

## 3-癸烯-2-酮抑制马铃薯发芽的剂量 筛选及效果研究

葛霞<sup>1</sup>, 田甲春<sup>1</sup>, 黄铮<sup>2</sup>, 李守强<sup>1</sup>, 李梅<sup>1</sup>, 程建新<sup>1</sup>, 田世龙<sup>1</sup>

(1. 甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院  
畜草与绿色农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 研究新型抑芽剂 3-癸烯-2-酮对马铃薯的抑芽保鲜效果, 为马铃薯抑芽保鲜方面的应用提供了参考依据。以马铃薯品种青薯 9 号为试验材料, 分别采用 0.05、0.10、0.15、0.20、0.30 mL/kg 的 3-癸烯-2-酮对马铃薯进行抑芽熏蒸处理, 考察马铃薯的抑芽效果以确定适宜剂量, 并研究适宜剂量下的 3-癸烯-2-酮对马铃薯失重率、呼吸强度、抗氧化酶活性和膜脂过氧化等生理指标的影响。结果表明, 3-癸烯-2-酮的适宜剂量为 0.15 mL/kg, 可显著降低贮藏期间的失重率、呼吸强度, 延缓了膜脂过氧化程度, 并提高了马铃薯的抗氧化酶 SOD 和 CAT 活性。

**关键词:** 马铃薯; 3-癸烯-2-酮; 抑芽; 剂量筛选; 保鲜

中图分类号: S532 文献标志码: A 文章编号: 2097-2172(2024)12-1130-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.12.010

### Study on the Dose Screening and Effect of 3-decene-2-one on inhibiting Potato Sprouting

GE Xia<sup>1</sup>, TIAN Jiachun<sup>1</sup>, Huang Zheng<sup>2</sup>, LI Shouqiang<sup>1</sup>, LI Mei<sup>1</sup>, CHENG Jianxin<sup>1</sup>, TIAN Shilong<sup>1</sup>

(1. Agricultural Products Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Institute of Animal Husbandry, Pasture and Green Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** This study investigates the inhibitory effect of the novel sprout inhibitor 3-decene-2-one on potato sprouting, providing a reference for its application in potato preservation. Using the potato variety Qingshu 9 as the test material, potatoes were subjected to fumigation treatments with 3-decene-2-one at doses of 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, and 0.30 mL/kg to assess the sprouting inhibition and determine the appropriate dose. Effects of the optimal dose of 3-decene-2-one on physiological indicators, including weight loss rate, respiration intensity, antioxidant enzyme activity, and membrane lipid peroxidation in potatoes, were studied. The results indicated that the suitable dose of 3-decene-2-one is 0.15 mL/kg, which significantly reduces weight loss, respiration intensity, and membrane lipid peroxidation during storage, while increasing antioxidant enzyme activity of SOD and CAT in potatoes.

**Key words:** Potato; 3-decene-2-one; Sproutinhibition; Dose screening; Fresh-keeping

马铃薯是我国四大粮食作物之一, 块茎内富含淀粉、蛋白质、维生素和矿物质等元素, 具有丰富的营养价值, 是一种粮、菜、饲和工业原料兼用的优良作物<sup>[1-3]</sup>。我国作为马铃薯生产大国, 拥有庞大的贮藏量, 但随着马铃薯休眠的解除, 使得贮藏期间的马铃薯极易发芽, 加速水分散失、

增加腐烂率和有毒龙葵素的产生, 导致马铃薯贮藏品质劣变及后续加工原料的安全性难以保证<sup>[4]</sup>。目前常用的马铃薯抑芽方法包括物理法和化学法。低温和辐照处理虽然可以抑制马铃薯发芽, 但会影响加工品质; 采用亚常温贮藏(10~12℃)同时施用抑芽剂的技术来避免马铃薯贮藏损失, 降低

收稿日期: 2024-04-03; 修订日期: 2024-08-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(32360611); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-09-P26); 甘肃省农业科学院重点研发计划项目(2022GAAS45)。

作者简介: 葛霞(1982—), 女, 江苏南京人, 研究员, 硕士, 研究方向为马铃薯贮藏保鲜。Email: 12660940@qq.com。

通信作者: 田世龙(1965—), 男, 甘肃靖远人, 研究员, 主要从事马铃薯贮藏保鲜研究工作。Email: tianshilong@gsagr.ac.cn。

冷藏成本、防止马铃薯低温糖化继而影响加工品质; 全球普遍认可的马铃薯抑芽剂氯苯胺灵属于低毒类物质, 在马铃薯中使用浓度一般为 15~20 mg/kg, 但随着人们对食品安全的重视, 在欧盟、德国、加拿大等国家均制定了严格的 CIPC 残留限度 (5~15 mg/kg), 市场接受度也持续下降<sup>[5]</sup>。近年来, 王友生等<sup>[6]</sup>研究发现, 植物精油及其提取物对马铃薯块茎萌芽具有不同程度的抑制作用。张耘梦等<sup>[7]</sup>研究发现, 天然存在于水果和蘑菇香气成分中的 3-癸烯-2-酮, 其应用剂量为 0.010 mol/kg 时对生姜具有较好的抑芽效果, 而在马铃薯抑芽方面的剂量筛选及抑芽效果尚未见报道。因此, 我们以马铃薯品种青薯 9 号为试验材料, 筛选 3-癸烯-2-酮抑芽处理的适宜剂量, 并考察 3-癸烯-2-酮处理对马铃薯失重率、呼吸强度、抗氧化酶活性和膜脂过氧化等生理指标的影响, 明确其在马铃薯上的贮藏保鲜效果, 以期为其进一步应用于马铃薯抑芽、提升贮藏加工品质提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试马铃薯品种为青薯 9 号, 购于甘肃一航薯业科技发展有限责任公司; 3-癸烯-2-酮 (含量大于 93%), 购自上海麦克林生化科技有限公司。

### 1.2 仪器及试剂

UV-1900 紫外可见分光光度计 (日本岛津公司), CA-10 呼吸代谢测量系统 (美国 Sable systems international 公司)。透明塑料密闭贮藏箱 (50 cm × 37 cm × 27 cm, 38 L) 购于懒角落创意家居生活馆。轴流散热风扇 (90 mm × 90 mm × 25 mm) 购自德鑫旺工具商行。

### 1.3 试验方法

1.3.1 3-癸烯-2-酮对马铃薯抑芽剂量的筛选 以不做任何抑芽处理为对照 (CK), 测定 3-癸烯-2-酮剂量为 0.05、0.10、0.15、0.20、0.30 mL 对 1 kg 马铃薯的抑芽效果。挑选新鲜、大小均匀、表皮完整的马铃薯作为试验样品, 每组处理设 3 个重复, 每个重复试验约 10 kg。挑好后的试验样品放置于自制的带有内循环风扇的贮藏箱中, 在环境温度为 10~12 °C 的贮藏库内长期贮藏, 同时为防止药剂之间的相互影响, 将对照组 (CK) 和各

处理组分开放置。适时通风并观察薯芽萌动情况, 当薯芽开始萌动时, 参照课题组之前的方法对马铃薯进行抑芽熏蒸处理<sup>[8]</sup>, 并分别在处理后的 0、14、28、42、56、70 d 测定各组马铃薯的平均芽长。平均芽长每组处理随机取 30 个马铃薯块茎进行测定, 测定方法参照程建新等<sup>[9]</sup>的方法进行。

1.3.2 3-癸烯-2-酮对马铃薯的贮藏效果 试验共设 2 组, 分别为未经任何抑芽处理的对照组 (CK) 和筛选出的 3-癸烯-2-酮适宜剂量的处理组 (T), 每组设置 3 个重复。抑芽处理同 1.3.1 的方法。在抑芽处理后的 0、14、28、42、56、70 d 分别测定对照组和处理组马铃薯的失重率, 呼吸强度, 抗氧化酶超氧化物歧化酶 (Superoxide dismutase, SOD) 和过氧化氢酶 (Catalase, CAT) 的活性以及丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 的含量。

### 1.4 测定项目及方法

1.4.1 失重率的测定 每组处理用小网袋固定 10 个马铃薯, 称量贮藏前的重量为  $m_1$ , 贮藏各个时间节点的重量为  $m_2$ , 失重率按照以下公式计算。

$$\text{失重率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

1.4.2 呼吸强度的测定 参考刘亚平等<sup>[10]</sup>方法, 采用 CA-10 型呼吸代谢测量系统仪测定, 呼吸强度以  $\text{mg CO}_2/(\text{kg} \cdot \text{h})$  表示。

1.4.3 抗氧化酶 SOD 和 CAT 活性的测定 SOD 参照葛霞等<sup>[8]</sup>的方法、CAT 参照丁德东等<sup>[11]</sup>的方法进行测定, 并稍作修改。

1.4.4 MDA 含量的测定 采用硫代巴比妥酸法进行测定<sup>[12]</sup>。

### 1.5 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 2010 软件进行简单计算与作图, 用 SPSS Statistics 19.0 软件统计分析,  $P < 0.05$  为差异性显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 3-癸烯-2-酮最佳抑芽处理剂量的筛选

由 3-癸烯-2-酮不同剂量处理对马铃薯芽长的影响 (图 1) 可见, 随着贮藏时间的延长, 各处理马铃薯芽长数值呈上升趋势, CK 马铃薯芽长增长明显, 3-癸烯-2-酮处理随着处理剂量的增加, 芽长增长逐渐变缓, 其中 3-癸烯-2-酮处理剂量为 0.15、0.20、0.30 mL/kg 的处理在 0~56 d 马铃薯

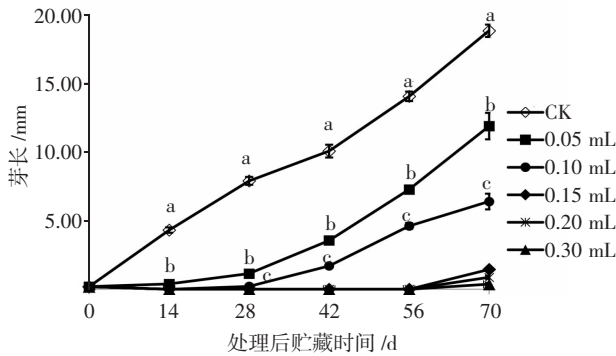


图1 贮藏期间3-癸烯-2-酮不同剂量处理下马铃薯的芽长

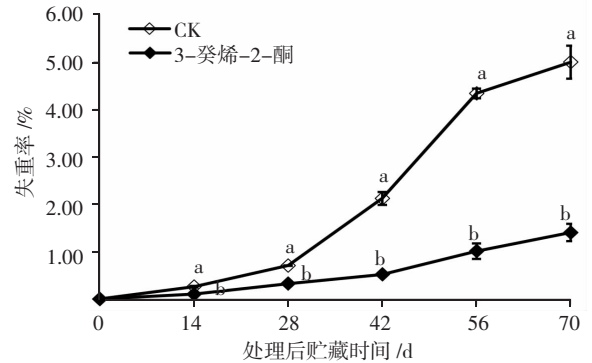


图3 3-癸烯-2-酮处理下马铃薯的失重率

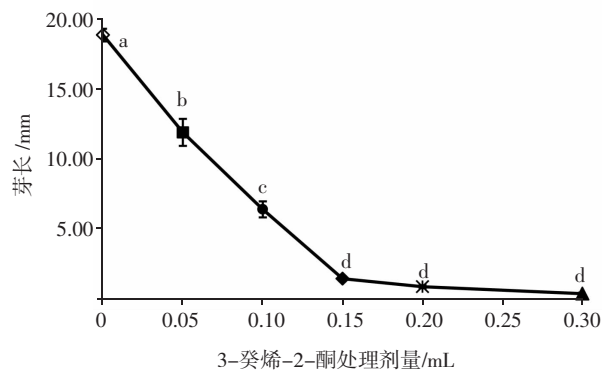


图2 贮藏70 d 3-癸烯-2-酮不同剂量处理下马铃薯的芽长

均未发芽,抑芽效果显著。处理后70 d(图2),随着药剂处理剂量增加,芽长数值呈降低并趋于平稳的趋势,CK、3-癸烯-2-酮剂量为0.05、0.10、0.15、0.20、0.30 mL/kg的芽长分别为18.82、11.87、6.39、1.44、0.87、0.37 mm,其中CK、0.05、0.10、0.15 mL/kg之间芽长达显著性差异( $P < 0.05$ ),0.15、0.20、0.30 mL/kg间马铃薯芽长差异不显著,均处于萌芽状态(芽长 $< 2$  mm)。且当剂量为0.15 mL/kg时,芽长随着处理剂量的增加基本不再显著降低,因此,可选择0.15 mL/kg作为3-癸烯-2-酮抑芽处理马铃薯的最佳剂量进行下一步贮藏效果研究。

### 2.2 3-癸烯-2-酮处理对马铃薯失重率的影响

从CK和3-癸烯-2-酮对马铃薯失重率的统计结果(图3)可以看出,整个贮藏期,贮藏时间相同时马铃薯失重率CK显著高于3-癸烯-2-酮处理( $P < 0.05$ )。贮藏70 d,CK和3-癸烯-2-酮处理马铃薯失重率分别为4.99%、1.40%,3-癸烯-2-酮处理比CK降低了3.59个百分点,说明3-癸烯-2-酮处理显著降低了马铃薯贮藏期间的失重率。

### 2.3 3-癸烯-2-酮处理对马铃薯呼吸强度的影响

由3-癸烯-2-酮处理对马铃薯呼吸强度的影响(图4)可以看出,随着贮藏时间的延长,马铃薯呼吸强度CK整体呈先上升后下降再上升再下降的趋势,3-癸烯-2-酮处理整体呈先下降后上升再下降再上升的趋势。处理初期马铃薯处于萌芽状态呼吸较为旺盛,CK因继续发芽呼吸强度也逐渐增加,贮藏后期呼吸强度随着马铃薯的衰老而降低;相比CK,3-癸烯-2-酮处理显著降低了马铃薯的呼吸强度,贮藏后期因马铃薯芽的萌发呼吸强度有所升高。贮藏70 d,CK和3-癸烯-2-酮处理马铃薯呼吸强度分别为7.25、4.51 mg CO<sub>2</sub>/(kg·h),3-癸烯-2-酮处理比CK显著降低了37.79% ( $P < 0.05$ )。表明3-癸烯-2-酮处理可明显降低马铃薯的呼吸损耗,提升马铃薯的保鲜效果。

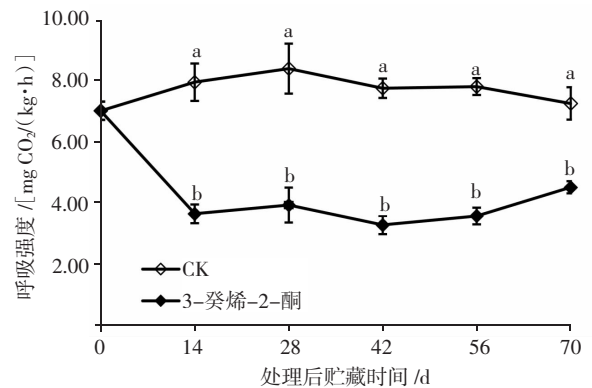


图4 3-癸烯-2-酮处理下马铃薯的呼吸强度

### 2.4 3-癸烯-2-酮处理对马铃薯抗氧化酶的影响

由图5可见,随着贮藏时间的延长,CK和3-癸烯-2-酮处理马铃薯SOD和CAT活性呈总体下降趋势,且3-癸烯-2-酮处理SOD和CAT活性均高于CK。贮藏70 d时,CK和3-癸烯-2-酮处理马铃薯SOD活性分别为150.40、164.21 U/g FW,



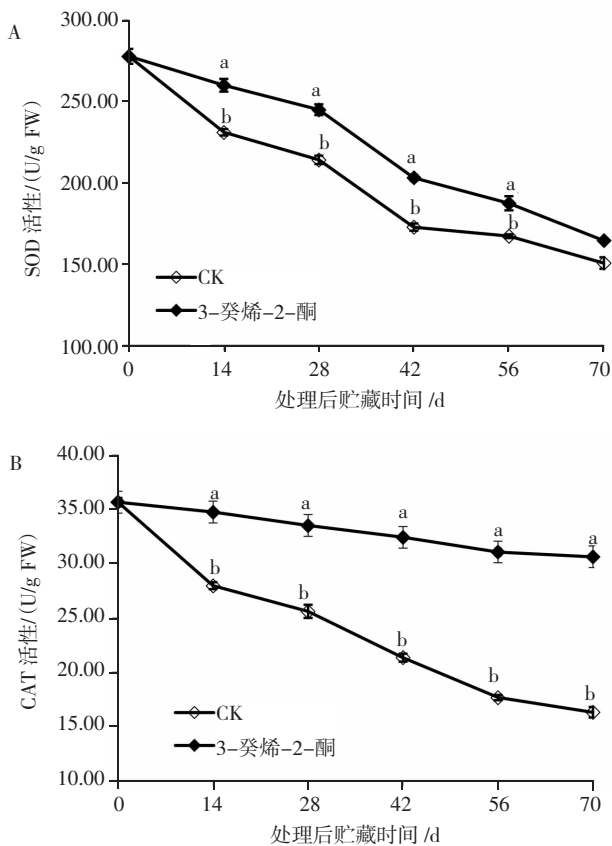


图5 3-癸烯-2-酮处理下马铃薯的SOD(A)和CAT(B)活性

3-癸烯-2-酮处理较CK提高了9.18%; CK和3-癸烯-2-酮处理马铃薯CAT活性分别为16.28、30.60 U/g FW, 3-癸烯-2-酮处理较CK显著提高了87.96% ( $P < 0.05$ )。表明, 3-癸烯-2-酮处理维持了马铃薯SOD和CAT较高的活性, 增强了马铃薯的抗氧化能力。

### 2.5 3-癸烯-2-酮处理对马铃薯MDA的影响

图6为3-癸烯-2-酮处理对马铃薯MDA的影响。MDA是膜质过氧化的终产物, 会影响线粒体呼吸链复合物及线粒体内关键酶活性, 并可加剧细胞膜损伤<sup>[13]</sup>。可以看出, 贮藏期间CK和3-

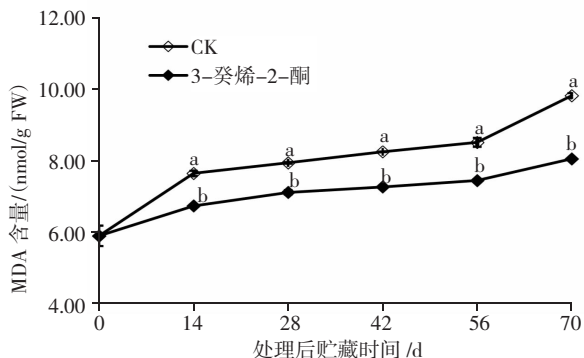


图6 3-癸烯-2-酮处理下马铃薯的MDA含量

癸烯-2-酮处理马铃薯MDA含量总体呈现上升趋势, 且3-癸烯-2-酮处理马铃薯MDA含量均显著低于CK ( $P < 0.05$ ); 贮藏70 d, CK和3-癸烯-2-酮处理MDA含量分别为9.80、8.03 nmol/g, 相比CK, 3-癸烯-2-酮处理MDA含量显著降低了18.06% ( $P < 0.05$ ), 表明3-癸烯-2-酮处理延缓了马铃薯的膜质过氧化程度。

### 3 讨论与结论

随着我国马铃薯产业遵循和践行以优质、安全和生态友好为核心的绿色高质量发展的要求, 探索低毒、低残留、使用安全的抑芽剂以实现马铃薯的安全贮藏非常必要。Immaraju等<sup>[14]</sup>认为植物源3-癸烯-2-酮有潜力成为一种绿色安全的抑芽剂。本研究发现, 经过3-癸烯-2-酮处理后马铃薯芽的生长受到了抑制, 且抑芽效果因3-癸烯-2-酮剂量不同而有所差异。综合抑芽效果和应用成本, 0.15 mL/kg的剂量显示出适宜的抑芽效果。马铃薯在贮藏过程中进行着各种代谢活动, 其呼吸强度与品质变化密切相关, 呼吸强度越快, 代谢活动越旺盛, 营养物质含量的消耗也越快<sup>[15]</sup>。经过3-癸烯-2-酮处理降低了马铃薯的呼吸强度, 保持了较好的贮藏品质。马铃薯芽萌发时会释放大量活性氧, 活性氧代谢失衡后过量的活性氧不仅会进一步加速芽的萌发, 也会对细胞和组织造成损害, 抗氧化酶能够清除过量的活性氧, 从而保护植物细胞免受损伤<sup>[16]</sup>。3-癸烯-2-酮处理显著提高了马铃薯的抗氧化酶SOD和CAT的活性, 清除过量活性氧, 减缓了发芽并保持了马铃薯的贮藏保鲜效果。MDA的生成与植物体受到逆境伤害或衰老有关, 其含量在一定程度上可以反映植物体受损程度<sup>[17]</sup>。经过3-癸烯-2-酮处理后, 贮藏过程中的马铃薯膜脂细胞受损程度得到缓解, 一定程度上保持了其正常的代谢状态。

综上所述, 3-癸烯-2-酮处理马铃薯适宜剂量为0.15 mL/kg, 能够显著抑制芽的生长、降低马铃薯的失重率和呼吸强度, 显著提高抗氧化酶SOD和CAT活性, 抑制丙二醛累积, 延缓了膜脂过氧化程度, 从而提升了马铃薯的贮藏保鲜效果, 为其进一步应用于马铃薯安全贮藏提供了理论依据。

### 参考文献:

[1] 朱杰, 温海霞, 方治国, 等. 不同马铃薯品种产量

- 及营养品质分析与评价[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(12): 33-37; 68.
- [2] 田甲春, 田世龙, 李守强, 等. 旱区不同马铃薯品种的品质评价与分析[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(4): 313-318.
- [3] 梁宏杰, 吕和平, 张文伟, 等. 陇东旱塬区复种马铃薯田蛴螬及金针虫防治药剂筛选试验[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(10): 922-926.
- [4] 武亚帅, 韩宣, 邹优扬, 等. 有效去除马铃薯中龙葵素方法的探究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(5): 1514-1519.
- [5] 邹雪, 丁凡, 余韩开宗, 等. 植物源抑芽物质对延长甘薯贮藏期的作用效果[J]. 核农学报, 2019, 33(3): 530-537.
- [6] 王友生, 李效文, 陈克刚, 等. 定西旱作区富锌马铃薯引种试验[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(4): 55-57.
- [7] 张耘梦, 刘鑫, 孟庆昌, 等. 3-癸烯-2-酮对生姜采后抑芽作用的研究[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(6): 20-24.
- [8] 葛霞, 徐瑞, 李梅, 等. 香芹酮对马铃薯种薯发芽的调控机制[J]. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4929-4939.
- [9] 程建新, 葛霞, 田世龙, 等. 香芹酮结合吨袋内循环施药模式对马铃薯贮藏效果及油炸薯片色泽的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(6): 164-171.
- [10] 刘亚平, 林文艳, 狄建兵, 等. 1-甲基环丙烯对根用芥菜贮藏品质及抗氧化性的影响[J]. 核农学报, 2023, 37(10): 2001-2008.
- [11] 丁德东, 赵吉桃, 何静, 等. 马铃薯糖苷生物碱对腐皮镰刀菌呼吸作用及其活性氧代谢的影响[J]. 微生物学通报, 2023, 50(7): 2937-2949.
- [12] 段永红, 姚燕辉, 李晋田, 等. 不同贮藏时期马铃薯类胡萝卜素含量及抗氧化活性的变化[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(5): 429-437.
- [13] 巩慧玲, 林红霞, 任小丽, 等. StvacINV1 负调控马铃薯的耐旱性[J]. 作物学报, 2023, 49(11): 3007-3016.
- [14] IMMARAJU J A. Development of smart block<sup>®</sup> as a global replacement for chlorpropham (CIPC)[C]. AM-VAC Chemical Corporation: Newport Beach, CA, USA, 2020.
- [15] 代羽可欣, 郑鄢燕, 韦雪, 等. 热处理联合不同包装对鲜切马铃薯贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(13): 166-174.
- [16] 李金洋, 龚殊, 杨丹宁, 等. 油樟精油对马铃薯发芽的影响[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(4): 341-349.
- [17] 赵双. 外源乙烯对马铃薯发芽的抑制作用及其机理研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014.