

# 咯菌腈对常温贮藏蓝莓残留量和品质的影响

张雪丹<sup>1</sup>, 刘涛<sup>2</sup>, 杨娟侠<sup>1</sup>, 王丹<sup>1</sup>, 范昆<sup>1</sup>, 张倩<sup>1</sup>, 辛力<sup>1,\*</sup>

(1. 山东省果树研究所, 山东 泰安 271000; 2. 中华人民共和国青岛海关, 山东 青岛 266555)

**摘要:**采用咯菌腈浸泡处理“莱格西”蓝莓, 研究蓝莓咯菌腈残留量和常温贮藏果实品质的变化。结果表明, 经 100 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡处理 10 s 后, 蓝莓果实中咯菌腈残留量为 $(1.91 \pm 0.05)$  mg/kg, 该处理可降低蓝莓腐烂率, 提高果实的呼吸速率和乙烯生成速率, 保持较高的可溶性固形物和花色苷含量, 但同时也促进果实失水, 具有较高的失重率。综上所述, 100 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡 10 s 处理蓝莓不仅有较低残留量, 还具有降低腐烂率和保持果实品质的作用。

**关键词:** 咯菌腈; 蓝莓; 保鲜; 残留量; 腐烂率

## Effect of Fludioxonil on Residue Level and Quality of Blueberries Stored at Room Temperature

ZHANG Xue-dan<sup>1</sup>, LIU Tao<sup>2</sup>, YANG Juan-xia<sup>1</sup>, WANG Dan<sup>1</sup>, FAN Kun<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, XIN Li<sup>1,\*</sup>

(1. Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, China; 2. Huangdao Customs District P.R. China, Qingdao 266555, China)

**Abstract:** In this study, 'Legacy' blueberries were immersed with fludioxonil solution to investigate the effect of fludioxonil treatment on fludioxonil residue level and storage quality of blueberry fruits at normal temperature. The results showed that the fludioxonil residue was  $(1.91 \pm 0.05)$  mg/kg in blueberries treated with fludioxonil solution of 100 mg/kg for 10 s, fludioxonil treatment significantly reduced the decay rate of fruits, increased the respiration rate and ethylene production rate, maintained the higher soluble solids and anthocyanin contents, but promote water loss of fruits as well, kept higher weight loss rate. By comprehensive analysis, fludioxonil treatment of 100 mg/kg for 10 s could keep lower fludioxonil residue level in blueberry, reduce the decay rate and maintain the fruit quality.

**Key words:** fludioxonil; blueberry; preservation; residue level; decay rate

中图分类号: S609+.3

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2021.04.017

蓝莓(*Vaccinium corymbosum* L.)又名蓝浆果、越橘, 为杜鹃花科越橘属植物, 其果肉细腻、肉软多汁、色泽美丽, 富含花色苷等营养成分和抗氧化物质, 具有很高的营养保健和经济价值<sup>[1-2]</sup>。虽然蓝莓果实 pH 较低, 但因采摘时果蒂部位的伤口易受病菌感染, 且

采收多在高温高湿季节, 果实呼吸速率高, 导致蓝莓果实腐烂而不耐贮藏, 20℃下贮藏期仅为一周左右, 这限制了蓝莓跨地域、长时间、高质量的流通和销售<sup>[3-4]</sup>。随着我国蓝莓栽培面积的不断扩大和果实产量的持续升高, 人们对蓝莓鲜果采后品质提出了更

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0401303), 山东省重点研发计划(2019GNC106053);  
山东省现代农业产业技术体系水果创新团队专项基金(SDAIT-06-13)

作者简介: 张雪丹(1983—), 女, 汉族, 硕士, 助理研究员, 主要从事果品贮藏加工技术方面的研究工作。

\*通讯作者: 辛力, 硕士, 研究员, 主要从事果品贮藏加工技术方面的研究工作。

高的要求,不仅要保持较好的食用品质和较长的保鲜货架期,还需保证其食用安全性。

咯菌腈(Fludioxonil, FL)是一种低风险的广谱杀菌剂,属于苯基吡咯家族,主要抑制灰霉菌和青霉菌的菌丝生长和孢子萌发<sup>[5]</sup>。目前,咯菌腈已成为先正达、拜耳和孟山都等企业生产的30多种不同农药的主要成分,获准应用于900多种农产品上<sup>[6]</sup>。研究表明,该杀菌剂可显著降低柠檬<sup>[7]</sup>、石榴<sup>[8]</sup>、芒果<sup>[9]</sup>、樱桃<sup>[10]</sup>等果品贮藏保鲜的腐烂率,延长果品贮藏保鲜期的同时保持了果实品质,因此咯菌腈在果品采后贮藏保鲜领域有广阔的应用前景。但有研究表明,咯菌腈可能会对神经系统产生负面影响从而影响人类健康<sup>[11]</sup>,因此各国均对咯菌腈的应用范围和作用物最大残留量做出严格的规定。

目前,咯菌腈主要用于蓝莓栽培中各种病害的防治上<sup>[12-13]</sup>,未见有咯菌腈用于蓝莓采后贮藏保鲜的研究。本文以“莱格西”(Legacy)蓝莓为试材,研究咯菌腈浸泡处理对采后常温保鲜蓝莓的咯菌腈残留量、腐烂率、失重率、呼吸速率、乙烯生成速率、可溶性固形物、可滴定酸和花青苷含量等的影响,综合评价咯菌腈用于蓝莓采后贮藏保鲜的安全性和可行性,旨在为蓝莓采后贮藏保鲜提供新的途径和理论依据,为果蔬采后贮藏保鲜提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 材料与试剂

蓝莓品种为野生蓝莓和高灌蓝莓的杂交后代“莱格西”(Legacy),采自山东省泰安市岱岳区方泰旭瑞农业科技开发有限公司,果园为6年生标准化蓝莓园。2019年6月24日早上采摘8~9成熟果,当天上午运至实验室,去除霉烂、虫害、凹陷、畸形等非商品果,挑选大小、色泽一致的果实备用。

50%咯菌腈(粉剂):先正达生物科技有限公司产品;乙腈、硫酸镁、柠檬酸、氯化钾、乙酸钠、盐酸、甲醇等均为分析纯,天津市凯通化学试剂有限公司产品。

#### 1.1.2 仪器与设备

Agilent1260 高相液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;WY032T 型手持测糖仪,西安精大检测设备有限公司;F-950 型手持式乙烯测量仪,北京阳光亿事达科技有限公司;ML-204 型电子天平,梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;UV-2100 型紫外可见分光光度计,瑞典 Amersham Biosciences 公司;5810R 型高速离心机,艾本德(上海)国际贸易有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 处理方法

对照(CK) 蓝莓在去离子水中浸泡处理 10 s,然后捞出沥干(果面无水分),装入打孔塑料盒内,每盒 200 粒,置于 20 ℃恒温箱内贮藏,共 30 个重复。分别于贮藏 0、2、4、6、8 d 取样,每次取样 6 盒。

咯菌腈处理(100 mg/kg FL):果实置于 100 mg/kg 的咯菌腈溶液中浸泡处理 10 s,然后捞出沥干(果面无水分),装入打孔塑料盒,每盒 200 粒,置于 20 ℃恒温箱内贮藏,共 30 个重复。放置 0、2、4、6、8 d 取样,每次取样 6 盒。

#### 1.2.2 测定项目与方法

##### 1.2.2.1 咯菌腈残留量

样品前处理参考秦富等<sup>[14]</sup>的方法,并稍有改动。称取 3.0 g 蓝莓样品,加入 20 mL 乙腈冰浴研磨,然后加入助剂硫酸镁(4 g)和柠檬酸(1 g)并混合振荡 30 min。经 4 000 r/min 离心 5 min,取上清液加入无水硫酸镁和 N-丙基乙二胺混匀,再次离心,上清液为制备待测液。色谱柱为 C18 柱,波长 270 nm,流动相为水和乙腈。

##### 1.2.2.2 腐烂率

果实表面发生汁液外漏或有肉眼可见腐烂斑点即为腐烂果,统计每盒蓝莓的腐烂果数,根据下列公式计算腐烂率:

$$\text{腐烂率}(\%) = \frac{\text{腐烂果数}}{\text{总果数}} \times 100$$

##### 1.2.2.3 失重率

称取每个保鲜盒内蓝莓果实的质量  $m_0$ ,常温放置 2 d 后果实质量为  $m_2$ ,根据下列公式计算常温放置 2 d 的失重率,以此类推分别称量并计算保鲜 4、6、8 d 的果实失重率。

$$\text{失重率}(\%) = \frac{m_0}{m_2} \times 100$$

##### 1.2.2.4 呼吸速率和乙烯生成速率

使用 F-950 型手持式乙烯测量仪测定密封容器内蓝莓果实的呼吸速率和乙烯生成速率<sup>[15-16]</sup>,其中呼吸速率以每小时每千克蓝莓果实产生的  $\text{CO}_2$  量(mg)表示,乙烯生成速率以每小时每千克蓝莓果实产生的乙烯体积量( $\mu\text{L}$ )表示。

##### 1.2.2.5 可溶性固形物含量

将蓝莓果实打浆并迅速吸取上清液 2~3 滴涂在手持测糖仪上,测定可溶性固形物含量。

##### 1.2.2.6 可滴定酸(TA)含量

采用酸碱滴定法测定,称取 10 g 果实用石英砂

研磨匀浆并加蒸馏水 30 mL 转移至三角瓶内,过滤;取滤液 10 mL,加入 3 滴酚酞,用 0.1 mol/L NaOH 滴至溶液微红转白色,30 s 不褪色即为滴定终点,记录消耗的 NaOH 用量。可滴定酸含量的计算公式如下所示,以果实中的苹果酸含量表示。

$$\text{TA 含量}(\%) = \frac{A \times 0.1 \times K \times C}{W \times D} \times 100$$

式中  $K$  为苹果酸换算系数 0.067;  $A$  为消耗 NaOH 量, mL;  $C$  为稀释总量;  $W$  为样品质量, g;  $D$  为测定取样量, mL。

### 1.2.2.7 花青素含量

参考 Lin 等<sup>[17]</sup>的双波长 pH 示差法,并稍有改动。称取 3 g 蓝莓组织研磨,加入酸性甲醇(0.1% HCl) 30 mL,在 45 ℃水浴锅中提取 45 min,离心(6 000 r/min, 10 min),取上清液。沉淀中加入酸性甲醇 30 mL,再次提取、离心、合并上清液,重复两次,提取的 3 次上清液为花青素粗提液。吸取 1 mL 上述提取液,分别加入 9 mL 的 0.025 mol/L 氯化钾缓冲液(pH 1.0)和 0.4 mol/L 乙酸钠缓冲液(pH 4.5)稀释,平衡 15 min,然后分别在 515 nm 和 700 nm 处测定每种稀释液对蒸馏水的吸光度值。根据下列公式计算花青素含量,结果以 100 g 果实中所含有的矢车菊-3-葡萄糖苷(Cyanidin-3-glucoside)的量(mg)表示:

$$\text{花青素含量}(\text{mg}/100 \text{ g}) = \frac{\Delta A \times MW \times DF \times 100}{\varepsilon \times L}$$

式中  $\Delta A$  为 pH 1.0 测试液在波长 515 nm 和 700 nm 处吸光度的差减去 pH 4.5 测试液在波长 515 nm 和 700 nm 处吸光度的差;  $MW$  为矢车菊-3-葡萄糖苷的相对分子质量,449.2;  $DF$  为稀释因子;  $\varepsilon$  为矢车菊-3-葡萄糖苷的消光系数,29 600;  $L$  是光程厘米数,1 cm。

### 1.2.3 数据处理

数据统计分析和作图使用 GraphPad Prism 7 软件,显著性分析使用 SPSS 19.0 软件。每个处理 6 个重复,结果用平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 咯菌腈残留量分析

为评价咯菌腈用于蓝莓采后贮藏保鲜的食用安全性,课题组采用 HPLC 法对咯菌腈溶液浸泡处理后的蓝莓果实咯菌腈残留量进行了测定。研究发现,经 100 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡处理 10 s 后,蓝莓果实中咯菌腈残留量为(1.91±0.05) mg/kg(图 1)。

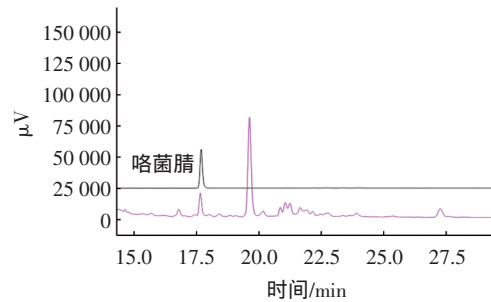
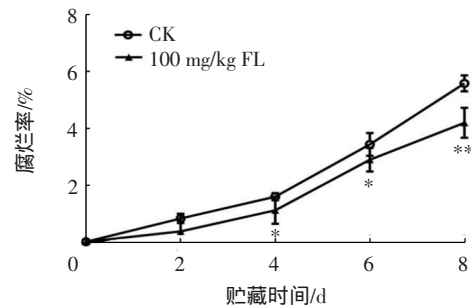


图 1 HPLC 法测定蓝莓中的咯菌腈残留量  
Fig.1 The determination of fludioxonil residue level in blueberries by HPLC

### 2.2 咯菌腈处理对蓝莓果实腐烂率的影响

腐烂率不仅影响果品的食用品质,还会影响果品的商品价值。为评价咯菌腈处理抑制蓝莓腐烂率的效果,开展了腐烂率调查试验,结果见图 2。在 20 ℃贮藏条件下,咯菌腈处理可以降低蓝莓腐烂率。常温放置 8 d,100 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡 10 s 处理果腐烂率为 4.19%±0.53%,极显著低于对照蓝莓果的腐烂率( $P<0.01$ )。这是因为造成本地蓝莓腐烂的主要病菌为灰霉菌<sup>[18]</sup>,而咯菌腈可以抑制灰霉菌菌丝生长和孢子萌发,因此可以有效降低蓝莓的腐烂率。



注 图中“\*”表示对照与咯菌腈处理之间差异显著( $P<0.05$ ),  
“\*\*”表示差异极显著( $P<0.01$ )。以下各图、表同。

图 2 咯菌腈处理对常温贮藏期间蓝莓果实腐烂率的影响  
Fig.2 Effect of fludioxonil treatment on decay rates of blueberry fruits during room temperature storage

### 2.3 咯菌腈处理对蓝莓失重率的影响

蓝莓果实商品性的丧失主要表现在两个方面,一是腐烂败坏,二是失水皱缩<sup>[19]</sup>。蓝莓采后呼吸作用造成有机物质的消耗和水分含量的下降,果实失重率增加。由图 3 可知,蓝莓果实的失重率随贮藏时间的延长逐渐升高,而咯菌腈处理显著促进了失重率的增加( $P<0.05$ )。20 ℃贮藏 2 d 时,对照果和 100 mg/kg FL 处理果的失重率分别为 0.92%±0.06%和 1.04%±0.07%;贮藏 8 d 时,对照果和 100 mg/kg FL 处理果的失重率

分别为  $4.47\% \pm 0.24\%$  和  $4.82\% \pm 0.15\%$ 。由此可知, 咯菌腈处理增加了常温保鲜蓝莓期果实的失重率。

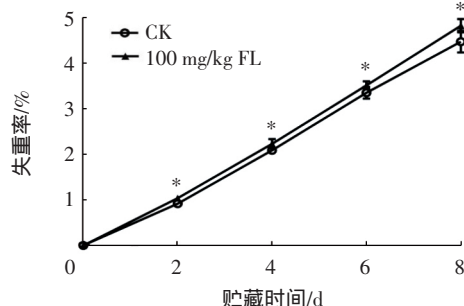


图3 咯菌腈处理对常温贮藏期间蓝莓果实失重率的影响

Fig.3 Effect of fludioxonil treatment on weight lost rates of blueberry fruits during room temperature storage

## 2.4 咯菌腈处理对蓝莓呼吸速率和乙烯生成速率的影响

由图4、5可知,随着贮藏时间的延长,蓝莓果实的呼吸速率和乙烯生成速率逐渐下降,但均保持中等呼吸速率和低乙烯生成速率的特性<sup>[20]</sup>。虽然100 mg/kg FL处理果的呼吸速率在常温保鲜期均高于对照果,但两者无显著性差异。与呼吸速率相同,咯

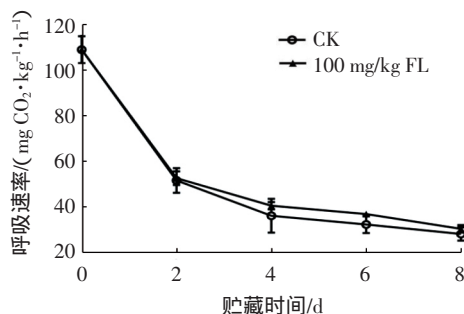


图4 咯菌腈处理对常温贮藏期间蓝莓果实呼吸速率的影响

Fig.4 Effect of fludioxonil treatment on respiration rate of blueberry fruits during room temperature storage

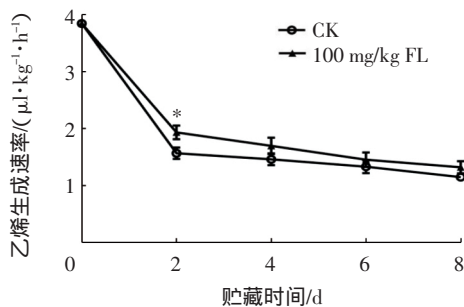


图5 咯菌腈处理对常温贮藏期间蓝莓果实乙烯生成速率的影响

Fig.5 Effect of fludioxonil treatment on ethylene production rate of blueberry fruits during room temperature storage

菌腈处理果的乙烯生成速率均高于对照果。且在常温贮藏2 d时,100 mg/kg FL处理果的乙烯生成速率显著高于对照( $P < 0.05$ ),即100 mg/kg 咯菌腈处理显著促进了果实的乙烯生成速率。这种促进作用可以提高蓝莓抗病酶的活性,如苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)等<sup>[21]</sup>,从而降低果实的腐烂率和衰老程度。

值得注意的是,常温贮藏期“莱格西”蓝莓的呼吸速率和乙烯生成速率的下降趋势相同,这可能与“莱格西”蓝莓属于高丛蓝莓有关,即高丛蓝莓的呼吸速率和乙烯含量在成熟期达到峰值,采后贮藏期间逐渐下降<sup>[22]</sup>。与对照果实相比,咯菌腈处理果实一直保持较高的呼吸速率( $\text{CO}_2$ 生成速率)和乙烯生成速率,这可能是造成咯菌腈处理果实失重率较高的主要原因。

## 2.5 咯菌腈处理对蓝莓可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

果实的可溶性固形物和可滴定酸含量决定了其食用时的口感和可接受程度。由表1可知,随着常温贮藏时间的延长,蓝莓的可溶性固形物含量先降低后升高。常温贮藏8 d时,100 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡10 s处理蓝莓果实的可溶性固形物含量达到最高,为  $14.72\% \pm 0.14\%$ ,但与CK相比无显著性差异。蓝莓的可滴定酸含量则呈现逐渐下降的趋势,但CK和100 mg/kg FL处理果的可滴定酸含量均无显著性差异,即100 mg/kg 咯菌腈处理果不会影响蓝莓的可滴定酸含量。综上所述,100 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡10 s处理不会影响蓝莓的食用品质。

表1 常温贮藏期间蓝莓果实可溶性固形物和可滴定酸含量的变化

Table 1 The contents of soluble solids and titration acid of blueberries stored at room temperature

| 时间/<br>d | 可溶性固形物含量/% |              | 可滴定酸含量/%  |              |
|----------|------------|--------------|-----------|--------------|
|          | CK         | 100 mg/kg FL | CK        | 100 mg/kg FL |
| 0        | 14.53±0.11 | 14.51±0.11   | 1.02±0.03 | 1.02±0.03    |
| 2        | 14.08±0.34 | 13.79±0.34   | 0.84±0.05 | 0.81±0.05    |
| 4        | 13.70±0.15 | 13.93±0.17*  | 0.60±0.02 | 0.60±0.01    |
| 6        | 14.20±0.23 | 14.38±0.30   | 0.54±0.01 | 0.53±0.02    |
| 8        | 14.59±0.18 | 14.72±0.14   | 0.50±0.02 | 0.50±0.01    |

## 2.6 咯菌腈处理对蓝莓花青素含量的影响

蓝莓果实富含花青素,具有较强的抗氧化性和较高的保健价值<sup>[23]</sup>。由图6可见,蓝莓花青素含量随着常温贮藏时间的延长而逐渐升高,贮藏4~8 d,100 mg/kg FL处理果的花青素含量显著高于对照( $P < 0.05$ )。常温贮藏8 d时,100 mg/kg 咯菌腈溶液浸

泡 10 s 处理果的花青素含量为 $(24.44 \pm 0.58)$  mg/100 g FW,显著高于对照果( $P < 0.05$ )。

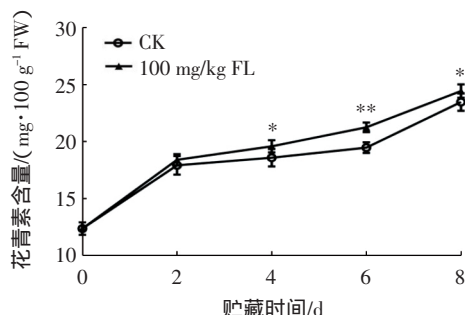


图6 咯菌腈处理对 常温贮藏期间蓝莓果实花青素含量变化的影响

Fig.6 Effect of fludioxonil treatment on anthocyanin content of blueberry fruits during room temperature storage

### 3 讨论与结论

前期研究发现,果实咯菌腈的残留量与咯菌腈浸泡后的处理方式有很大关系<sup>[24-25]</sup>。本课题组开展了咯菌腈溶液浸泡后再用水冲洗对咯菌腈残留量的影响研究。结果表明,蓝莓经 100 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡处理 10 s 后再用水冲洗 5 min,咯菌腈的残留量为 $(0.76 \pm 0.03)$  mg/kg;蓝莓经 200 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡处理 20 s 后再用水冲洗 5 min 的咯菌腈残留量为 $(0.82 \pm 0.03)$  mg/kg。由此可知,蓝莓经咯菌腈溶液浸泡后再用水冲洗 5 min 则可大大降低咯菌腈的残留量。值得注意的是,虽然用水冲洗可以降低蓝莓咯菌腈残留量,但处理的蓝莓腐烂率快速升高,因此不建议生产上先用高浓度咯菌腈溶液浸泡蓝莓后再用水冲洗蓝莓。

另外,咯菌腈残留量还与咯菌腈的品质状态有关。本试验中的咯菌腈为先正达公司生产的粉剂杀菌剂,200 mg/kg 咯菌腈溶液浸泡处理 20 s 后咯菌腈残留量为 $(2.97 \pm 0.16)$  mg/kg。而用另外一家公司生产的咯菌腈悬浮剂(50%)开展相同试验时,蓝莓中咯菌腈残留量为 $(6.63 \pm 0.39)$  mg/kg,且此处理的果实再用水冲洗 5 min 后咯菌腈的残留量为 $(1.84 \pm 0.15)$  mg/kg。

国际上有多个国家允许咯菌腈用于果蔬采后贮藏保鲜领域,但对其用于蓝莓的最大残留量标准较少,仅有澳大利亚新西兰食品标准委员会 2013 年将蓝莓中咯菌腈的最大残留量调整为 1.0 mg/kg,低于其在鳞茎类蔬菜和鳄梨上的最大残留量<sup>[26]</sup>。美国、澳大利亚和新西兰规定核果类(桃、樱桃、杏等)中咯菌腈的最大残留量为 5.0 mg/kg;加拿大规定叶菜类中咯菌腈的最大残留量为 30 mg/kg,西红柿为 5.0 mg/kg,

豆类为 0.4 mg/kg。2019 年 5 月欧盟食品安全局拟将茴香中咯菌腈的最大残留量调整为 1.5 mg/kg<sup>[27]</sup>。我国自 2020 年 2 月 15 日起实施的 GB 2763—2019《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》<sup>[28]</sup>规定,蓝莓果实中咯菌腈的最大残留量为 2.0 mg/kg,核果类水果的最大残留量为 5.0 mg/kg。综合咯菌腈用于蓝莓采后处理的残留量结果,为保证果实的安全食用,建议咯菌腈用于蓝莓采后保鲜的处理浓度不高于 100 mg/kg。

本试验以“莱格西”(Legacy)蓝莓为试材,研究咯菌腈浸泡处理对常温保鲜蓝莓的咯菌腈残留量、腐烂率、失重率、呼吸速率、乙烯生成速率、可溶性固形物、可滴定酸和花青素含量的影响。结果表明,采用 100 mg/kg 咯菌腈浸泡 10 s 的蓝莓果实咯菌腈残留量为 $(1.91 \pm 0.05)$  mg/kg,符合 GB 2763—2019 对于蓝莓咯菌腈的最大残留量标准。另外,该处理还显著降低了蓝莓果实的腐烂率,提高了果实的呼吸速率和乙烯生成速率,后期保持较高的可溶性固形物含量,并促进花青素的生成,但同时也促进了果实失水,具有较高的失重率。综上所述,100 mg/kg 咯菌腈浸泡 10 s 处理蓝莓果实不仅可以使其残留量保持在较低水平,还具有降低蓝莓腐烂率和保持果实品质的作用。

#### 参考文献:

- [1] 孔硕,刘娥,郭军. 1-甲基环丙烯在‘兔眼’蓝莓果实贮藏保鲜上的应用效果[J]. 北方果树, 2013(1): 7-9. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5698.2013.01.004.
- [2] 申芮萌. 蓝莓花色苷提取纯化、结构鉴定及体外抗氧化活性研究[D]. 北京 北京林业大学, 2016.
- [3] UMAGILIYAGE A L, BECERRA-MORA N, KOHLI P, et al. Antimicrobial efficacy of liposomes containing D-limonene and its effect on the storage life of blueberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 128: 130-137. DOI:10.1016/j.postharvbio.2017.02.007.
- [4] 邵海燕,徐龙,陈杭君,等. 蓝莓采后品质调控和抗氧化研究进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6): 1-8.
- [5] GAO Y Y, HE L F, LI B X, et al. The potential of fludioxonil for anthracnose control on China chili fruit[J]. Phytoparasitica, 2017, 45(3):1-12. DOI: 10.1007/s12600-017-0601-2.
- [6] BRANDHORST T T, KLEIN B S. Uncertainty surrounding the mechanism and safety of the post-harvest fungicide fludioxonil[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 123: 561-565. DOI: 10.1016/j.fct.2018.11.037.
- [7] KANETIS L, FÖRSTER H, ADASKAVEG J E. Comparative efficacy of the new postharvest fungicides azoxystrobin, fludioxonil, and pyrimethanil for managing citrus green mold[J].

- Plant Disease, 2007, 91(11):1502–1511. DOI: 10.1094/pdis-91-11-1502.
- [8] KAHRAMANOGLU I, USANMAZ S, ALAS T. Degradation of postharvest applied fludioxonil in pomegranate fruit cv. ‘Wonderful’ and efficacy on the gray mould[J]. Journal of Stored Products and Postharvest Research, 2019, 10(2): 20–23. DOI: 10.5897/JSPPR2018.0274.
- [9] DISKIN S, SHARIR T, FEYGENBERG O, et al. Fludioxonil – A potential alternative for postharvest disease control in mango fruit[J]. Crop Protection, 2019, 124: 104855. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104855.
- [10] 杨娟侠, 张雪丹, 倪世杰, 等. 咯菌腈与二氧化氯复合杀菌对甜樱桃的贮藏效果[J]. 落叶果树, 2019, 51(2): 12–14. DOI: 10.13855/j.cnki.lygs.2019.02.004.
- [11] COLEMAN M D, O’Neil J D, WOEHRLING E K, et al. A preliminary investigation into the impact of a pesticide combination on human neuronal and glial cell lines *in vitro*[J]. PloS One, 2012, 7(8):42768. DOI: 10.1371/journal.pone.0042768.
- [12] 岳清华, 高勇, 廖甜甜, 等. 6 种杀菌剂对 5 种蓝莓枝枯病原菌的室内毒力测定[J]. 山东农业科学, 2015, 47(6): 101–103. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.2015.06.024.
- [13] MARTÍN S M, SILVIA L R, MARÍA T M. Method development and validation for cyprodinil and fludioxonil in blueberries by solid-phase microextraction gas chromatography, and their degradation kinetics[J]. Food Additives and Contaminants: Part A, 2013, 30(7): 1299–1307. DOI: 10.1080/19440049.2013.801085.
- [14] 秦富, 邓全道, 李湧, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法快速测定罗汉果中 55 种杀菌剂[J]. 色谱, 2017, 35(11): 1129–1136. DOI: 10.3724/SP.J.1123.2017.07019.
- [15] AMUTHASELVI G, VARADHARAJU N, GANAPATHY S. Mathematical modeling of respiration rate of moringa pods[J]. International Journal of Agricultural Engineering, 2013, 6(2): 398–402.
- [16] CAPRIOLI F, QUERCIA L. Ethylene detection methods in post-harvest technology: A review[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2014, 203: 187–196. DOI: 10.1016/j.snb.2014.06.109.
- [17] LIN Y, WANG Y H, LI B, et al. Comparative transcriptome analysis of genes involved in anthocyanin synthesis in blueberry[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2018, 127: 561–572. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.04.034.
- [18] 王丹, 辛力, 张静, 等. 蓝莓采后灰霉病原鉴定及肉桂皮精油对其抑制作用[J]. 天津农业科学, 2019, 25(5): 63–66. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6500.2019.05.014.
- [19] 陈杭君, 王翠红, 邵海燕, 等. 不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1230–1236. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2013.06.017.
- [20] GEOZEFF G E G, ALEGRE M L, SENN M E, et al. Combination of nitric oxide and 1-MCP on postharvest life of the blueberry (*Vaccinium* spp.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 133: 72–80. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2017.06.012.
- [21] 姜爱丽, 孟宪军, 胡文忠, 等. 外源乙烯处理对采后蓝莓感官性状和呼吸代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 375–383. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2011.09.091.
- [22] NAMBEESAN S, NESMITH D S, MALLADI A. Effects of ethylene-related plant growth regulators on blueberry ripening and postharvest storage[R]. Southern Region Small Fruit Consortium, Research Grant: 2018.
- [23] LIN Y, WANG Y H, LI B, et al. Comparative transcriptome analysis of genes involved in anthocyanin synthesis in blueberry[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2018, 127: 561–572. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.04.034.
- [24] 张雪丹, 杨娟侠, 辛力, 等. HPLC 测定樱桃咯菌腈的残留量研究[J]. 农产品加工, 2018(9): 42–44, 52. DOI: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2018.09.013.
- [25] 杨娟侠, 张雪丹, 王丹, 等. 甜樱桃采后咯菌腈处理残留量试验[J]. 落叶果树, 2019, 51(3): 14–15. DOI: 10.13855/j.cnki.lygs.2019.03.005.
- [26] Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. Proposal to Amend Standard 1.4.2 of the Australia New Zealand Food Standards Code[S]. Commonwealth of Australia Gazette Agricultural and Veterinary Chemicals Code Act, 2015: 29–33.
- [27] ANASTASSIADOU M, BRANCATO A, BROCCA D, et al. Reasoned opinion on the modification of the existing maximum residue level for fludioxonil in Florence fennels[J]. EFSA Journal, 2019, 17(5): 5673–5694. DOI: 10.2903/j.efsa.2019.5673.
- [28] 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量 :GB 2763—2019[S]. 北京: 中国农业出版社, 2019.

收稿日期 2020-06-17