

# 油菜籽粕酶解液对甜瓜采后品质的影响

## Effect of rapeseed meal hydrolyzate on the postharvest quality of muskmelon

王芳 李学文 黄瑜 侯俊楠 杨晶 谢元

WANG Fang LI Xue-wen HUANG Yu HOU Jun-nan YANG Jing XIE Yuan

(新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**摘要:**以新疆甜瓜为试材,分析在温度 25 ℃、相对湿度 55%~60% 条件下,油菜籽粕酶解液对甜瓜采后贮藏品质及生理指标的影响。结果表明,与对照组相比,油菜籽粕酶解液能够有效降低甜瓜的呼吸强度、质量损失率和相对电导率,维持果实硬度、糖酸和 V<sub>C</sub> 的含量,抑制丙二醛的增加,提高过氧化物酶活性,较好地保持了果实的品质和风味,说明油菜籽粕酶解液可以作为天然保鲜剂应用于甜瓜采后贮藏保鲜。

**关键词:**油菜籽粕;酶解液;甜瓜;品质

**Abstract:** To evaluate the postharvest quality and physiological index of Xinjiang melon, rapeseed meal hydrolyzate was used on it under 25 ℃, relative humidity 55%~60% surroundings. Results showed the hydrolyzate of rapeseed meal could decrease the respiratory intensity, weight loss rate and relative electrical conductivity of muskmelon, maintained the fruit hardness, sugar, acid and vitamin C content, inhibited the increasing of malonaldehyde content, improved the activity of peroxidase. Thus could maintain the quality and flavor of muskmelon fruit. Rapeseed meal hydrolysate can be used as a natural preservative for muskmelon postharvest storage.

**Keywords:** rapeseed meal; enzymatic hydrolyzate; melon; quality

甜瓜作为新疆的名优特果品,2014 年新疆甜瓜种植面积为 6.669 0×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,总产量已达到 2.349 6×10<sup>6</sup> t<sup>[1]</sup>,但其采后呼吸代谢旺盛,容易腐烂变质,故采用经济、安全的保鲜措施是提升甜瓜商业价值的关键。化学保鲜法仍是新疆甜瓜采后病害控制的主要手段,然而长期、大量使用化学药剂会引起病原微生物产生抗药性和环境污染等问题<sup>[2]</sup>,因此,天然安全的植物源保鲜剂逐渐受到人们的青睐。

**基金项目:**新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师科研启动基金(编号: XJEDU2014S018)

**作者简介:**王芳,女,新疆农业大学在读硕士研究生。

**通信作者:**李学文(1964—),男,新疆农业大学教授,博士。

E-mail: 1741695056@qq.com

**收稿日期:**2017-02-22

硫甙葡萄糖苷(简称硫苷)是广泛存在于十字花科、番木瓜科等植物的一类重要次生代谢产物,该类物质本身稳定且无毒<sup>[3]</sup>,但硫苷酶解生成的异硫氰酸酯类具有抗癌<sup>[4]</sup>、杀虫<sup>[5]</sup>、抑菌<sup>[6]</sup>、防鸟害<sup>[7]</sup>等多种生物活性。有学者<sup>[8,9]</sup>将芥末籽的酶解产物加入到新鲜的苹果汁和葡萄汁中,果汁保存 10 个月依然能达到质量要求;Troncoso 等<sup>[9]</sup>研究发现硫苷酶解产物能够预防灯笼椒的黑斑病。十字花科的油菜中含有多种硫苷<sup>[10]</sup>,尤其是油菜籽中含量最丰富,研究报道以油菜籽粕当作农肥能够抑制土壤中胺化细菌的生长<sup>[11]</sup>,用油菜的根茎熏蒸土壤可抑制镰刀菌和大丽轮枝菌等多种土传病原菌,同时油菜根系的硫苷酶解液对草莓灰霉菌有明显的抑制作用<sup>[12]</sup>。硫苷酶解产物的抑菌活性通过抑菌圈试验已被证实,但目前直接将油菜籽粕中硫苷酶解产物作为天然抑菌剂用于甜瓜采后保鲜的报道较少。

本研究拟以甜瓜为材料,研究油菜籽粕酶解液对甜瓜贮藏品质的影响,旨在为油菜籽粕酶解液应用于甜瓜保鲜提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

甜瓜:西州蜜-25,采自新疆维吾尔自治区葡萄瓜果开发研究中心试验基地。挑选果柄处带 T 型藤蔓的果实,无病虫害且表皮完整,单果质量约为 2 kg,可溶性固形物含量不低于 14%;

油菜籽粕:品种为黑珍珠,新疆伊宁市榨油厂,油菜籽粕经过除杂、挑选及干燥(45 ℃、10 h)粉碎后过 60 目筛,用石油醚(沸程 30~60 ℃)于索氏提取器中脱脂 8 h,在通风厨晾干后得到油菜籽粕干粉末置于干燥器中备用;

愈创木酚、磷酸二氢钠、三氯乙酸、丙酮、氢氧化钠、氯化钡、草酸等:均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

紫外-可见分光光度计:UV-1200 型,上海美普达仪器有限公司;

高速万能粉碎机:FW-100型,北京市永光明医疗仪器有限公司;  
 旋转蒸发仪:R2-201型,郑州长城科工贸有限公司;  
 果实硬度计:GY-B型,浙江托普仪器有限公司;  
 雷磁电导率仪:DDS-307型,上海仪电科学仪器股份有限公司;  
 高速冷冻离心机:GL-20G-II型,上海安亭科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 粗芥子酶的制备 取油菜籽种子(发芽率大于85%,保存期不得超过2年)粉碎,过60目筛,用石油醚去除其中脂肪,在通风柜中吹去残留石油醚,置于棕色瓶中4℃保存,可在2周内使用<sup>[13]</sup>。

1.3.2 油菜籽粕酶解液的制备 按照前期预备试验的成果,将处理好的油菜籽粕样品置于三角烧瓶中,加入油菜籽粕量25%的粗芥子酶和pH为4的磷酸缓冲液[料液比为1:20(g/mL)],在45℃水浴中搅拌100min后离心(3000r/min、20min),静置一段时间后,用二氯甲烷萃取两次,分出二氯甲烷层<sup>[14]</sup>,在45℃下旋转蒸发除尽二氯甲烷,得到1g/mL的油菜籽粕酶解原液<sup>[15]</sup>,参考油菜籽粕酶解液离体抑菌试验结果将原液稀释成10mg/mL备用。

1.3.2 甜瓜处理 随机挑选甜瓜置于浓度为10mg/mL的油菜籽粕酶解液中浸泡3min后晾干,对照组用清水处理,每个处理3个平行。每个处理58个瓜,其中40个瓜,依次编号用于统计失重率,剩余18个瓜定期取样测定指标。将晾干的甜瓜用泡沫袋包装后,装箱入库(温度25℃,相对湿度55%~60%),依据甜瓜表形变化4~6d取一次样,测定指标。

1.4 指标的测定

1.4.1 呼吸速率的测定 采用静置法测定<sup>[16]</sup>。

1.4.2 失重率的测定 采用重力法测定,每个处理组的甜瓜各选取40个,失重率按式(1)计算:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

W——失重率,%;

$m_1$ ——贮前重量,g;

$m_2$ ——贮后重量,g。

1.4.3 硬度的测定 将甜瓜果实沿赤道轴切开,在切面上中轴对应的果肉组织上对称选取4点,采用GY-B型数显手持硬度计由果皮向果肉插入2cm处测定,即为果皮硬度,单位:kg/cm<sup>2</sup>。

1.4.4 可溶性固形物的含量测定 在甜瓜赤道部位对称取4处靠近果腔处的果肉,用数显手持糖度计测定。

1.4.5 Vc和可滴定酸含量的测定 参照文献<sup>[17]</sup><sup>35-40</sup>。

1.4.6 相对电导率的测定 采用DDS-307型雷磁电导率仪测定。用直径10mm的打孔器在甜瓜赤道轴处对称采集圆柱状果肉,切成2mm厚的薄片,各取10片用去离子水淋洗2次定容,静置1h后测定电导率 $L_1$ ,煮沸3min后冷却至室温,测定煮沸后电导率 $L_0$ ,重复3次,按式(2)计算:

$$Le = \frac{L_1}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$Le$ ——相对电导率,%;

$L_1$ ——煮前电导率, $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;

$L_0$ ——煮后电导率, $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

1.4.7 丙二醛含量的测定 参照文献<sup>[18]</sup>。

1.4.8 过氧化物酶(peroxidase,POD)活性的测定 采用愈创木酚法<sup>[17]</sup><sup>112</sup>,以每分钟吸光度变化0.01为一个酶活性单位(U),以鲜质量计算。

1.5 数据处理

数据用Microsoft Office Excel 2010处理,利用SPSS 19.0进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实呼吸强度的影响

呼吸强度与果实成熟衰老、品质变化以及贮藏时间紧密相关。由图1可知,呼吸强度总体呈现先升高后降低的趋势,即出现了明显的呼吸高峰。对照组第12天时达到呼吸高峰,峰值为8.15 mg CO<sub>2</sub>/(kg·h);油菜籽粕酶解液处理组第16天时达到呼吸高峰,峰值为7.02 mg CO<sub>2</sub>/(kg·h),显著低于对照组(P<0.05),表明经油菜籽粕酶解液处理后可推迟并降低甜瓜呼吸高峰,呼吸跃变的时间与魏佳等<sup>[19]</sup>的研究结果基本一致。经呼吸跃变后,甜瓜呼吸强度随着贮藏时间的增长整体呈现下降趋势。在相同的时间内,油菜籽粕酶解液处理的甜瓜呼吸强度低于对照组。甜瓜采后没有营养物质来源,因此任何程度的呼吸作用必定会加快机体的营养物质消耗,从而减少甜瓜重量,最终加速贮藏过程中果实的衰老和腐烂<sup>[20]</sup>。

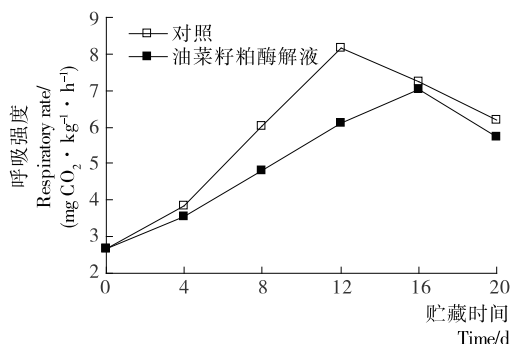


图1 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实呼吸强度的影响(25℃)  
 Figure 1 Effects of rapeseed meal hydrolyzate treatments on respiratory rate of muskmelon at 25 °C

2.2 油菜籽粕酶解液对甜瓜失重率的影响

由图2可知,在贮藏期间,油菜籽粕酶解液处理组和对照组的甜瓜失重率呈上升趋势。在0~4d时,甜瓜的质量损失率变化幅度均缓慢。4d之后,对照组失重率上升幅度较快,与对照组相比,油菜籽粕酶解液浸果处理能有效减少甜瓜水分散失,二者差异显著(P<0.05),其原因可能是油菜籽粕酶解液附于瓜皮,可能阻塞表面气孔,从而减少水分的散失。

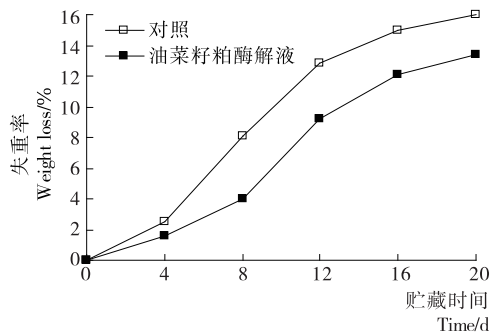


图 2 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实失重率的影响(25 °C)

Figure 2 Effects of rapeseed meal hydrolyzate treatments on weight loss of muskmelon at 25 °C

### 2.3 油菜籽粕酶解液对甜瓜硬度的影响

硬度反应了果实成熟和衰老的情况,水分蒸发和微生物代谢产生的果胶酶、纤维素酶等致使甜瓜果肉变软。由图 3 可知,甜瓜的硬度呈现下降趋势,贮藏前期,果实保持鲜脆的状态,硬度下降缓慢,对照组在 8~12 d 时下降明显,说明不添加任何保鲜剂处理的成熟甜瓜在室温下能存放 8 d 左右。贮藏后期,经过油菜籽粕酶解液浸泡的甜瓜硬度显著高于对照组( $P < 0.05$ ),可能与油菜籽粕酶解液含有具有抑菌作用的异硫氰酸酯类物质有关<sup>[8]5</sup>,能减少在采后贮藏期间病菌的侵染及病害的发生,从而延缓了甜瓜硬度的下降。

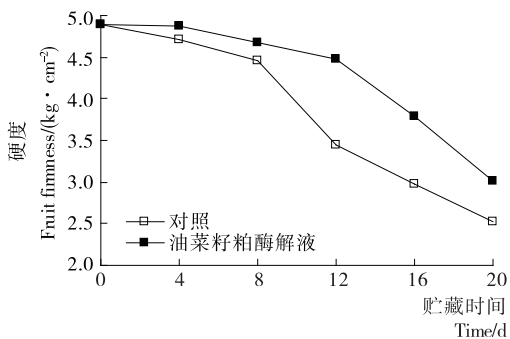


图 3 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实硬度的影响(25 °C)

Figure 3 Effects of rapeseed meal hydrolyzate treatments on fruit hardness of muskmelon at 25 °C

### 2.4 油菜籽粕酶解液对甜瓜可溶性固形物含量的影响

水果在贮藏过程中营养物质的损失与可溶性固形物(total soluble solids, TSS)含量的下降有一定的关系。由图 4 可知,油菜籽粕酶解液处理组和对照组的 TSS 含量在前 4 d 有小幅度的增加,可能是甜瓜后熟过程中通过呼吸作用可将有机酸转化为糖,以及其他途径产生糖和可溶性固形物,甜瓜中 TSS 略微增加。4 d 后,在相同贮藏期油菜籽粕酶解液处理组的 TSS 含量均高于对照组,这与甜瓜呼吸强度变化规律基本一致。20 d 时油菜籽粕酶解液处理组与对照组差异极显著( $P < 0.01$ ),说明油菜籽粕酶解液能有效减少病原菌的入侵及自身代谢过程对糖类的消耗,减缓了贮藏期间甜瓜 TSS 含量的降低,有利于果实品质的保持。

### 2.5 油菜籽粕酶解液对甜瓜 V<sub>C</sub> 含量的影响

V<sub>C</sub> 含量是衡量水果营养品质和防腐保鲜效果的重要指

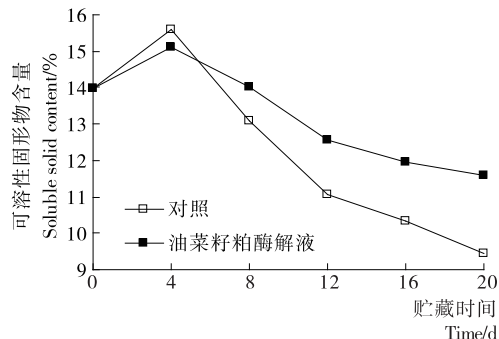


图 4 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实可溶性固形物含量的影响(25 °C)

Figure 4 Effects of rapeseed meal hydrolyzate treatments on soluble solid content of muskmelon at 25 °C

标之一。由图 5 可知,随着贮藏时间的延长,甜瓜 V<sub>C</sub> 含量逐渐降低,油菜籽粕酶解液处理的甜瓜 V<sub>C</sub> 含量在整个贮藏期均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),说明油菜籽粕酶解液会延缓甜瓜营养物质的流失。

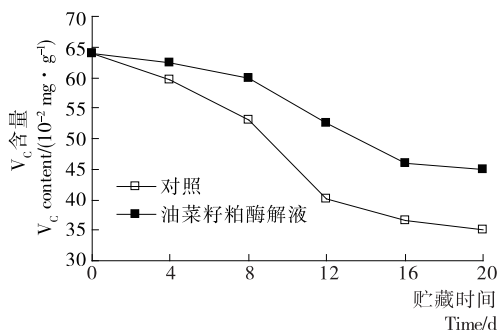
图 5 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实 V<sub>C</sub> 含量的影响(25 °C)

Figure 5 Effects of rapeseed meal hydrolyzate treatments on V<sub>C</sub> Content muskmelon at 25 °C

### 2.6 油菜籽粕酶解液对甜瓜可滴定酸含量的影响

可滴定酸(total acid, TA)对果实口感和风味至关重要,随着贮存时间的延长,一部分酸伴随着果实呼吸作用被消耗,另一部分则转化为糖<sup>[21]</sup>。由图 6 可知,对照组和油菜籽粕酶解液处理组甜瓜的 TA 随着贮藏时间的延长呈现逐渐

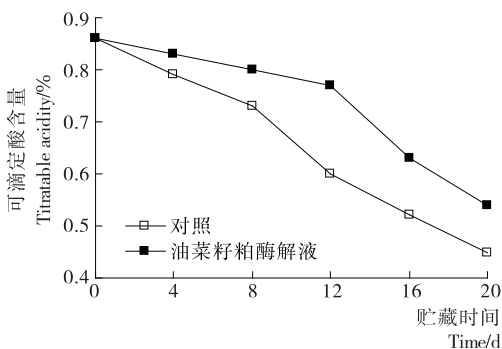


图 6 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实可滴定酸含量的影响(25 °C)

Figure 6 Effects of rapeseed meal hydrolyzate treatments on titratable acidity of muskmelon at 25 °C

下降的趋势,第20天对照组的TA含量比0d鲜果下降了43.5%,而油菜籽粕酶解液处理组仅下降了26%,两者差异显著( $P < 0.05$ ),说明油菜籽粕酶解液能有效抑制甜瓜的呼吸强度,减少酸性物质的损失,保持甜瓜的风味,这与甜瓜硬度、呼吸强度、失水率及其成熟度的变化规律基本一致。

### 2.7 油菜籽粕酶解液对甜瓜丙二醛含量的影响

丙二醛(MDA)是植物在逆境下遭受伤害(或衰老)诱发的膜脂过氧化产物,其含量的高低反映膜脂过氧化的程度,以及膜系统受损程度和植物的抗逆性。由图7可知,整个贮藏过程期间,果实MDA含量逐步上升,且油菜籽粕酶解液处理组的甜瓜一直维持较低水平。贮藏8d后,对照组的MDA含量迅速上升,12d时为1.89 nmol/g,这与甜瓜呼吸速率的变化规律基本一致。20d时,经方差分析可知,用油菜籽粕酶解液处理的甜瓜MDA含量显著低于对照组( $P < 0.05$ )。结果表明,油菜籽粕酶解液通过抑制甜瓜的呼吸作用,有效抑制了甜瓜果肉膜脂过氧化的进程,可以延缓果实的衰老。该结果与桂枝提取液对新余蜜桔果实丙二醛含量影响的结果相一致<sup>[22]</sup>。

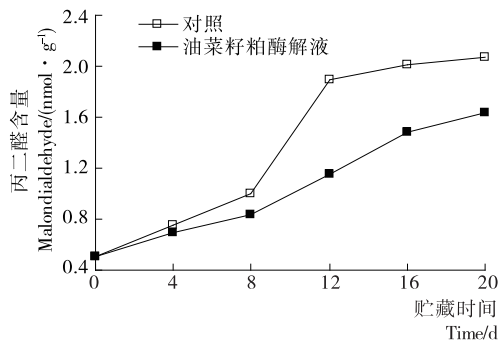


图7 油菜籽粕酶解液对甜瓜果丙二醛含量的影响(25 °C)  
Figure 7 Effects of rapeseed meal hydrolyzate treatments on MDA content of muskmelon at 25 °C

### 2.8 油菜籽粕酶解液对甜瓜相对电导率的影响

相对电导率是细胞膜透性、完整性的重要生理指标,也与果实成熟软化紧密相连。由图8可知,随着甜瓜贮藏期的延长及果实呼吸作用的自我消耗,相对电导率呈现出上升趋势,说明贮藏期间,甜瓜的细胞膜完整性逐渐降低。贮藏

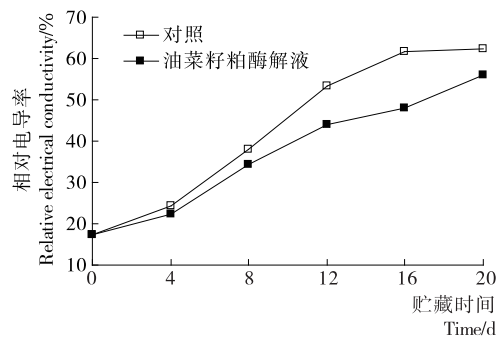


图8 油菜籽粕酶解液对甜瓜果实相对电导率的影响(25 °C)  
Figure 8 Effect of rapeseed meal hydrolyzate treatments on relative electrical conductivity of muskmelon at 25 °C

0~12d时对照组甜瓜的相对电导率增幅较大,但与处理组差别不明显。12d以后对照组相对电导率增加速度显著大于油菜籽粕酶解液处理组( $P < 0.05$ )。在整个贮藏期间油菜籽粕酶解液组甜瓜的相对电导率均低于对照组,说明在贮藏过程中油菜籽粕酶解液能降低果实细胞膜的损伤程度,维持其较好的通透性。

### 2.9 复合溶液对甜瓜 POD 活性的影响

POD是评价保鲜效果的关键指标,果实在受到病原微生物的侵害之后,随着呼吸速率的升高活性氧自由基也会增加,而果蔬组织中的POD能催化过氧化物和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>分解。由图9可知,贮藏8d前,处理组和对照组甜瓜,POD活性变化不明显,这是因为贮藏前期,甜瓜呼吸强度较低。12~16d时两组甜瓜果实中POD呈持续上升的趋势,20d时油菜籽粕酶解液处理组的POD酶活为116.7 U/g,对照组为90.1 U/g,说明油菜籽粕酶解液可以明显降低甜瓜呼吸强度,使甜瓜POD活性维持在较高水平,从而增强甜瓜对环境的适应能力。王刚震等<sup>[23]</sup>在研究核桃青皮和壳聚糖复合物对甜瓜保鲜效果的影响中也得到了相似的研究结果。

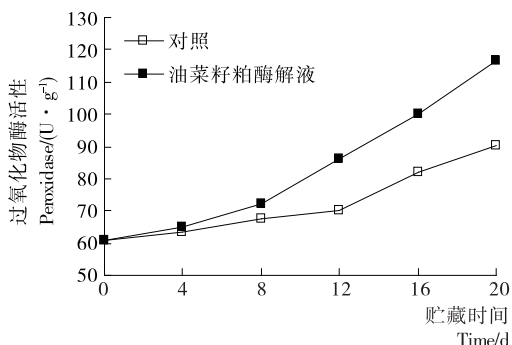


图9 油菜籽粕酶解液对甜瓜果过氧化酶活性的影响(25 °C)  
Figure 9 Effect of rapeseed meal hydrolyzate treatments on POD activity of muskmelon at 25 °C

## 3 结论

甜瓜果实采收后品质下降很大程度是受到微生物的侵害而引起腐烂变质,综合各项结果表明,在常温贮藏条件下,采用浓度为10 mg/mL油菜籽粕酶解液可有效延迟甜瓜呼吸高峰的出现,降低呼吸强度和质量损失率,减少呼吸底物的损耗,从而较好地保持了甜瓜中糖酸和Vc的含量。因此,油菜籽粕酶解液具有良好的抑菌活性,具备进一步开发为果蔬天然保鲜剂的潜力。

油菜籽粕酶解液有助于保护甜瓜果实细胞膜的完整性,显著地抑制电导率的上升和MDA含量的增加,提高POD的活性,说明油菜籽粕酶解液既有良好的抑菌防腐活性,又有抗病性的诱导作用,可能是油菜籽粕酶解液作为一种粗提物,不仅含有杀菌作用的异硫氰酸酯类,还包括一些腈类、噁唑烷酮等物质<sup>[3]</sup>,推测有些物质有抑菌作用,有些有诱导抗性作用,或者兼有抑菌和抗性诱导作用,因此果实的抗病诱导中有效抑菌成分的纯化及抑菌保鲜机理还需要进一步研究。

## 参考文献

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2015: 12-14.
- [2] 李钟美, 黄和. 高良姜提取物抑菌活性及稳定性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 55-59.
- [3] 杨瑛洁, 李淑燕, 胡国伟, 等. 硫代葡萄糖苷的降解途径及其产物的研究进展[J]. 西北植物学报, 2011(7): 1 490-1 496.
- [4] YARDFON T, SHYAM S S, NAPHAPORN C, et al. Microwave-assisted extraction of Sulforaphane from white cabbages: Effects of extraction condition, solvent and sample pretreatment [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(1): 151-157.
- [5] WINDE I, WITTSTOCK U. Insect herbivore counteradaptations to the plant glucosinolate-myrosinase system [J]. Phytochemistry, 2011, 72: 1 566-1 575.
- [6] NIELS Agerbirk, CARL Erik Olsen. Glucosinolate structures in evolution[J]. Phytochemistry, 2012, 10(77): 16-45.
- [7] 赵永国, 江满霞, 张文, 等. 双低油菜硫苷含量与鸟害关系研究 [J]. 中国油料作物学报, 2016(1): 111-115.
- [8] 毕明芳. 山葵风味成分的提取及活性研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2015.
- [9] TRONCOSO R, ESPINOZA C, SA'NCHEZ-ESTRADA A, et al. Analysis of the isothiocyanates present in cabbage leaves extract and their potential application to control Alternariot in bell peppers[J]. Food Research International, 2005, 38(6): 701-708.
- [10] 刘晓君, 张余权, 潘浴清, 等. 油菜籽中硫甙化合物的分离鉴定和定量测定[J]. 中国油脂, 2014, 39(2): 89-93.
- [11] 张丽萍, 魏明峰, 张贵云, 等. 高硫苷油菜对棉花黄萎病菌和红腐病菌的抑制活性[J]. 中国棉花, 2017(2): 10-14, 26.
- [12] 李锋, 张春雷, 李光明. 油菜硫苷组分含量及抑菌活性研究[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(4): 351-356.
- [13] 中华人民共和国农业部. NY/T 1596—2008 油菜饼粕中异硫氰酸酯的测定 硫脲比法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 丁艳, 李丽倩, 顾振新, 等. 7 种十字花科种子中黑芥子酶降解油菜籽饼粕中硫苷的产物比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 1-7.
- [15] 杨柳, 陈宇飞. 番茄茎叶提取物抑菌试验[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 126-128.
- [16] DHARINI S, LISE K. Fruit quality and physiological responses of litchicultivar McLean, s Red to 1-methylcyclopropene pretreatment and controlled atmosphere storage conditions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(6): 942-948.
- [17] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [18] ZHOU Ran, ZHANG Gui-xiang, HU Yun-sheng, et al. Reductions in flesh discolouration and internal morphological changes in Nanhui peaches (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Nanhui) by electrolysed water and 1-methylcyclopropene treatment during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 985-992.
- [19] 魏佳, 马晓芬, 阿塔吾拉·铁木尔, 等. 核桃青皮提取液与壳聚糖复合物对甜瓜采后品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 242-248.
- [20] 曾媛媛, 王锡昌, 周然. 运输振动对哈密瓜贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 141-144, 148.
- [21] 张姣姣, 杨军, 李学文, 等. 不同成熟期甜瓜果实采后生理及品质变化的比较研究[J]. 新疆农业大学学报, 2015(6): 470-476.
- [22] 陈玉环, 彭旋, 陈楚英. 桂枝提取液对新余蜜橘冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 111-114.
- [23] 王刚霞. 核桃青皮提取物果蔬保鲜剂的研究与应用[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2014: 41-42.
- (上接第 67 页)
- [3] LU Tu-lin, NING Zi-wan, SHAN Xin, et al. Research situation of effects of sulfur fumigation on quality of traditional Chinese medicine [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2014, 15: 2 796-2 800.
- [4] DUAN Su-min, XU Jun, BAI Ying-jia, et al. Sulfur dioxide residue in sulfur-fumigated edible herbs: The fewer, the safer [J]. Food Chemistry, 2016, 192: 119-124.
- [5] 李林, 季琳, 程雪, 等. 多指标综合优选黄芪药材硫磺熏蒸替代技术研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(14): 2 581-2 586.
- [6] 岑剑伟, 李来好, 杨贤庆, 等. 充氮蒸馏一盐酸副玫瑰苯胺比色法测定水产品中亚硫酸盐 [J]. 食品科学, 2010, 31(24): 395-401.
- [7] 许磊. 亚硫酸盐电化学传感器的制备及其在食品检测中的应用 [D]. 浙江: 浙江工商大学, 2015: 17-30.
- [8] 王震. 食品中亚硫酸盐的使用及检测[J]. 现代食品, 2016(24): 75-78.
- [9] 崔海军. 近红外比率  $SO_3^{2-}$  探针和双光子 Pd 探针的合成、光谱及其生物应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2015: 9-13.
- [10] GUO Xiao-xi, HU Wei, LIU Yuan, et al. Rapid analysis and quantification of fluorescent brighteners in wheat flour by Tri-step infrared spectroscopy and computer vision technology [J]. J Mol Struct, 2015, 1 099: 393-398.
- [11] HU Wei, GUO Xiao-xi, WANG Xi-chang, et al. Rapid Discrimination of Different Grades of White Croaker Surimi by Tri-Step Infrared Spectroscopy Combined with Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) [J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(4): 831-839.
- [12] XU Li-rong, ZHU Xu-fei, CHEN Xiu-mei, et al. Direct FTIR analysis of isolated trans fatty acids in edible oils using disposable polyethylene film [J]. Food Chemistry, 2015, 185: 503-508.
- [13] GUO Xiao-xi, HU Wei, LIU Yuan, et al. Rapid determination and chemical change tracking of benzoyl peroxide in wheat flour by multi-step IR macro-fingerprinting [J]. Spectrochimica Acta Part A Molecular & Biomolecular Spectroscopy, 2015, 154: 123-129.
- [14] LIU Yuan, HU Wei, GUO Xiao-xi, et al. Rapid discrimination of three marine fish surimi by Tri-step infrared spectroscopy combined with Principle Component Regression [J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2015, 149: 516-522.