被检出,1-己醇和异硫氰酸环丙酯在0 d和横切处理9 d的样品中检出,在纵切贮藏9 d的样品中未检出,但甲酸己酯和异硫氰酸烯丙酯仅在纵切处理9 d样品中检出;此外,与0 d相比,贮藏9 d后的紫甘蓝中未检出1-辛醇、1-癸烯、异硫氰酸苄酯和异硫氰酸-2-苯乙酯,但检出了2,3,5-三硫代正己烷,说明不同样品中的挥发性化合物种类存在一定差异。就含量而言,二甲基二硫醚、(Z)-3-己烯-1-醇和3-丁烯基异硫氰酸酯是鲜切紫甘蓝中的主要挥发性成分,其中,二甲基二硫醚在横切处理

区分贮藏前后及两种不同切分方式的紫甘蓝样品,其中不同贮藏时间样品的区分度高于不同切分方式的样品。贮藏9 d后紫甘蓝的PC2得分高于0 d样品,尤其横切样品(T9)。结合图6(b)可知,横切样品的甲烷(W1S)和氮氧化物(W5S)气味突出,说明纵切可相对较好地保持鲜切紫甘蓝在贮藏期间的新鲜风味。这可能是由于纵切对紫甘蓝组织破坏程度较小,而横切对组织细胞破坏更严重,导致醇、醛、硫化物等挥发性成分的形成,产生不良风味,从而影响产品的感官品质<sup>[6]</sup>。

9 d样品中的含量明显低于其他3个样品;(Z)-3-己烯-1-醇在横切样品中的含量在贮藏9 d后增加5.74%,在纵切样品中有所降低(减少8.58%);而样品中的3-丁烯基异硫氰酸酯在贮藏9 d后有所减少,尤其纵切样品中减少约2/3。

由于挥发性成分种类较多,且各样品间化合物种类及含量有所差异,可通过PCA多元统计分析法对鲜切紫甘蓝的风味差异进行综合评价<sup>[27]</sup>(见图7)。以特征值大于1为依据,共提取2个公因子,其中PC1和PC2的累计方差贡献率为93.21%,可包含原变量大多数的信息,样品的PCA分布图和挥发性成分的载荷图分别见图7(a)和(b)。图7(a)中,贮藏0 d的样品位于第一象限,与贮藏9 d的样品分别分布于PC1轴的正负两端;结合图7(b),贮藏0 d样品中1-辛醇、1-癸烯、异硫氰酸苄酯和异硫氰酸-2-苯乙酯的含量高于贮藏9 d样品;贮藏9 d后,生成了新的挥发性物质甲酸己酯和异硫氰酸烯丙酯。PC2可有效区分

贮藏9 d的横切和纵切紫甘蓝,其中横切处理9 d样品的特征风味物质为苯乙醇,纵切处理9 d样品中为甲酸己酯和异硫氰酸烯丙酯,这与电子鼻分析的氮硫化合物增加结果一致。可见贮藏9 d后,

横切紫甘蓝会产生具有不良气味的挥发性成分,原因是横向切分对组织结构的破坏更严重,加快了紫甘蓝的呼吸衰老进程,更易使不愉快风味物质产生,影响其风味品质<sup>[6]</sup>。

表2 鲜切紫甘蓝样品中的挥发性化合物

Tab.2 Volatile compounds in fresh-cut purple cabbages identified by GC-MS

编号	化合物名称	CAS	保留指数 (RI)	t/min	含量/%			
					T0	L0	T9	L9
C1	二甲基二硫醚	624-92-0	1 073	12.85	65.99	64.94	58.05	68.15
C2	甲酸己酯	629-33-4	/	20.47	—	—	—	0.95
C3	异硫氰酸烯丙酯	57-06-7	1 235	20.72	—	—	—	1.86
C4	1-己醇	111-27-3	1 353	20.74	3.48	3.78	3.58	—
C5	异硫氰酸环丙酯	56601-42-4	/	20.99	3.46	3.65	3.95	—
C6	(Z)-3-己烯-1-醇	928-96-1	1 384	21.47	10.67	13.56	16.41	4.98
C7	二甲基三硫醚	3658-80-8	1 362	21.81	1.83	1.92	7.9	14.85
C8	壬醛	124-19-6	1 390	22.02	1.17	—	—	—
C9	3-丁烯基异硫氰酸酯	3386-97-8	/	23.13	9.95	9.17	6.74	3.66
C10	1-辛醇	111-87-5	1 554	24.85	0.54	0.59	—	—
C11	1-癸烯	872-05-9	1 024	26.43	0.72	0.35	—	—
C12	2,3,5-三硫代正己烷	42474-44-2	1 626	26.51	—	—	2.38	5.05
C13	苯乙醇	60-12-8	1 909	30.04	0.15	0.25	0.35	0.21
C14	异硫氰酸苄酯	622-78-6	2 109	33.92	0.22	0.25	—	—
C15	异硫氰酸-2-苯乙酯	2257-09-2	/	37.19	0.36	0.63	—	—

“/”表示未查到相关资料,“—”表示未检出。

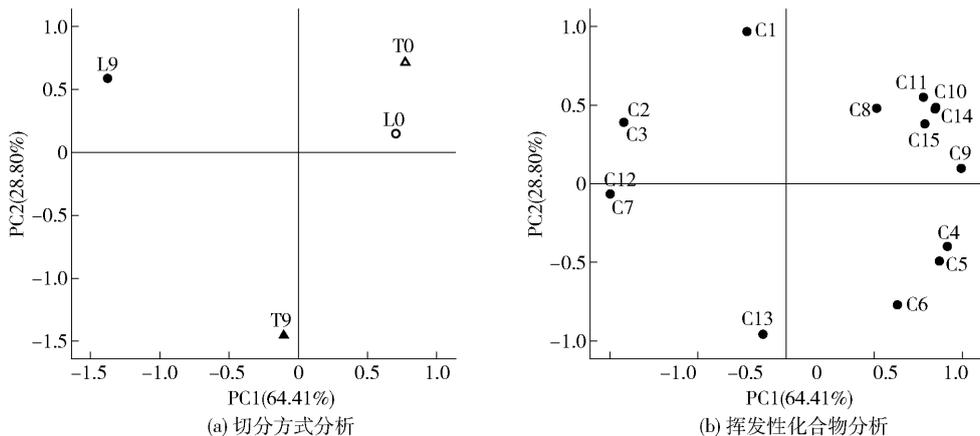


图7 鲜切紫甘蓝挥发性化合物主成分分析结果

Fig.7 Volatile components analysis in fresh-cut purple cabbage samples by PCA

### 3 结论

鲜切紫甘蓝在贮藏期间亮度降低、颜色减弱、褐

变度增加,致使其色泽品质下降;同时样品中可溶性固形物含量降低,但总酚和总花色苷含量提高;样品中氮化合物的增加导致产生不良风味。由于细胞

组织破坏程度不同,横切和纵切两种切分方式对鲜切紫甘蓝的品质影响不同:纵切较横切可有效减缓样品褐变,保持儿茶素、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸和奎宁酸等酚类物质含量;减少异硫氰酸烯丙酯等不良挥发性风味物质含量的增加。纵切是更适合于鲜切紫甘蓝的切分方式,较横切更能维持其品质。希望本研究可为鲜切紫甘蓝品质的提高及其货架期的延长提供理论依据及技术支持。关于切分方式对紫甘蓝品质影响的机制尚需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈秋芳,贾宏汝. 十字花科植物的研究价值及开发利用前景[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34):11183 - 11185.  
CHEN Q F, JIA H R. Research values and the development and utilization prospects of crucifer [J]. Anhui Agricultural Science, 2007, 35(34):11183 - 11185.
- [2] 宋亚,杨静. 芸薹属蔬菜功能性成分研究进展[J]. 浙江农业科学, 2014(6): 837 - 840.  
SONG Y, YANG J. The development status of functional components of *Brassica* vegetables[J]. Zhejiang Agricultural Science, 2014(6): 837 - 840.
- [3] 陈洁,王冠岳,王春,等. 鲜切甘蓝保鲜工艺的研究[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(4): 23 - 26.  
CHEN J, WANG G Y, WANG C, et al. Research on preservation technology of fresh shredded cabbage [J]. Preservation and Processing, 2008, 8(4): 23 - 26.
- [4] PARK E Y, MOON J H, PARK H Y, et al. Effect of thermal shock cycling on storage stability and quality of fresh-cut potato[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 121:1 - 8.
- [5] 鲁丽莎,张俊芳,王海宏,等. 鲜切生菜发展现状 & 保鲜技术研究进展[J]. 滨州学院学报, 2011, 27(3): 87 - 92.  
LU L S, ZHANG J F, WANG H H, et al. The development status of fresh-cut lettuce and study in fresh preserving techniques for fruits and vegetables[J]. Journal of Binzhou University, 2011, 27(3): 87 - 92.
- [6] DEZA-DURAND K M, PETERSEN M A. The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 61(1): 83 - 90.
- [7] MARTINEZ I, ARES G, LEMA P. Influence of cut and packaging film on sensory quality of fresh-cut butter head lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Wang) [J]. Journal of Food Quality, 2008, 31:48 - 66.
- [8] 王冉冉,赵欣,易若琨,等. 鲜切紫甘蓝加压氩气保鲜处理条件的响应面优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 253 - 258.  
WANG R R, ZHAO X, YI R K. Optimization of preservation technology of pressurized argon of fresh-cut red cabbage by response surface methodology [J]. Food Industry Technology, 2019, 40(7): 253 - 258.
- [9] 许青莲,王冉冉,王丽,等. 不同预冷方式对鲜切紫甘蓝冷链贮运销品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(7): 135 - 143.  
XU Q L, WANG R R, WANG L, et al. Effects of different pre-cooling methods on quality changes in fresh-cut purple cabbage during cold-chain transportation [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(7): 135 - 143.
- [10] 范郁斐. 不同保鲜剂处理对鲜切紫甘蓝贮藏期内品质与成分的影响[D]. 临安:浙江农林大学, 2019.  
FAN Y F. Effects on quality and composition of fresh-cut purple cabbage with different antistaling agents [D]. Lin'an: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2019.
- [11] 姜爱丽,胡文忠,张维娜,等. 异硫氰酸烯丙酯处理对鲜切紫甘蓝生理代谢的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 252 - 258.  
JIANG A L, HU W Z, ZHANG W N, et al. Effect of allyl isothiocyanate treatment on physiological metabolism of fresh-cut purple cabbage [J]. Food Science, 2018, 39(3): 252 - 258.
- [12] 宋亚. 鲜切紫甘蓝和红菜薹中功能性成分的变化及保鲜剂的影响[D]. 临安:浙江农林大学, 2015.  
SONG Y. Change of functional components and effects of natural preservative agents in fresh-cut red cabbage and purple flowering stalks [D]. Lin'an: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2015.
- [13] 王健,宋亚,方佳宁,等. 植酸处理对鲜切紫甘蓝品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(11): 2017 - 2023.  
WANG J, SONG Y, FANG J N, et al. Effect of phytic acid on the quality of fresh-cut red cabbage [J]. Zhejiang Agricultural Journal, 2015, 27(11): 2017 - 2023.

- [14] 中华人民共和国卫生部. 食品微生物学检测 菌落总数的测定: GB 4789.2—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 2-3.  
Health Ministry of the People's Republic of China. Food microbiological examination aerobic plate count: GB 4789.2—2010 [S]. Beijing: China Standard Press, 2010: 2-3.
- [15] 董雪临, 张超, 王宇滨, 等. 运输时间对鲜切生菜品质的影响[J]. 食品科技, 2015(11): 334-337.  
DONG X L, ZHANG C, WANG Y B, et al. Effect of transportation time on quality of fresh-cut lettuce[J]. Food Technology, 2015(11): 334-337.
- [16] SINGLETON V L, ROSSI J A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1965, 16(3): 144-158.
- [17] 刘小莉. 十一种酚类化合物的高效液相色谱测定方法研究[D]. 西安: 西北大学, 2008.  
LIU X L. Investigation on determination methods of eleven phenolic compounds by high performance liquid chromatography [D]. Xi'an: Northwestern University, 2008.
- [18] 宋德群, 孟宪军, 王晨阳, 等. 蓝莓花色苷的 pH 示差法测定[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(2): 231-233.  
SONG D Q, MENG X J, WANG C Y, et al. Determination of blueberry anthocyanins through pH differential method[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2013, 44(2): 231-233.
- [19] 王海. 紫甘蓝花青素的提取纯化、结构鉴定及其生物学作用的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.  
WANG H. Extraction, purification, structural identification and biological functions of anthocyanins in purple cabbage[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [20] 范俊俊, 张往祥, 王欢, 等. 电子鼻测定海棠花香的方法研究[C]//花卉优质、高产、高效标准化栽培技术交流会论文汇编. 南昌: 中国园艺学会, 2014: 80-88.  
FAN J J, ZHANG W X, WANG H, et al. Method of crabapple flower scent by electronic nose [C] // Paper collection of conference on the high quality, yield and efficiency standardized cultivation techniques for flow-  
ers. Nanchang: Chinese Horticultural Society, 2014: 80-88.
- [21] 刘芳, 兰全学, 李碧芳, 等. 国内外即食食品微生物限量标准解析[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(2): 215-223.  
LIU F, LAN Q X, LI B F, et al. Comparative analysis on domestic and international microbiological limits for ready-to-eat foods[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2017, 36(2): 215-223.
- [22] LI S Y, LI X J, HE X, et al. Effect of mild heat treatment on shelf life of fresh lotus root[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 90: 83-89.
- [23] PRIMO A, TANCREDI L. Maximal cuts and differential equations for Feynman integrals: an application to the three-loop massive banana graph[J]. Nuclear Physics, 2017, 921: 316-356.
- [24] 田迪英, 杨荣华. 果蔬抗氧化活性与总酚含量相关性研究[J]. 化学世界, 2004, 45(2): 70-73.  
TIAN D Y, YANG R H. Studies on the relation of total phenols content to the antioxidant activity of fruits and vegetables[J]. Chemical World, 2004, 45(2): 70-73.
- [25] 蒋晓岚, 石渝凤, 付周平, 等. 紫甘蓝矢车菊色素苷的分析及其苷元的制备[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 257-264.  
JIANG X L, SHI Y F, FU Z P, et al. Analysis and preparation of cyanidin glycosides from purple cabbage [J]. Food Science, 2019, 40(10): 257-264.
- [26] 窦文卿, 柴春祥, 鲁晓翔. 无损检测技术在水果品质评价中应用的研究进展[J/OL]. 食品工业科技, 2020. (2020-06-23) [2020-07-01]. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.1759.TS.20200623.1356.022.html>.
- [27] DOU W Q, CHAI C X, LU X X. Research progress of non-destructive detection technique in fruit quality evaluation [J/OL]. Food Industry Technology, 2020. (2020-06-23) [2020-07-01]. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.1759.TS.20200623.1356.022.html>.
- [27] SETTOUTI N, AOURAG H. Structural and mechanical properties of alkali hydrides investigated by the first-principles calculations and principal component analysis [J]. Solid State Sciences, 2016, 58: 30-36.

*Mizuhopecten yessoensis* myosin was selected as the target sequence, which was enzymatically digested *in silico*, and then the toxicity and bioactivity of the peptides were predicted. The non-toxicity peptides with activity scores exceeding 0.5 were selected, and SARS-CoV-S/ACE2 complex protein and COVID-19 Mpro hydrolase were selected as targets for molecular docking to identify their viral resistance. The molecular docking results showed that the peptide CSNAIPEL could bind to the two key amino acids GLN42 and GLU329 on the SARS-CoV-S/ACE2 complex protein, and the LibDock Score was 136.03. LPIY could not only combine with ASP38 and TYR491 on the SARS-CoV-S/ACE2 complex protein, but also potentially combine with THR24, THR25 and THR26 on COVID-19 Mpro, and the LibDock Score was 142.85 and 168.04 respectively. QRPR combined with THR24, THR25 and THR26 on the COVID-19 Mpro hydrolase crystal, and the LibDock Score was 154.93. In summary, peptides CSNAIPEL, LPIY and QRPR exhibited well anti-SARS-CoV-2 capability. This study could provide novel ideas for the development of new function foods of anti-SARS-CoV-2 in the future.

**Keywords:** molecular simulation; simulated enzymatic hydrolysis; SARS-CoV-2; virtual screening; molecular docking; anti-SARS-CoV-2 peptides

(责任编辑:叶红波)

(上接第36页)

## Effect of Cutting Direction on Nutritional Quality and Volatile Flavor Substances of Fresh-Cut Purple Cabbage

WANG Dan, LU Rongrong, MA Yue, ZHU Li, WANG Yubin, ZHAO Xiaoyan\*

(Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science/Beijing Key Laboratory of Agricultural Products of Fruits and Vegetables Preservation and Processing/Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China)

**Abstract:** In order to study the effects of different cutting direction on the quality of purple cabbages, the apparent color, browning degree, contents of soluble solids, phenolic compounds and anthocyanins, and flavor profiles of freshly transverse or longitudinal cutting purple cabbages before and after storage were compared. After storage for 9 days, the results showed that  $L^*$  and  $a^*$  of fresh cut purple cabbages were decreased,  $b^*$  and browning index were increased, the soluble solids content was decreased by 0.27 – 0.33 Brix, and contents of total phenol and anthocyanins were increased by 2.69 – 2.78 mg/g and 0.06 – 0.11 mg/g, respectively. Longitudinal cutting could slow down the browning and maintain the phenolic compounds such as catechin, chlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid and quinic acid. In addition, the nitrogen oxides in purple cabbage was increased after storage analyzed by electronic nose and volatile matter, and allyl isothiocyanate in transverse cutting samples was increased than that in longitudinal cutting samples, which led to undesirable odor production. In conclusion, longitudinal cutting could efficiently slow down the surface browning and maintain the phenolic substances and flavor quality of purple cabbages. The results could provide theoretical references for improving the quality and extending the shelf life of fresh-cut purple cabbage.

**Keywords:** cutting direction; purple cabbage; phenolic compounds; anthocyanins; volatile compounds

(责任编辑:叶红波)