

模拟不同量级连阴雨对冬枣裂果的影响研究

任妙春¹, 秦俊灵¹, 牟凤军¹, 魏瑞江², 宋博³, 魏秀梅^{1*}, 李琛¹, 曹明⁴

(1. 沧州市气象局, 河北 沧州 061000; 2. 河北省气象科学研究所, 石家庄 050021; 3. 任丘市气象局, 河北 任丘 062550; 4. 沧县国家枣树良种基地, 河北 沧县 061000)

摘要: 为初步建立冬枣裂果农业气象灾害指标, 满足农业气象灾害预警需求, 选取脆熟期冬枣为试材, 通过模拟连阴雨天气的温、湿、日照环境, 研究不同量级连阴雨对冬枣裂果的影响。结果表明, 裂果率与降雨量、降雨时长均呈正相关, 与降雨量相关系数达0.833。时长为24 h的降雨, 无论雨量大小, 均无裂果出现。裂果初始时间与降雨时长极显著相关, 降雨30~34 h即可出现裂果; 小时雨强越大, 裂果率增长越快, 小时雨强越小, 停止裂果时间越长。由此, 持续30 h以上降雨即可对生长发育良好的冬枣造成不同程度的裂果影响。

关键词: 连阴雨; 冬枣; 裂果率; 小时雨强; 降雨量; 降雨时长

中图分类号: S665.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)02-0070-05

Study on the Impact of Continuous Rainfall with Different Magnitudes on Fruit Cracking of Winter Jujube

REN Miaochun¹, QIN Junling¹, MU Fengjun¹, WEI Ruijiang², SONG Bo³, WEI Xiumei^{1*}, LI Chen¹, CAO Ming⁴
(1. Cangzhou Meteorological Observatory, Cangzhou 061000; 2. Hebei Institute of Meteorological Sciences, Shijiazhuang 050021; 3. Renqiu Meteorological Bureau, Renqiu 062550; 4. Cangxian National Jujube Seed Base, Cangxian 061000, China)

Abstract: To establish the agricultural meteorological disaster indicators for winter jujube fruit cracking and meet the requirements for agricultural meteorological disaster warning, winter jujube at the crisp-ripe stage was selected as the experimental material. Equipment such as rainproof fabric, racks, and air coolers were used to simulate the temperature, humidity, and sunshine conditions of continuous rainy weather, while micron-level nozzles were employed to simulate different rainfall intensities. The effects of continuous rainfall with different magnitudes on fruit cracking in winter jujube were investigated. The results showed that the fruit cracking rate was positively correlated with both rainfall amount and rainfall duration, with a correlation coefficient exceeding 0.833 with rainfall amount, indicating a strong correlation. No fruit cracking occurred under rainfall lasting 24 hours, regardless of rainfall intensity. The initial time of fruit cracking was closely related to rainfall duration, with cracking occurring after 30 to 34 hours of rainfall. The greater the hourly rainfall intensity, the faster the fruit cracking rate increased; conversely, the lower the hourly rainfall intensity, the longer the time until cracking ceases. Thus, continuous rainfall lasting more than 30 hours can cause varying degrees of cracking in well-grown winter jujube fruits.

Key words: Continuous rainfall; Winter jujube; Fruit cracking rate; Hourly rainfall intensity; Rainfall amount; Rainfall duration

冬枣(*Ziziphus jujuba*)别名冻枣、雁过红, 是我国特有的优质晚熟鲜食枣品种, 皮薄肉脆、品质

优良^[1], 主产于冀鲁交界渤海湾地区, 为河北东部、山东等地的主栽品种^[2]。冬枣成熟期对连阴雨高度敏感, 易引发裂果^[3]、落果, 近年来华北、华中产区该时段连阴雨发生频率与降雨强度上升, 造成严重的经济损失, 因此开展冬枣裂果相关研究对保障产量与品质意义重大。

国内外学者已就连阴雨对农作物的影响开展

收稿日期: 2025-09-29

基金项目: 河北省气象局科研开发项目(21ky23)

作者简介: 任妙春(1986-), 女, 满族, 工程师, 主要从事农业气象预报预警研究。

通信作者: 魏秀梅, E-mail: 1981796659@qq.com

了多项研究:刘瑞娜等^[4]建立油菜花期灾害损失评估指标;代立芹等^[5]分析其对棉花产量的影响;张翠英等^[6]探讨鲁西南连阴雨变化特征对农事的影响;范雨娴等^[7]构建湖南油菜涝渍灾变等级与评估模型;杨晓娟等^[8]研究陕西葡萄连阴雨时空变化及对产量的影响;张颖等^[9]指出北方枣区果实成熟期连阴雨呈增加趋势。

在冬枣裂果研究中,发现脆熟期降雨量、持续时间和裂果程度正相关,单纯灌溉不致裂果^[10];裂果与果皮厚度、梗洼结构、果肉空腔及果皮细胞凋亡相关^[11-13];避雨栽培可提质^[14];裂果量与最高气温、气温日较差呈负相关^[15]。前人多聚焦离体试验、解剖结构及栽培模式^[16-18],不同量级连阴雨对冬枣裂果动态影响的系统研究尚未见报道。冬枣着色成熟后,果柄维管束在梗洼处与果实内部中断^[19],树木水分输送减弱或停止。此时果皮与果肉、果肉不同部位间存在水势梯度,形成“外界-果皮-果肉”渗透系统,果实表面积水后,水分快速渗入导致果肉细胞膨胀,膨压超果皮耐受极限即裂果^[20-21]。为精确控制试验条件,根据上述结论,本研究采用离体果实模拟处理试验。通过模拟不同量级降雨,监测冬枣初始裂果时间、裂果速率及抢收窗口期,明确不同雨量连阴雨的影响程度,初步建立冬枣连阴雨农业气象灾害指标,为防灾减灾提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试冬枣

供试冬枣采自河北省沧州市黄骅市滕庄子镇孔店村河间场冬枣园。试验地为缺乏灌溉条件的盐碱土,树龄5~15年,株行距3 m×2 m。选取长势一致、无病虫害的结果盛期植株。2023年9月15日—10月13日(脆熟期)采摘树冠外围成熟果实,采收前糖度21.4%~24.5%。带叶及完整枣吊采摘,用内置湿纱布的泡沫保鲜箱保湿,2 h内运回实验室。每25个果实为1组,共8组样本。

1.2 气象背景数据

利用黄骅市地面气象观测站1982—2021年9—10月上旬(冬枣成熟期)的气象数据,连阴雨单日降雨量0.1~107.4 mm,20~40 mm占比最高,107.4 mm仅2 d。

1.3 试验仪器

降雨模拟:MIUSB800喷淋系统(80 W,微米级喷头,120 mL/min喷水量);时序控制:T19循环定时器(50 Hz);温湿度监测:精创RC-4HC记录仪(温

度精度±0.01 °C,湿度精度±1%,采样10 min/次);品质测定:PAL-1测糖仪(0~53%量程,精度±0.2%)。

1.4 试验装置与系统构建

试验在15 m²人工气候试验室(5 m×3 m×2.8 m)内完成,4组模块为:承载模块:不锈钢多层置物架(1.2 m×0.8 m×1.5 m),二层铺带导流孔塑料挡板(5 mm孔径,20 mm间距),下层设2个24 L集水槽,外侧裹0.3 mm防水布,底部置100 L储水槽回收水;光照调控:高密度遮荫棚(遮光率≥98%,铝合金框架),控制日照≤2 h/d;降水模拟:遮荫棚顶对称安装2个喷头,配T19定时器调控喷淋时长与间隔,构建雨量梯度;温湿度调控:通过空调+冰晶降温(4~6 °C),结合喷淋、储水槽保湿及封闭环境,稳定温度17~23 °C、湿度70%~92%,RC-4HC记录仪实时监测。

1.5 试验设计与调控方案

基于当地枣果生育进程、降雨量分布及果面积水需求,设4种喷淋处理,2次重复,每组25个样本。 P_1 :不间断喷淋24 h,对应日降雨量112 mm; P_2 :5 min/2 h间歇喷淋,日降雨量36 mm; P_3 :4 min/2 h间歇喷淋,日降雨量28.8 mm; P_4 :3 min/3 h间歇喷淋,日降雨量14.4 mm。

1.6 试验记录与观测

环境因子:提取温湿度记录仪数据,统计实时温湿度及累计降雨量。果实性状:记录裂果数量及程度,确保数据可追溯。

1.7 项目测定

裂果率: $K = K_L / K_w \times 100\%$ (K :裂果率, K_L :总裂果数, K_w :总观测样本数)。

1.8 数据分析

利用Excel 2016软件进行图表绘制,SPSS Statistics 29.0软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 单日降雨对成熟期冬枣裂果量的影响

为明确短期强降雨不致引发裂果的具体时长,本研究设置 P_1 处理,模拟小时雨强4.67 mm/h、总降雨量112 mm的降雨过程,持续降雨24 h,雨量设计超气候统计日降雨量极值。试验观测结果显示,该处理条件下供试冬枣果实未发生裂果,裂果率为0,该结果与沧州东部黄骅冬枣产区农户实地调研结论基本一致。

结合产区气候统计特征与枣园立地条件进一步分析,沧州东部冬枣核心产区9月至10月上旬为冬枣成熟关键期。2003年以来,9月下旬至10

月上旬降雨发生频率与强度均呈上升趋势,且表现为单日降雨与连续性阴雨并存的格局。产区地处渤海西岸,枣园灌溉保障能力较弱。在此背景下,前期持续干旱易使冬枣植株及果实处于水分亏缺、萎蔫等胁迫状态,而单日降雨可快速补充土壤墒情,显著缓解干旱胁迫对冬枣生长发育的不利影响。

2.2 不同处理对成熟期冬枣裂果率的影响

P_2 处理模拟小时雨强 1.5 mm/h、单日降雨量 36 mm 的连阴雨过程。由图 1 可知,初始裂果时间为开始喷水后 30 h,裂果率为 2%,此时累积降雨量 45 mm,随后裂果率开始迅速上升,在 96 h(累积降雨量 144 mm)裂果率达到 90%,且在此期间裂果停止时间很短,基本无抢收时机。96 h 后,裂果

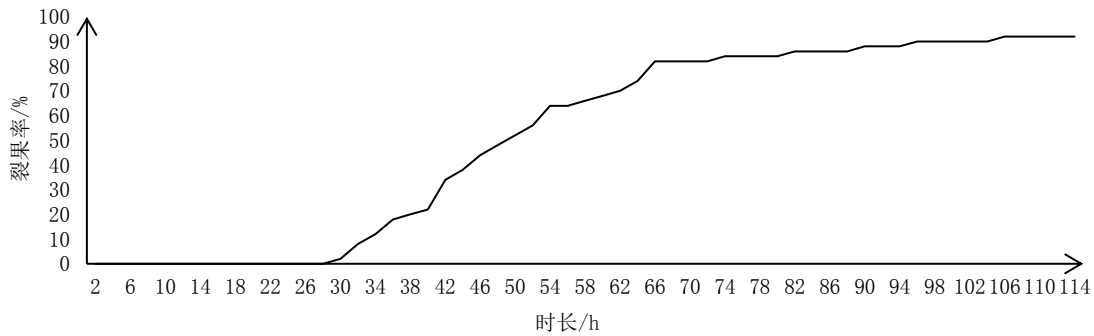


图 1 P_2 处理裂果率

Fig.1 Fruit cracking rate in P_2 treatment

率呈缓慢上升趋势,试验最长持续至 114 h,裂果率接近 100%。

P_3 处理模拟小时雨强 1.2 mm/h、单日降雨量 28.8 mm 的连阴雨过程。由图 2 可知,初始裂果时间为开始喷水后 34 h(降雨量 40.8 mm),裂果率为 12%;40 h(降雨量 48 mm)裂果率为 18%,随后裂果率迅速上升;56 h(降雨量 67.2 mm)裂果率达 28%,此时裂果率停止;至 86 h(降雨量 103.2 mm),裂果

率达 36%,裂果率再次停止不动;直至 124 h(降雨量 148.8 mm),裂果率达 44%,降雨量已超历史极值(146.5 mm),试验结束。通过 P_2 、 P_3 两组试验发现,小幅下调小时雨强后,裂果出现时间略有后移,裂果率上升速度明显降低,在历史极值雨量范围内,小时雨强 1.2 mm/h 处理最终裂果数量明显少于 1.5 mm/h 处理,进一步说明了小时雨强越大,裂果率越大。

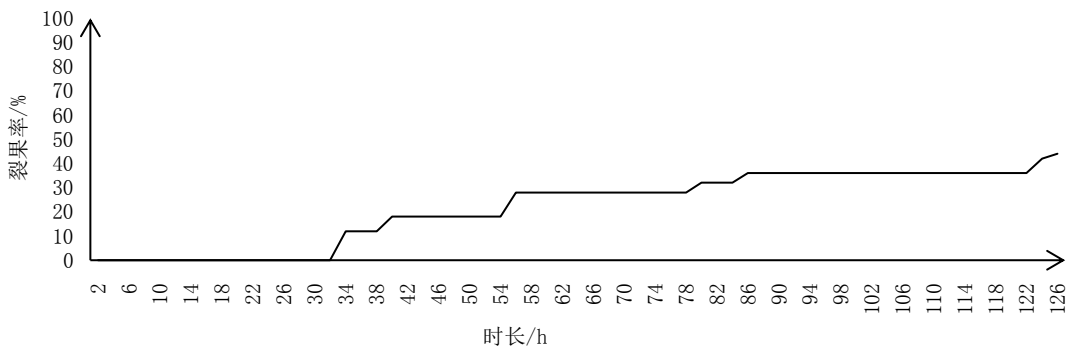
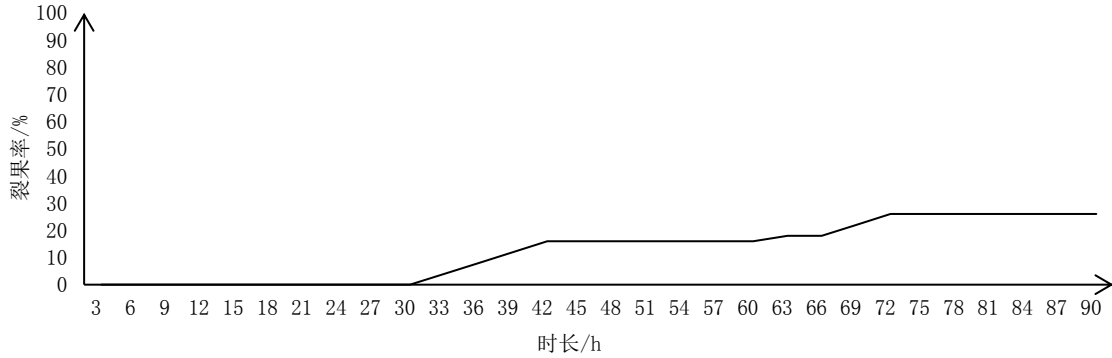


图 2 P_3 处理裂果率

Fig. 2 Fruit cracking rate in P_3 treatment

P_4 处理模拟小时雨强 0.6 mm/h、单日降雨量为 14.4 mm 的连阴雨过程,并将试验目的调整为进一步确定裂果初始时间及冬枣抢收时间。由图 3 可知,裂果初始时间为 33 h(降雨量 19.8 mm),裂果率 4%,裂果初始时间较 P_2 、 P_3 处理略有变化,但该时刻累积降雨量较 P_2 处理和 P_3 处理偏少约 50%,说明裂果初始时间与降雨时长关系更为密切;72 h(降雨量 43.2 mm)裂果率达 28%,随后裂果

停止,持续至 90 h(降雨量 54.0 mm),有长达 18 h 的裂果空窗期,试验结束。 P_4 处理降雨量和降雨时长更接近历史上致中度以上裂果灾害的连阴雨过程,从试验中发现,继续下调小时雨强后裂果初始时间变化不大,裂果率较 1.5、1.2 mm/h 处理大幅降低,且裂果数停止时间较 P_2 、 P_3 处理明显延长,裂果空窗期加长。

图3 P₄处理裂果率Fig.3 Fruit cracking rate in P₄ treatment

2.3 相关性分析

基于P₂、P₃、P₄处理数据进行Pearson相关性分析,解析冬枣裂果率及裂果初始时间与降雨量、降雨时长的定量关系(表1)。结果表明,降雨量和降雨时长均与裂果率呈正相关,其中降雨量与裂果率的相关性达显著水平($r=0.833, P<0.05$),表明在降雨时长一致的情况下,裂果率随降雨量增加而上升,降雨量是脆熟期冬枣裂果发生程度的核心驱动因子。裂果初始时间与降雨时长呈极显著正相关($r=0.941, P<0.01$),而与降雨量无显著相关关系($r=0.019, P>0.05$),揭示冬枣裂果初始发生时间主要取决于降雨持续时长,该结论与P₂、P₃、P₄处理间裂果出现时间相近的试验观测结果相互印证。

表1 裂果的发生与降雨时长、降雨量的相关性分析
Table 1 Correlation analysis of fruit cracking rate with rainfall duration and rainfall amount

相关系数 Correlation coefficient	降雨时长 Rainfall duration	降雨量 Rainfall amount
裂果率	0.485	0.833*
裂果初始时间	0.941**	0.019

注:“*”表示经 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验差异显著,“**”表示经 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验差异极显著。

Note: * indicates significant difference $\alpha=0.05$ level; ** indicates highly significant difference at $\alpha=0.01$ level.

3 讨论与结论

近年来,冬枣成熟期连阴雨发生频率与强度攀升,严重影响果实品质与产量,导致“丰产不丰收”。本研究结果表明,降雨时长、降雨量是影响冬枣裂果的关键气象因子。于继洲等^[10]研究发现,裂果程度与雨水滞留果面时间密切相关:短时大雨因果面快速干燥不易引发严重裂果,而长

时间小雨或雨后果面阴湿凝露则易致重度裂果,这与本研究4个处理24 h内降雨无论量级均不直接引发裂果结论相一致,裂果初始时间与降雨时长相关性强于降雨量,降雨量与裂果率相关性更显著。

小时雨强越大,裂果速度越快;小时雨强越小,停止裂果时间越长。日降雨量大的连阴雨几乎无抢收窗口期,建议提前采收入库;日降雨量较小的连阴雨,初期裂果停止阶段为最佳抢收时机,应趁雨停全力采收。

沧东地区为盐碱地,地下水超采严重,冬枣多露天种植,多数无遮雨棚和灌溉条件。据产区气候统计分析,近30年来9月降水偏少的年份占比高达54%,且平均气温整体呈偏高趋势。高温少雨的气候条件易导致冬枣出现水分亏缺、生长受抑等问题;在果实成熟期,适量降雨可有效补充土壤墒情、改善果实内在品质,但若遭遇持续时间长、雨量大的连阴雨过程,则极易引发冬枣裂果等重度灾害,严重影响果实产量与商品品质。

目前7 d以内的连阴雨天气预报准确率较高,建议枣农提前防御:架设遮雨棚、枣果套袋、喷施钙剂增厚果皮,或提前摘枣入库,最大限度降低损失^[22]。

参考文献:

- [1] 曲泽州,王永蕙.中国果树志·枣卷[M].北京:中国林业出版社,1991:229.
- [2] 崔一琛,蒲一洋,刘恒萱,等.关于沾化冬枣全产业链高质量发展的探析[J].东北农业科学,2025,50(1):99-106.
CUI Y C, PU Y Y, LIU H X, et al. Analysis on the high quality development of Zhanhua winter jujube whole industry chain[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2025, 50(1): 99-106. (in Chinese)
- [3] 黑淑梅,郝志前,李婷,等.枣果成熟期水分动态变化与裂果发生的相关性研究[J].北方园艺,2015(22):34-36.
HEI S M, HAO Z Q, LI T, et al. The relationship between water

- dynamic changes and fruit cracking in the mature stage of jujube fruit[J]. Northern Horticulture, 2015(22): 34-36. (in Chinese)
- [4] 刘瑞娜,杨大明,陈鹏,等.安徽省油菜花期连阴雨灾害损失评估指标[J].中国农业气象,2016,37(4):471-478.
LIU R N, YANG T M, CHEN P, et al. Evaluation index of continuous rain to rape during anthesis in Anhui Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2016, 37(4): 471-478. (in Chinese)
- [5] 代立芹,王猛,李春强,等.河北省棉花连阴雨灾害定量化评估指标与风险分析[J].气象与环境学报,2019,35(5):108-114.
DAI L Q, WANG M, LI C Q, et al. Quantitative evaluation index and risk analysis of continuous rainfall disaster during the growing stage of cotton in Hebei Province[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2019, 35(5): 108-114. (in Chinese)
- [6] 张翠英,樊景豪,冯雪.鲁西南连阴雨发生规律及对秋收秋种的影响[J].中国农业资源与区划,2016,37(4):142-146.
ZHANG C Y, FAN J H, FENG X. Law of continuous precipitation occurrence and its influence on autumn harvesting and planting in southwestern Shandong Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37(4): 142-146. (in Chinese)
- [7] 范雨娴,霍治国,尚莹.湖南油菜春季涝渍灾变等级指标与灾损评估[J].中国农业资源与区划,2019,40(9):37-47.
FAN Y X, HUO Z G, SHANG Y. Catastrophe classification indicator and yield loss analysis of oilseed rape vernal waterlogging in Hunan Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(9): 37-47. (in Chinese)
- [8] 杨晓娟,刘园,白薇,等.1961—2018年陕西葡萄连阴雨时空特征及对产量的影响[J].生态学杂志,2022,41(7):1398-1405.
YANG X J, LIU Y, BAI W, et al. Spatio-temporal characteristics of continuous rain and its impact on grape yield in Shaanxi Province over 1961-2018[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(7):1398-1405. (in Chinese)
- [9] 张颖,樊鑫,樊保国.北方枣区果实成熟期连阴雨致灾因子的时空变化特征[J].干旱区资源与环境,2023,37(3):106-112.
ZHANG Y, FAN X, FAN B G. Spatio-temporal variation characteristics of disaster causing weather of continuous rain at fruit maturation period in northern jujube production areas[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(3):106-112. (in Chinese)
- [10] 于继洲,马丽萍,张秀梅,等.枣树裂果机理研究[J].山西农业科学,2002,30(1):76-79.
YU J Z, MA L P, ZHANG X M, et al. Mechanisms of fruit cracking in Jujube[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2002, 30(1): 76-79. (in Chinese)
- [11] 辛艳伟,集贤,刘和.裂果性不同的枣品种果皮及果肉发育特点观察研究[J].中国农学通报,2006,22(11):253-257.
XIN Y W, JI X, LIU H. Observation and studies on peel and pulp growing characters of different crack in jujube fruit varieties[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11): 253-257. (in Chinese)
- [12] 杜巍,李新岗,王长柱,等.枣裂果机制研究[J].果树学报,2012,29(3):374-381.
DU W, LI X G, WANG C Z, et al. Mechanism of fruit cracking in Zizyphus jujube[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(3): 374-381. (in Chinese)
- [13] 杨芯芳.水分处理对枣裂果及品质的影响[D].阿拉尔市:塔里木大学,2021.
- [14] 纪晴,包昌艳,周军,等.避雨栽培对冬枣果实品质的影响[J].经济林研究,2018,36(4):64-72.
JI Q, BAO C Y, ZHOU J, et al. Effects of rain shelter cultivation on fruit quality of Zizyphus jujube Mill. cv. Dongzao[J]. Non-wood Forest Research, 2018, 36(4): 64-72. (in Chinese)
- [15] 孙爱良,何璇,董航宇,等.连阴雨灾害对冬枣成熟期不同阶段裂果量的影响[J].贵州农业科学,2020,48(5):116-120.
SUN A L, HE X, DONG H Y, et al. Effects of continuous rainy disaster on quantity of cracked winter jujube at different phase of maturity stages[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2020, 48(5):116-120. (in Chinese)
- [16] 张晓萍,赵旗峰,李六林,等.'板枣'果皮特性与裂果关系探索[J].中国果树,2021,(12):64-68.
ZHANG X P, ZHAO Q F, LIU L L, et al. Exploring the Relationship between Pericarp Characteristics and Cracking in 'Ban' Jujube[J]. China Fruits, 2021(12): 64-68. (in Chinese)
- [17] 宗晓鸿.连阴雨对沾化冬枣的不利影响及应对措施[J].落叶果树,2019,51(3):63-64.
ZONG X H. The adverse effects of continuous rain on Zhanhua winter jujube and countermeasures[J]. Deciduous Fruits, 2019, 51(3): 63-64. (in Chinese)
- [18] 张佳林.河北省枣生产现状及发展对策研究[D].保定:河北农业大学,2018.
- [19] 王保明,丁改秀,王小原,等.枣果实裂果的组织结构及水势变化的原因[J].中国农业科学,2013,46(21):4558-4568.
WANG B M, DING G X, WANG X Y, et al. Changes of histological structure and water potential of huping jujube fruit cracking[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(21): 4558-4568. (in Chinese)
- [20] 丁改秀,王保明,仓国营,等.'凯特'杏成熟期果面遇积水是裂果的主要诱因[J].果树学报,2016,33(9):1103-1110.
DING G X, WANG B M, CANG G Y, et al. The stagnant rain water on the fruit surface causes fruit cracking during maturation in apricot[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(9): 1103-1110. (in Chinese)
- [21] 郝燕燕,赵丽琴,张鹏飞,等.枣离体果实水分吸收与质外体运输的研究[J].园艺学报,2013,40(3):433-440.
HAO Y Y, ZHAO L Q, ZHANG P F, et al. Studies on water uptake and apoplastic transport in detached Chinese jujube fruits [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(3): 433-440. (in Chinese)
- [22] 崔素倩.黄骅冬枣后期管理措施及注意事项[J].基层农技推广,2025,13(1):110-112.
CUI S Q. Late-stage management measures and precautions for Huanghua winter jujube[J]. Primary Agricultural Technology Extension, 2025, 13(1): 110-112. (in Chinese)

(责任编辑:范杰英)