



枣果实采后侵染性病害及其化学防治研究进展

刘摇¹, 张鸿雁¹, 雷兴梦¹, 邓丽莉^{1,2}, 姚世响^{1,2}, 曾凯芳^{1,2,*}

¹西南大学食品科学学院, 重庆400715

²西南大学食品贮藏与物流研究中心, 重庆400715

*通信作者(zengkaifang@163.com)

摘要: 在贮运过程中, 由病原微生物引起的侵染性病害是导致鲜食枣商品价值下降的重要原因。枣果实采后侵染性病害主要包括黑斑病、软腐病、青霉病、曲霉病、浆胞病等。然而, 目前研究者们对枣果实采后侵染性病害症状描述不一, 部分病害尚未明确界定其类型。因此, 本文对枣果实采后常见侵染性病害进行系统归类介绍。此外, 近年来研究者们针对枣侵染性病害开发的新型、安全、高效的绿色化学物质, 按照作用机理分为两大类: 化学杀菌剂和化学诱抗剂。本文分别对这两类物质在枣果实中的应用效果及作用机理展开详细讲述, 以期对鲜食枣采后贮运过程中有效控制侵染性病害提供理论参考。

关键词: 枣; 侵染性病害; 发病症状; 病原菌; 化学防治

Research progress on postharvest infection and chemical control of jujube

LIU Yao¹, ZHANG Hongyan¹, LEI Xingmeng¹, DENG Lili^{1,2}, YAO Shixiang^{1,2}, ZENG Kaifang^{1,2,*}

¹College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

²Research Center of Food Storage & Logistics, Southwest University, Chongqing 400715, China

*Corresponding author (zengkaifang@163.com)

Abstract: In the process of storage and transportation, the infectious diseases caused by pathogenic microorganisms are an important reason for the decline of the commodity value of fresh edible jujube. Post-harvest infectious diseases of jujube fruits mainly include black spot, soft rot, blue mould, *Aspergillus* disease, softening and decay disease, etc. However, at present, researchers have different descriptions on the symptoms of postharvest infectious diseases of jujube fruits, and some diseases have not been clearly defined. Therefore, the common postharvest infectious diseases of jujube fruits were systematically classified and introduced in this review. In addition, the new, safe and efficient chemicals studied by researchers in recent years are divided into two categories according to their mechanism of action, namely chemical fungicides and chemical inducers. The application effect and mechanism of these two kinds of substances in jujube fruits were described in detail. It was expected to provide theoretical reference for effective control of infectious diseases during transport and storage of fresh edible jujube after harvest.

Key words: jujube; infectious disease; disease symptom; pathogen; chemical control

收稿 2021-09-06 修定 2021-11-26

资助 国家重点研发计划(2019YFD1002300)和重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2019jscx-dxwtBX0027)。

枣(*Zizyphus jujuba*)属于鼠李科植物(Rhamnaceae) (Rashwan等2020), 广泛分布于东亚(中国、韩国)、南亚(印度、巴基斯坦)、西亚(伊朗)和北非国家。此外, 欧洲东南部(如西班牙和意大利)、美国西南部、澳大利亚和俄罗斯也有种植。其中, 我国是世界上最大的红枣生产商和唯一的红枣出口国, 产量占世界红枣产量总额的90%以上(Zhang等2021b)。至2020年底, 国内鲜食枣3个主产区陕西大荔、山西临猗和山东沾化的‘冬枣’种植面积、产量和产值累计超过100万亩、110万吨和105亿元(宋民斗2021; 王秋萍2021; 吴艳芳等2021)。同时, 安徽、湖北、河北、河南及云南等鲜食枣产区正在不断扩大(符东南等2017)。新鲜枣果实因其水分含量高、皮薄质脆、营养丰富, 市场需求不断增加, 具有广阔的商业前景(Zhao等2021)。但是枣果实贮运过程中因贮藏环境的气体成分比例或温度不当导致失水软化, 及采收或运输过程中因人为操作和包装不当等出现机械损伤, 容易引起果实发生一系列病害。这往往导致鲜食枣供货期和保质期非常有限。

枣果实采后侵染性病害是指由病原微生物侵染引起的病害, 病原菌主要在果实采摘前潜伏于枣果实, 而枣果实在采收或贮运过程中由于机械损伤及自身衰老过程的加剧, 导致果实代谢失衡, 自身防御机制能力急剧减弱, 致使病原微生物易于生长或侵染(孙建城等2018)。主要包括由真菌或细菌侵染引起的黑斑病(高伟和李秀莲2016)、软腐病(雷春军等2014)、曲霉病、青霉病(沙娜瓦尔·色买提等2016b)及浆胞病(孙蕾等2010)等。通常单一病原菌即可导致枣果实侵染性病害, 同时, 其他病原微生物联合侵染会加剧果实采后侵染性病害的发生。

由真菌侵染引起的‘灵武长枣’果实腐烂可占采后损失的30%~40% (任苗苗等2020)。同时, 色泽是评价枣果实品质的一项重要指标, 侵染性病害(尤其是黑斑病)对枣果皮颜色有直接影响。枣果实发病后果皮亮度和色泽饱和度显著降低, 颜色偏暗红色(许瑛2017)。因此, 新鲜枣果实在采后贮藏过程中的侵染性病害是导致枣果实品质劣变和枣产业经济损失的一类重要病害。近年来, 学者们正在密切关注枣果实采后侵染性病害, 并不断尝试开

发出新型病害防治方法, 以替代传统化学杀菌剂。根据化学物质对枣果实及致病菌的作用特点主要分为两大类: 一类是传统化学杀菌剂, 对病原菌有直接杀伤力, 如抑霉唑、噻苯咪唑、异菌酮(Yuan等2019b)等; 一类是化学诱抗剂, 通过诱导果实抗病性有效抵抗部分病原微生物(Percival和Graham 2021; 任艳芳等2021), 主要包括氨基酸(常璐璐等2021)、植物生长调节剂(Dong等2016)、二氧化氯新型消毒剂(Park等2020)及纳他霉素新型防腐剂(Gong等2019)等。因此, 本文针对前人的研究成果, 对枣果实采后侵染性病害的致病菌种类、发病症状及近年来研究枣果实采后侵染性病害开发的化学防治剂进行了归类总结, 并重点对近年来出现的天然、安全的新型绿色化学防治剂展开阐述, 为研究枣果实采后侵染性病害的防治手段提供参考。

1 枣果实采后侵染性病害病原菌种类及发病症状

1.1 黑斑病

1.1.1 病原菌种类

通过对不同产区、不同品种枣果实采后黑斑病病原菌分离鉴定及对枣果实黑斑病病害的防治研究, 普遍认定链格孢属(*Alternaria* spp.)是引起枣果实采后黑斑病的主要致病菌(Guo等2020; 刘晓勤和张锐利2020)。高伟和李秀莲(2016)观察从山东、山西、河北和天津‘冬枣’主栽区采摘的枣果实, 对其进行分离鉴定发现引发枣果实黑斑病的病原菌有4种, 其中链格孢菌(*Alternaria alternata*)是主要致病菌, 其他3种病原菌包括多隔镰孢霉(*Fusarium decemcellulare*)、扩展青霉(*Penicillium expansum*)和美澳型核果褐腐病菌(*Monilinia fructicola*)在后期混合侵染导致枣果实黑斑病病害加重。刘晓勤和张锐利(2020)对南疆的喀什、和田、阿克苏等3个地区患病‘骏枣’黑斑部位进行病原菌鉴定, 结果显示, 链格孢属是其相对丰度最高的菌属, 其中主要病原菌是链格孢菌。王家哲等(2021)通过致病性实验确定细极链格孢(*Alternaria tenuissima*)是引起‘冬枣’黑斑病的主要致病菌。

1.1.2 发病症状

病原微生物经伤口侵染枣果实, 在发病早期,

枣果实表面出现淡红或淡黄色水渍状小病斑(图1-A), 随着病害程度加剧, 扩大成圆形或不规则形的黑褐色病斑(图1-B); 在发病后期, 果实表面皱缩, 病部皮下组织坏死稍凹陷, 呈半圆形软木状组织深入果肉(王家哲等2021), 果肉颜色由乳红色转至黑褐色。在环境湿润下病斑表层出现黑色霉状物(Nikkhah和Hashemi 2020), 导致枣果实软腐或溃烂。

1.2 霉烂病

1.2.1 病原菌种类

枣果实在贮运过程中容易受到根霉属(*Rhizopus* spp.)、曲霉属(*Aspergillus* spp.)、青霉属(*Penicillium* spp.)等病原菌侵染, 分别引起枣果实软腐病、曲霉病、青霉病等贮藏期病害, 导致果实霉烂, 统称霉烂病(沙娜瓦尔·色买提等2016a)。

新鲜‘骏枣’贮藏期软腐病病原菌为葡枝根霉(*Rhizopus stolonifer*) (雷春军等2014)。但由于枣果实品种及地区的差异, 导致果实发生病害的主要致病菌种属有所不同。如刘艳祥(2016)证实红枣软腐病的主要致病菌为米根霉(*Rhizopus oryzae*); 而葡萄座腔菌(*Botryosphaeria dothidea*)为河南新郑地区‘灰枣’果实软腐病主要致病菌(Ran等2018)。

‘骏枣’‘灰枣’‘哈密大枣’曲霉病主要致病菌为曲霉属, 其中黑曲霉(*Aspergillus niger*)的分离频率最高, 致病性最强(沙娜瓦尔·色买提等2016a)。而‘骏枣’‘灰枣’‘哈密大枣’中青霉病的主要病原菌为青霉属, 主要有波兰青霉(*P. polonicum*)、变幻青霉



图1 枣果实黑斑病病害症状
Fig. 1 Symptoms of black spot disease of jujube
A: 发病初期; B: 发病后期。

(*P. variable*)、产黄青霉(*P. chrysogenum*)、朱黄青霉(*P. minioluteum*)、短密青霉(*P. brevicompactum*) 5种, 其中波兰青霉为优势种, 变幻青霉致病力最强(沙娜瓦尔·色买提等2016b)。
‘灵武长枣’青霉病是由桔青霉(*P. citrinum*)引起(Xing等2011)。而‘冬枣’青霉病的主要病原菌为扩展青霉(He等2019)。

1.2.2 发病症状

软腐病(图2-A)、青霉病(图2-B)、曲霉病(图2-C)等霉烂病枣果实共同点是组织变软、果肉呈土黄色(刘艳祥2016)或褐色(沙娜瓦尔·色买提等2016b), 皮下组织腐烂并散发酒糟味或霉酸味。病害严重时, 病原菌会降解组织, 直至组织消失。病斑表面会产生一些霉状物, 但其颜色会因病原菌有所差异, 如青霉菌侵染果实表面出现灰绿色霉层, 而曲霉菌侵染呈现灰白色、黑色、绿色。

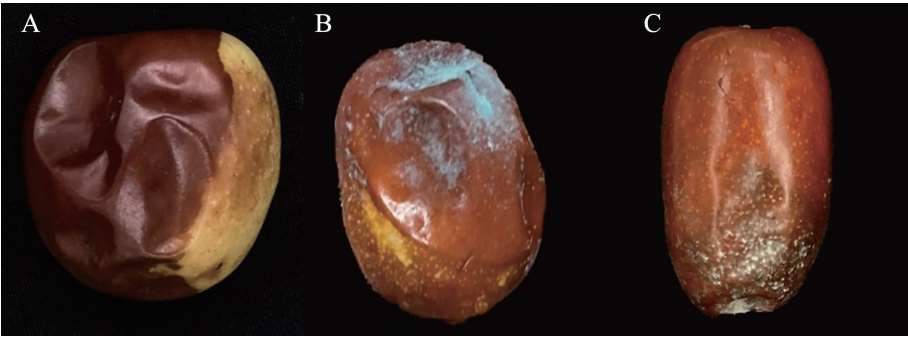


图2 枣果实霉烂病病害症状
Fig. 2 Symptoms of softening and decay disease of jujube
A: 软腐病; B: 青霉病; C: 曲霉病。

1.3 浆胞病

1.3.1 病原菌种类

目前,对枣浆胞病致病菌的分离鉴定结果报道不一。研究者们对不同地区‘冬枣’浆胞病病原菌分离鉴定及致病性探究实验发现,构巢裸胞壳(*Emericella nidulans*) (赵淑艳等2005)、菜豆壳球孢菌(*Macrophomina phaseolina*) (徐作珽等2007)、根菌索菌属(*Rhizomorpha* spp.)及枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*) (孙蕾等2010)均可引起枣果实浆胞病的发生。

1.3.2 发病症状

如图3所示,发病初期,枣果实表面出现淡或深红色和茶褐色斑点;后期颜色加深,病部表皮形状呈圆形、卵形或不规则形,用手触压出现凹陷而不能弹起。发病严重时,病斑连片而导致全果病烂,病部果肉与果皮易分离,果肉呈稀浆状,颜色为淡黄褐色,散发酒糟味(胡晓艳2011)。浆胞病发病症状与软腐病发病病症表型相似,均表现为果实软烂。因此,在未来的研究中,研究者们可以进一步观察研究,明确二者病害症状的异同点。

1.4 其他

除了以上几种病害,还有其他品种的枣果实在采后贮运过程中易受微生物侵染引起果实腐烂,但研究者们对其病害症状未具体描述,如灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)引起的枣果实灰霉病(Kwon等2021; Fu等2019; Li等2019)。同时对果实病害类

型也未具体分类命名,只对致病菌进行了分离鉴定,如灰葡萄孢菌、米根霉、出芽短梗霉(*Aureobasidium pullulans*)、球派伦霉(*Peyronellaea glomerata*)、微抱毛霉(*Mucor microsporus*)、粉红聚端孢(*Trichoderma roseum*)等均能引起‘灵武长枣’采后腐烂病害(任苗苗等2020; 甘瑾等2007)。郭东起等(2015)从采后贮藏过程中腐烂的‘圆脆枣’上分离得到多种病原微生物,发现黑曲霉TL-10 (*A. niger* TL-10)对‘圆脆枣’的侵染性较强,回接实验观察到枣果实病斑呈黑褐色圆形或近圆形,其症状与黑斑病相似。

迄今为止,枣果实采后确切的侵染性病害包括:由链格孢属为主要致病菌引起的黑斑病,由根霉属为主要致病菌引起的软腐病,由曲霉属为主要致病菌引起的曲霉病,由青霉属为主要致病菌引起的青霉病及构巢裸胞壳、菜豆壳球孢菌、根菌索菌属及枯草芽孢杆菌等不同单一病原菌引起的浆胞病。同时,由灰葡萄孢菌为主要病原菌引起的灰霉病也逐渐成为枣产业中的一类重要病害,逐渐吸引了研究者的关注(表1) (Li等2019)。但研究者对该病害的症状未展开详细阐述,未来有必要对枣果实灰霉病和其他病害的症状及防治方法进行进一步研究。

2 枣果实采后侵染性病害化学防治技术

2.1 化学杀菌剂

2.1.1 化学杀菌剂在枣果实上的应用效果

传统的化学杀菌剂,如多菌灵、噻苯咪唑、异菌酮、代森锰锌等,因易残留于果实、对人体健康及环境有危害等问题而引起消费者担忧(梁攀等2020; 于春蕾等2018)。因此,一些新型化学杀菌剂逐渐受到研究者的关注,这些化学杀菌剂在枣果实采后侵染性病害控制研究中效果明显(表2),具有高效、广谱杀菌活性、残留量很低或无残留等优点,有望成为国内外研究开发的新型绿色化学病害防治剂。

2.1.2 化学杀菌剂杀菌机理

化学杀菌剂主要通过抑制或杀死病原菌,进而控制枣果实采后侵染性病害。但目前对化学杀菌剂抗菌机理的深入研究较少,多是集中在以下几

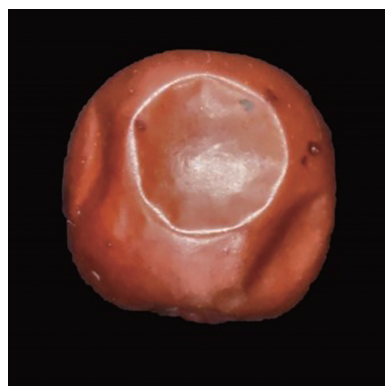


图3 枣浆胞病症状

Fig. 3 Symptoms of softening and decay disease of jujube

表1 枣果实主要病害类型病原菌和发现发生地域

Table 1 Main diseases, pathogens and regions of discovery of jujube fruit

病害类型	枣品种	病原菌	发现发生地域
黑斑病	‘骏枣’	链格孢菌	新疆
	‘冬枣’	链格孢菌、多隔镰孢霉、扩展青霉、 美澳型核果褐腐病菌、细极链格孢	山东、山西、河北、 天津、陕西
软腐病	‘骏枣’	葡枝根霉	新疆
	红枣	米根霉	新疆
	‘灰枣’	葡萄座腔菌	河南
青霉病	‘骏枣’ ‘灰枣’ ‘哈密大枣’	波兰青霉、变幻青霉、产黄青霉、 朱黄青霉、短密青霉	新疆
	‘灵武长枣’	桔青霉	宁夏
曲霉病	‘冬枣’	扩展青霉	北京
	‘骏枣’ ‘灰枣’ ‘哈密大枣’	黑曲霉	新疆
浆胞病	‘冬枣’	构巢裸胞壳、菜豆壳球孢菌、根菌 索菌属、枯草芽孢杆菌	天津、山东
		灰葡萄孢菌	北京、山东、韩国
灰霉病	‘冬枣’ ‘无刺枣’	出芽短梗霉、米根霉、球派伦霉、 微抱毛霉、粉红聚端孢	宁夏、银川
其他	‘灵武长枣’		
	‘圆脆枣’	黑曲霉TL-10	新疆

表2 化学杀菌剂对枣果实的应用效果

Table 2 Application effect of chemical fungicides on jujube fruit

化学杀菌剂	应用浓度	病原菌	应用效果	参考文献
二氧化氯	150 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	灰葡萄孢菌	病斑直径降低了63.2%	Fu等2019
对香豆酸甲酯	800 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	链格孢菌	病斑直径降低了23.7%	Li等2018a
对香豆酸乙酯	800 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	链格孢菌	病斑直径降低了31.3%	Li等2018b
磷酸三钠	15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	美澳型核果褐腐病菌	发病率降低了100%	Cai等2015
纳他霉素	200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	扩展青霉	发病率降低了100%	He等2019
ϵ -聚赖氨酸	4 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	灰葡萄孢菌	发病率降低了100%	Li等2019
		链格孢菌	病斑直径降低了53.4%	Shu等2021

个方面: (1)孢子萌发和菌丝生长; (2)细胞膜完整性; (3)细胞内活性氧的积累; (4)降低病原菌致病相关基因的表达。

二氧化氯(chlorine dioxide, ClO_2)可以破坏灰葡萄孢菌细胞膜, 导致胞内物质泄漏, 从而引起菌丝形态发生改变, 抑制灰葡萄孢菌生长(Fu等2019)。Li等(2019)研究结果显示, ϵ -聚赖氨酸(epsilon-polylysine, ϵ -PL)除对灰葡萄孢菌孢子、菌丝等的抑菌机理与 ClO_2 一致外, 同时, ϵ -PL还能够刺激灰葡萄孢菌细胞内活性氧的积累, 降低灰葡萄孢菌致病相关基因的表达。Shu等(2021)研究结果显示, ϵ -PL

诱导了链格孢菌胞内活性氧的形成和积累, 引起了严重的脂质过氧化, 导致膜损伤, 病原菌的膜完整性遭到破坏, 生长被抑制。研究对香豆酸甲酯(Li等2018a)、磷酸三钠(Cai等2015)、纳他霉素(natamycin, He等2019)等化学杀菌剂分别对链格孢菌、美澳型核果褐腐病菌和扩展青霉的抑菌机制发现, 这三类化学杀菌剂均是通过破坏病原菌质膜完整性, 导致细胞内物质如可溶性蛋白质、碳水化合物和核酸的释放, 使病原菌的孢子和菌丝体发生畸变、皱缩和裂解, 从而控制病原菌引起的枣果实采后侵染性病害。

2.2 化学诱抗剂

化学诱抗剂是一类诱导果实对病原微生物产生局部或系统获得性抗性(systemic acquired resistance, SAR)的天然或化学合成物质(Percival和Graham 2021; Peng等2020), 它能有效控制果实采后病害, 降低腐烂率, 并维持果实的品质(表3)。这是采后病害控制中一种安全、有效的防治措施, 也已逐渐成为近年来枣果实采后侵染性病害防治研究的热点和发展趋势。

2.2.2 化学诱抗剂作用机理

据上述化学诱抗剂防治枣果实侵染性病害的应用效果显示, 化学诱抗剂处理可以有效控制鲜枣果实采后侵染性病害, 但其不只是单一地依靠枣果实某一方面, 而是会激活多种抗性途径。主要包括: (1)苯丙烷代谢途径被激活, 导致植物防御相关物质积累(酚类物质、类黄酮、木质素等); (2)维持活性氧代谢平衡; (3)提高病程相关蛋白活性(几丁质酶和β-1,3-葡聚糖酶等); (4)产生信号分子等。这些途径相互作用, 从生理生化、分子水平方面产生枣果实的抗病应答。

水杨酸(Yuan等2019a)、茉莉酸甲酯(王蕊2014)激活了枣果实苯丙类代谢途径, 提高酚类等抗菌物质含量, 从而增强枣果实抗病性。1-甲基环丙烯(陈莲等2020)、一氧化碳(carbon monoxide, CO)(Zhang等2020)、精氨酸(常璐璐等2021)主要通过提高病程相关蛋白活性及激活苯丙烷代谢途径,

二者共同作用增强贮藏期间枣果实的抗病能力。β-氨基丁酸提高了防御相关酶活性, 增加部分抗氧化酶活性及物质含量, 从而改变抗氧化代谢, 引发病抗性(Yan等2015)。对香豆酸及酯类衍生物可以通过调控编码一些抗氧化酶活性的基因表达及其抗氧化酶活性, 增强苯丙烷代谢途径, 激活编码病程相关蛋白的基因表达等途径诱导枣果实对采后黑斑病的防御反应(Yuan等2019b)。CO可以分别通过一氧化氮、环鸟苷酸单磷酸盐、过氧化氢等信号分子调节‘冬枣’果实的苯丙烷代谢和活性氧代谢, 提高了病程相关蛋白活性和抗氧化能力, 进而提高了采后‘冬枣’的抗病性(郭毅晶2019; 康琳2019; 王琼2019)。

2.3 其他

据文献报道, 大部分化学物质可以按照对枣果实及枣致病菌的作用特点主要分为两大类, 但有少部分物质(表4)既具有化学杀菌剂的作用, 同时也有化学诱抗剂的作用, 这种物质在枣果实贮藏过程中能同时发挥两种作用, 共同抵御病原微生物的侵染, 控制果实病害, 减少枣果实在贮藏过程中的腐烂率, 降低经济损失。

3 问题与展望

目前, 枣果实在采后贮运中常见侵染性病害主要有黑斑病、软腐病、曲霉病、青霉病、浆胞病和灰霉病等。研究者们对枣采后黑斑病病害的

表3 化学诱抗剂对枣果实的应用效果
Table 3 Application effect of chemical inducers on jujube fruit

化学诱抗剂	处理方法	病害类型	应用效果	参考文献
水杨酸	2.5 mol·L ⁻¹ 损伤接种	黑斑病	病斑直径降低了20.1%	Yuan等2019a
茉莉酸甲酯	0.01 mmol·L ⁻¹ 熏蒸24 h, 20℃贮藏	—	发病率降低了54.8%	王蕊2014
1-甲基环丙烯	1.8 μL·L ⁻¹ 熏蒸12 h, 15℃下贮藏	—	腐烂指数降低了49.3%	陈莲等2020
β-氨基丁酸	1.0 g·L ⁻¹ 浸渍20 min, 0℃贮藏	黑斑病	病斑直径降低了33.1%	Yan等2015
对香豆酸及酯类衍生物	100 mg·L ⁻¹ 真空浸渍15 s+浸泡20 min, 0℃贮藏	黑斑病	发病率降低了23.6%、30.2%	Yuan等2019b
精氨酸	200 μmol·L ⁻¹ 浸泡10 min, 室温贮藏	黑斑病	病斑直径降低了66.8%	常璐璐等2021
一氧化碳	10 μmol·L ⁻¹ CO熏蒸2 h	黑斑病	病斑直径降低了约54% 病斑直径降低了约54% 腐烂率降低了约65% 病斑直径降低了29.3%	Zhang等2020 王琼2019 郭毅晶2019 康琳2019

表4 兼具抗菌作用和诱导抗病性的化学物质
Table 4 Chemicals with both antifungal effect and induced resistance

化学物质	抗菌作用	诱导抗病性
对香豆酸甲酯	抑制链格孢菌菌丝生长、孢子萌发(Li等2018a)	调控编码抗氧化酶活性基因的表达及抗氧化酶活性, 增强苯丙烷代谢途径, 激活编码致病相关蛋白的基因表达(Yuan等2019b)
ϵ -多聚赖氨酸	抑制灰葡萄孢菌菌丝生长、孢子萌发和芽管伸长(Li等2019)	诱导枣果实中呼吸爆发氧化酶同源物基因的表达(Li等2019)
壳聚糖-硅酸钠	抑制链格孢菌孢子萌发和质膜完整性, 导致细胞内物质释放(Zhang等2021a)	增强苯丙烷代谢途径和活性氧代谢及提高抗病相关蛋白酶活性(Guo等2019)

研究较多,对浆胞病、软腐病、曲霉病、青霉病和灰霉病等采后侵染性病害研究开展较少,但这类病害依然制约着枣果实产业的发展,且对这类病害及致病病原菌的报道不一。在枣果实采后侵染性病害的防治研究中,化学防治依然是一类重要的病害防治技术。但在化学防治剂的筛选方面,相较于化学杀菌剂,化学诱抗剂是今后枣果实采后病害防治的一大研究趋势。且关于化学防治剂对枣果实采后侵染性病害的作用机理的研究还不够深入,探究机理的内容及手段较单一。

因此,未来还需要从以下几个方面进一步开展大量研究:(1)枣产地、品种、环境等各种因素会导致枣果实病害症状、致病菌等有所差异,因此未来还需要对不同地区、不同品种枣果实开展大量研究工作,进一步规范统一枣果实采后侵染性病害及致病病原菌的分类鉴定。只有先对枣果实侵染性病害进行清晰的归类命名,才能便于后期开展病害防治研究。(2)诱导枣果实抗性机制是一个复杂的网络。因此需要将多个抗性相关途径结合在一起分析,并积极运用多组学联合分析技术,如转录组学、蛋白质组学和代谢组学等新技术与传统的采后生物技术研究方法相结合,去寻找新的作用靶点,从而全面系统地阐述枣果实病害控制机制,以期枣果实采后侵染性病害提供新的方向。

参考文献(References)

Cai JH, Chen J, Lu GB, et al (2015). Control of brown rot on jujube and peach fruits by trisodium phosphate. *Postharvest Biol Tec*, 99: 93–98

Chang LL, Zhang LL, Yu YW, et al (2021). Effect of arginine treatment on disease resistance to *Alternaria* rot of post-harvest winter jujube. *Sci Technol Food Ind*, 42: 321–326 (in Chinese with English abstract) [常璐璐, 张乐乐, 于有伟等(2021). 精氨酸处理对采后冬枣黑斑病的抗病作用. *食品工业科技*, 42: 321–326]

Chen L, Wang LL, Lin HT, et al (2020). Inhibitory effects of 1-methylcyclopropene on postharvest disease of Indian jujube fruit during storage. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 20: 196–204 (in Chinese with English abstract) [陈莲, 王璐璐, 林河通等(2020). 1-甲基环丙烯处理对台湾青枣果实采后病害的抑制. *中国食品学报*, 20: 196–204]

Dong Y, Zhi HH, Xu J, et al (2016). Effect of methyl jasmonate on reactive oxygen species, antioxidant systems, and microstructure of Chinese winter jujube at two major ripening stages during shelf life. *J Hortic Sci Biotechnol*, 91: 316–323

Fu DN, Zhang JM, Ouyang H, et al (2017). Research progress of cultivation of fresh dates. *Contemp Hortic*, (3): 11–14 (in Chinese) [符东南, 章建明, 欧阳辉等(2017). 鲜食枣的栽培研究进展. *现代园艺*, (3): 11–14]

Fu M, Zhang X, Jin T, et al (2019). Inhibitory of grey mold on green pepper and winter jujube by chlorine dioxide (ClO₂) fumigation and its mechanisms. *LWT-Food Sci Technol*, 100: 335–340

Gan J, Tang WL, Pan L, et al (2007). Isolation of pathogenic fungi of post-harvest Lingwuchangzao and screen of antibiosis material. *J North A&F Univ (Nat Sci Ed)*, 35: 81–86 (in Chinese with English abstract) [甘瑾, 唐文林, 潘禄等(2007). 灵武长枣采后病原菌的分离及天然抗菌物质的筛选. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 35: 81–86]

Gao W, Li XL (2016). Isolation and identification of pathogens of postharvest black spot of winter jujube. *Agric Dev Equip*, (4): 80–81 (in Chinese) [高伟, 李秀莲(2016). 冬枣采后黑斑病病原菌的分离与鉴定. *农业开发与装备*, (4): 80–81]

- Gong L, Zhao ZY, Yin CX, et al (2019). Synergistic interaction of natamycin with carboxymethyl chitosan for controlling *Alternaria alternata*, a cause of black spot rot in postharvest jujube fruit. *Postharvest Biol Tec*, 156: 110919
- Guo DQ, Chen HX, Song YT, et al (2015). Study on biology of Yuancui jujube after harvest infected by *Aspergillus niger* TL-10 and its control. *China Plant Prot*, 35: 5–9 (in Chinese with English abstract) [郭东起, 陈荷霞, 宋愉亭等(2015). 黑曲霉TL-10侵染采后圆脆枣生物学研究. *中国植保导刊*, 35: 5–9]
- Guo HL, Qiao BX, Ji XS, et al (2020). Antifungal activity and possible mechanisms of submicron chitosan dispersions against *Alternaria alternata*. *Postharvest Biol Tec*, 161: 110883
- Guo YJ (2019). Study of CO regulated disease resistance through cGMP in postharvest jujube fruits (dissertation). Linfen, Shanxi: Shanxi Normal University (in Chinese with English abstract) [郭毅晶(2019). CO通过cGMP信号调控采后冬枣抗病性的研究(学位论文). 山西临汾: 山西师范大学]
- Guo YJ, Zhou JX, Zhang JR, et al (2019). Chitosan combined with sodium silicate treatment induces resistance against rot caused by *Alternaria alternata* in postharvest jujube fruit. *J Phytopathol*, 167: 451–460
- He C, Zhang ZQ, Li BQ, et al (2019). Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*—postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. *Postharvest Biol Tec*, 151: 134–141
- Hu XY (2011). Study on biological control of softening and decay disease of winter jujube from Shanghai and preservation technology during storage period (dissertation). Shanghai: Shanghai Normal University (in Chinese with English abstract) [胡晓艳(2011). 沪产冬枣浆胞病的生物防治及贮藏期保鲜技术的研究(学位论文). 上海: 上海师范大学]
- Kang L (2019). Study on CO regulating disease resistance of postharvest winter jujube by NO signal (dissertation). Linfen, Shanxi: Shanxi Normal University (in Chinese with English abstract) [康琳(2019). CO通过NO信号调控采后冬枣抗病性的研究(学位论文). 山西临汾: 山西师范大学]
- Kwon JH, Won SJ, Moon JH, et al (2021). *Bacillus licheniformis* PR2 controls fungal diseases and increases production of jujube fruit under field conditions. *Sci Hortic*, 7: 49
- Lei CJ, Huang XL, Liu ZX, et al (2014). Identification of pathogens causing rot in the storage period of jujube in Aksu area. *Xinjiang Agric Sci Tech*, (4): 16–17 (in Chinese) [雷春军, 黄晓玲, 刘正兴等(2014). 阿克苏地区骏枣储藏期致病病原菌种类鉴定. *新疆农业科技*, (4): 16–17]
- Li H, He C, Li GJ, et al (2019). The modes of action of epsilon-polylysine (ϵ -PL) against *Botrytis cinerea* in jujube fruit. *Postharvest Biol Tec*, 147: 1–9
- Li WS, Yuan SZ, Li QQ, et al (2018a). Methyl *p*-coumarate inhibits black spot rot on jujube fruit through membrane damage and oxidative stress against *Alternaria alternata*. *Postharvest Biol Tec*, 145: 230–238
- Li WS, Yuan SZ, Sun J, et al (2018b). Ethyl *p*-coumarate exerts antifungal activity *in vitro* and *in vivo* against fruit *Alternaria alternata* via membrane-targeted mechanism. *Int J Food Microbiol*, 278: 26–35
- Liang P, Li YY, Huang SY, et al (2020). Research progress of postharvest storage and preservation technology of citrus fruits. *Pack Eng*, 42: 57–66 (in Chinese with English abstract) [梁攀, 李悦妍, 黄少云等(2020). 柑橘类水果贮藏保鲜技术研究进展. *包装工程*, 42: 57–66]
- Liu XQ, Zhang RL (2020). Isolation and identification of pathogen of jujube black spot based on highthroughput sequencing technology. *Jiangsu Agric Sci*, 48: 108–112 (in Chinese with English abstract) [刘晓勤, 张锐利(2020). 基于高通量测序技术的红枣黑斑病病原菌分离与鉴定. *江苏农业科学*, 48: 108–112]
- Liu YX (2016). Research between pathogens identification and key control techniques of two jujube fruit fungal diseases in Xinjiang (dissertation). Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [刘艳祥(2016). 新疆红枣果实两种真菌病害病原鉴定及关键防治技术研究(学位论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Nikkhah M, Hashemi M (2020). Boosting antifungal effect of essential oils using combination approach as an efficient strategy to control postharvest spoilage and preserving the jujube fruit quality. *Postharvest Biol Tec*, 164: 111159
- Park H, Kim CW, Han N, et al (2020). Gaseous chlorine dioxide treatment suppresses decay and microbial growth in cold-stored jujube fruit. *Hortic Sci Technol*, 38: 860–869
- Peng Q, Wang ZW, Liu PF, et al (2020). Oxathiapiprolin, a novel chemical inducer activates the plant disease resistance. *Int J Mol Sci*, 21: 1223
- Percival GC, Graham S (2021). The potential of resistance inducers and synthetic fungicide combinations for management of foliar diseases of nursery stock. *Crop Prot*, 145: 105636
- Ran LX, Zhang M, Shen HM (2018). First report of red rot of jujube fruit caused by *Botryosphaeria dothidea* in China. *Plant Dis*, 102: 1458–1459
- Rashwan AK, Karim N, Shishir MRI, et al (2020). Jujube fruit: a potential nutritious fruit for the development of functional food products. *J Funct Foods*, 75: 104205

- Ren MM, Yan SY, Li JH, et al (2020). Isolation and identification of postharvest pathogenic fungi from 'Lingwuchangzao' jujube in Ningxia. *China Fruits*, (5): 93–97 (in Chinese with English abstract) [任苗苗, 闫思远, 李嘉泓等(2020). 宁夏‘灵武长枣’采后病原真菌的分离与鉴定. *中国果树*, (5): 93–97]
- Ren YF, Song YP, Xiao GY, et al (2021). Nitric oxide mediates salicylic acid-induced defense responses in mango fruit against anthracnose disease. *Plant Physiol J*, 57: 632–642 (in Chinese with English abstract) [任艳芳, 宋雅萍, 肖桂云等(2021). 一氧化氮介导水杨酸诱导的采后芒果果实炭疽病抗性反应. *植物生理学报*, 57: 632–642]
- Shanawaer SMT, Yushanjiang MMT, Guo QY, et al (2016a). Identification of the pathogen causing jujube fruit mildew (Part I)-isolation and identification of *Aspergillus* fungus causing jujube fruit mildew. *Xinjiang Agric Sci*, 53: 502–509 (in Chinese) [沙娜瓦尔·色买提, 玉江山·买买提, 郭庆元等(2016a). 枣果霉烂病原鉴定(一)——引起新疆枣果霉烂病的几种曲霉菌的分离鉴定. *新疆农业科学*, 53: 502–509]
- Shanawaer SMT, Yushanjiang MMT, Guo QY, et al (2016b). Identification of the pathogen causing jujube fruit mildew (Part II)-isolation and identification of *Penicillium* fungus causing jujube fruit mildew. *Xinjiang Agric Sci*, 53: 698–705 (in Chinese) [沙娜瓦尔·色买提, 玉江山·买买提, 郭庆元等(2016b). 枣果霉烂病原鉴定(二)——引起新疆枣果霉烂病的几种青霉菌的分离鉴定. *新疆农业科学*, 53: 698–705]
- Shu C, Cui KB, Li QQ, et al (2021). Epsilon-poly-L-lysine (ϵ -PL) exhibits multifaceted antifungal mechanisms of action that control postharvest *Alternaria* rot. *Int J Food Microbiol*, 348: 109224
- Song MD (2021). Present situation and development suggestion of facility cultivation industry of 'Dali' winter jujube. *Northern Fruits*, (5): 52–55 (in Chinese) [宋民斗(2021). 大荔冬枣设施栽培产业现状和发展建议. *北方果树*, (5): 52–55]
- Sun JC, Wang YK, Long CA (2018). Effects of light on the development of postharvest pathogenic fungi and regulatory mechanism of pathogenicity. *Plant Physiol J*, 54: 1384–1390 (in Chinese with English abstract) [孙建城, 王玉坤, 龙超安(2018). 环境光因子对采后病原真菌发育的影响及对致病力的调控机制. *植物生理学报*, 54: 1384–1390]
- Sun L, Wang TM, Bao XM, et al (2010). The isolation and identification of pathogenic microorganism of softening and decay disease in *Zizyphus jujuba*. *J Shandong For Sci Tech*, 40: 14–19 (in Chinese with English abstract) [孙蕾, 王太明, 鲍晓明等(2010). 冬枣浆胞病原微生物的分离与鉴定. *山东林业科技*, 40: 14–19]
- Wang JZ, Fu B, Ren BW, et al (2021). Isolation and identification of pathogens and symptom comparison of black spot disease and anthracnose of Shaanxi Dongzao jujube. *North Hortic*, (15): 46–50 (in Chinese with English abstract) [王家哲, 付博, 任博文等(2021). 陕西冬枣黑斑病和炭疽病原菌的分离鉴定及特征比较. *北方园艺*, (15): 46–50]
- Wang Q (2019). Study on the induction of disease resistance of postharvest winter jujube by CO combined with DPI treatment (dissertation). Linfen, Shanxi: Shanxi Normal University (in Chinese with English abstract) [王琼(2019). CO结合DPI处理对采后冬枣诱导抗病性的研究(学位论文). 山西临汾: 山西师范大学]
- Wang QP (2021). Shanxi: Linyi held the third fresh jujube cultural festival. *China Fruit News*, 38: 50 (in Chinese) [王秋萍(2021). 山西: 临猗举办第三届鲜枣文化节. *中国果业信息*, 38: 50]
- Wang R (2014). Methyl jasmonate (MeJA) under the conditions of treatment on the cold impact resistance lizao. *Acad Period Farm Prod Process*, (22): 13–16 (in Chinese with English abstract) [王蕊(2014). 茉莉酸甲酯处理对冷藏条件下梨枣抗病性的影响. *农产品加工(学刊)*, (22): 13–16]
- Wu YF, Wang XJ, Guo SH (2021). Survey on the development status of 'Zhanhua' jujube industry and development suggestions. *Bull Agric Sci Tech*, (3): 14–17 (in Chinese) [吴艳芳, 王新军, 郭树河(2021). 沾化冬枣产业发展现状调查及发展建议. *农业科技通讯*, (3): 14–17]
- Xing Y, Xu QL, Che ZM, et al (2011). Effects of chitosan-oil coating on blue mold disease and quality attributes of jujube fruits. *Food Funct*, 2: 466–474
- Xu Y (2017). Investigation to occurrence dynamics of 4 main species pest of jujube orchards in Alaer city and the influence of jujube black rot on quality of jujube fruits (dissertation). Shihezi, Xinjiang: Shihezi University (in Chinese with English abstract) [许瑛(2017). 阿拉尔市枣园4种病虫害发生动态及黑斑病对果实品质的影响(学位论文). 新疆石河子: 石河子大学]
- Xu ZT, Li CS, Li L, et al (2007). Etiology of thick liquid disease fruit of *Zizyphus jujuba* Mill. 'Zhanhua Dongzao' and its control. *Acta Hortic Sin*, 34: 1379–1386 (in Chinese with English abstract) [徐作珽, 李长松, 李林等(2007). 冬枣浆胞病原菌鉴定及其防治研究. *园艺学报*, 34: 1379–1386]
- Yan JQ, Yuan SZ, Wang CY, et al (2015). Enhanced resistance of jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) fruit against postharvest *Alternaria* rot by β -aminobutyric acid dipping. *Sci Hortic*, 186: 108–114
- Yu CL, Meng LL, Lian S, et al (2018). Control efficiency of BHT against apple fruit ring rot and its influence on the

- activity of defensive enzymes. *Plant Physiol J*, 54: 819–826 (in Chinese with English abstract) [于春蕾, 孟璐璐, 练森等(2018). BHT对苹果果实轮纹病的防效及防御酶活性的影响. *植物生理学报*, 54: 819–826]
- Yuan SZ, Ding XY, Zhang YA, et al (2019a). Characterization of defense responses in the ‘green ring’ and ‘red ring’ on jujube fruit upon postharvest infection by *Alternaria alternata* and the activation by the elicitor treatment. *Postharvest Biol Tec*, 149: 166–176
- Yuan SZ, Li WS, Li QQ, et al (2019b). Defense responses, induced by *p*-coumaric acid and methyl *p*-coumarate, of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit against black spot rot caused by *Alternaria alternata*. *J Agric Food Chem*, 67: 2801–2810
- Zhang JR, Cheng XW, Chang LL, et al (2021a). Combined treatments of chitosan and sodium silicate to inhibit *Alternaria alternata* pathogens of postharvest winter jujube. *Food Sci Biotechnol*, 30: 589–597
- Zhang SY, Wang Q, Guo YJ, et al (2020). Carbon monoxide enhances the resistance of jujube fruit against postharvest *Alternaria* rot. *Postharvest Biol Tec*, 168: 111268
- Zhang Y, Sun X, Vidyarthi SK, et al (2021b). Active components and antioxidant activity of thirty-seven varieties of Chinese jujube fruits (*Ziziphus jujuba* Mill.). *Int J Food Microbiol*, 24: 1479–1494
- Zhao SY, Li XH, Chen L, et al (2005). Isolation and identification of thick liquid disease fruit of Dongzao jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) during store. *Stor Proc*, (1): 19–21 (in Chinese with English abstract) [赵淑艳, 李喜宏, 陈丽等(2005). 冬枣贮藏期浆胞病病原分离与鉴定. *保鲜与加工*, (1): 19–21]
- Zhao YT, Zhu X, Hou YY, et al (2021). Effects of harvest maturity stage on postharvest quality of winter jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) fruit during cold storage. *Sci Hortic*, 277: 109778