

采后果实链格孢属真菌病害防治方法研究进展

Advances on methods to control fungal diseases of *Alternaria spp* in postharvest

黄伟 冯作山 白羽嘉 张培岭 郑峰

HUANG Wei FENG Zuo-shan BAI Yu-jia ZHANG Pei-ling ZHENG Feng

(新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

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

摘要:链格孢属真菌(*Alternaria spp.*)可引起多种果实采后发生病害,每年造成的损失异常严重,因此防治由链格孢属真菌引起的采后果实病害显得尤为迫切。文章将着重介绍国内外研究中采后果实链格孢属真菌病害的防治方法,包括采前防治,采后物理、化学和生物方法及联合防治等,并提出在未来的发展中应该使用新的、有效的组合方式来提高防治效果,增强果实抵抗链格孢属真菌的能力,延长果实采后贮藏期,提升其商品价值。

关键词:采后;果实;链格孢;防治;研究进展

Abstract: *Alternaria Spp* is a fungi, which can cause a variety of postharvest fruit to disease and the serious loss in every year, so prevention and control of postharvest fruit diseases by *Alternaria* is particularly important and urgent for now. This article will especially introduce research on method against postharvest fruits *Alternaria* fungi disease including control at preharvest and post harvest of physical, chemical and biological methods, as well as their mutual combination in domestic and abroad. Then put forward that the combination of new and effective way should be taken to improve the control effect in the future, to enhance the ability of resistance to *alternaria* fungi, and to extend period of fruit postharvest storage and to promote the value of the goods.

Keywords: postharvest; fruit; *Alternaria Spp*; control; research progress

据统计^[1],由微生物侵染造成的采后果蔬腐烂占 20%~25%。链格孢属真菌是引起各类果实采后发病的主要致病菌之一,如黑斑病、褐斑病、蒂腐病和心腐病等^[2],其中黑斑病是许多果实采后贮藏期间的典型病害。若能在一定程度上阻止病害的发生,延长果实采后贮藏期,则可以减少果农

和水果商的损失。因此,文章拟对目前果实采后链格孢属真菌病害的物理、化学和生物防治方法进行详细综述,旨在加深对采后果实链格孢属真菌防治的了解,也可安全有效的杀菌制剂的开发提供新思路。

1 采前防治

果实贮藏期发生的病害大多是病原真菌采前侵染所致,且在果实整个自然生长发育期间都可发生。潜伏在不脱落的病叶上越冬,导致柑橘褐斑病的柑橘链格孢(*Alternaria citri*)是田间的初次侵染来源,春梢时就开始侵染树体并使其产生发病症状,在开花期和幼果期则发病严重^[3]。交链孢(*A. alternata*)在甜瓜花期就开始潜伏^[4]。链格孢可通过果实的自然孔口(气孔、皮孔、裂口等)进行潜伏,但在其侵入未成熟果实的过程中都受到寄主的抑制而处于潜伏阶段。当果实成熟后,病原真菌才变得“活跃起来”并在采后贮藏期间侵染寄主。

采前多使用杀菌剂和诱抗剂控制病害,杀菌剂可以杀灭病原菌,减少果实受到病原微生物侵染的几率;而诱抗剂则能够诱导果实采后贮藏期间对致病菌产生抗性,延迟病害的发生,并维持果实的品质。从花期开始给甜瓜喷施 100 mg/L 的阿拉酸式苯-S-甲基(acibenzolar-S-methyl, ASM),果实中链格孢的潜伏带菌率显著低于对照组,提高了果实硬度和病程相关蛋白(几丁质酶和 β -1,3 葡聚糖酶)活力,与抗病相关的总酚、木质素和类黄酮含量也明显升高^[5]。由此可见,采前使用诱抗剂可成为阻止果实受潜伏侵染的有效手段之一。但也有采前热处理控制链格孢病害的报道,50℃水浴 0.5~5 h 均能将葡萄插条内处于生理休眠期的真菌完全脱除^[6]。该结果为保障葡萄苗木的健康提供了可行的方法。

2 采后物理防治

目前控制采后果实链格孢真菌病害的物理方法主要有低温、热处理、紫外短波照射、熏蒸处理和微波处理。

2.1 低温贮藏

低温贮藏是采后果实病害控制物理手段中最常用的方

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:31460413)

作者简介:黄伟,男,新疆农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:冯作山(1963—),男,新疆农业大学教授,博导。

E-mail: fengzuoshan@126.com

收稿日期:2015-10-29

式。低温贮藏可以降低采后果实的呼吸强度,抑制病原菌生长繁殖,延缓病害发生的时间。张唯一等^[4]对引起新疆哈密瓜采后腐烂的原病菌进行研究,发现链格孢是引起哈密瓜低温贮藏和冷藏运输中腐烂的优势致病菌。因此,仍需对低温下链格孢属真菌侵染采后果实的机理和果实受侵染变化进行研究。另外,在超出果实的冷藏温度和时间范围时,果实容易出现冷害症状,所以需要针对不同种类的果实进行温度和时间梯度试验。

2.2 热处理

研究^[7]发现热处理能够在清洗果实的同时杀灭果实表面的病原微生物,促进果实表面伤口愈合,降低果实贮藏过程中的腐烂率,减轻果蔬冷害,延缓果实衰老。然而,热水处理易引起果实热伤害,所以普遍采取短时高温的办法来减少伤害。60℃处理 *A. alternata* 孢子 15 s,萌发率可降低 48%^[8]。Muhammad 等^[9]采用 60℃的热水浸果 5 min 来防治芒果黑斑病,病斑直径(贮藏 20 d)达到最小。采后热处理以投入低、操作简便等特点在控制采后病害中有较好的前景,但只进行热处理并不能使果实达到持久的抗病效果,可与其他方法组合应用于果实采后病害的控制,在绿色环保的同时延长其贮藏期。

2.3 紫外短波(UV-C)照射

在果实贮藏前,使用 UV-C 可以杀灭果实表面的微生物。Liu 等^[10]采用不同剂量(1.3~40 kJ/m²)的 UV-C 控制番茄链格孢病害,结果表明低剂量(7.5 kJ/m²)的 UV-C 照射 10 min 后果实的发病率降低了 67%,病斑直径则减小了 9 mm,同时显著提高果实的硬度,延缓其后熟衰老。采后用 7.5 kJ/m² 的 UV-C 照射香梨 39 min,可显著降低果实接种交链孢(*A. alternata*)的发病率,接种 30 d 后,对照组比接种组的发病率高 30%;UV-C 处理还能抑制几丁质酶和 β -1,3 葡聚糖酶活性下降,提高总酚含量^[11]。UV-C 可以作为一种有效控制链格孢属病害的方法,但它对链格孢的抑制作用还有待进一步的研究。

2.4 熏蒸处理

当前熏蒸气体处理大多是人工添加气体成分来达到杀灭贮藏环境中的病原菌,延长采后果实贮藏期的目的。相对液体来说,气体具有更好的扩散性、穿透性和均匀性,适于采后果实的贮藏。番茄果实在充满 0.05 μ mol/mL 臭氧的气体中放置 2 h 后,链格孢孢子的生长得到有效抑制,果实表面的病斑面积减少,9 d 后病斑面积仅为对照组的 51%^[12]。当浓度为 3 mg/L,作用时间为 10 min 时,ClO₂ 对链格孢的杀菌率可达 92.38%^[13],说明链格孢菌对 ClO₂ 气体十分敏感。使用 90 mg/L 的硫化羰(COS)在 25℃下熏蒸人工接种链格孢的鸭梨 4 h,发病率(贮藏 7 d)可减少至 40%。然而当 COS 的剂量上升到 90 mg/L 时,果实表面出现伤害症状,影响产品的感官品质^[14]。熏蒸气体处理中最大的问题是气体残留,所以应将剂量控制在对人体无害的范围内。

2.5 微波处理

目前关于微波处理应用于采后果实病害防治的报道较

少。阿衣古丽^[15]采用微波间歇式处理(每次微波处理时间为 10 s,冷却至室温后,再进行微波处理,累积 120 s)接种链格孢的 PDA 培养基,经电镜扫描观察发现孢子出现萎缩、顶端喙状结构被破坏的现象;体外试验中,微波间歇处理 60 s 后,甜瓜链格孢病斑深度值为对照的 20%,一旦超过 60 s,病斑深度值上升,可能是微波效应破坏了甜瓜的组织结构造成。

3 采后化学防治

使用化学杀菌剂仍是现在世界各国控制采后果实病害的主要方法,按来源主要分为人工合成化学试剂和天然产物及提取物两大类。

3.1 人工合成化学试剂

人工合成化学试剂按作用方式主要分为两类:①对病原菌有直接抑制作用;②间接诱导果实对致病菌产生一定抗性。常见的防治采后果实链格孢菌杀菌剂见表 1。

表 1 防治采后果实链格孢菌的杀菌剂
Table 1 Fungicides applied to prevent fruits caused by *Alternaria* in postharvest

杀菌剂名称	果实名称
500 mg/L 苯菌灵和 1 000 mg/L 咪鲜胺	梨 ^[16]
1 000 mg/L 抑霉唑	苹果,柿子 ^[17]
1 000 mg/L 扑海因	甜樱桃 ^[18]
500 mg/L 邻苯基苯酚钠	番木瓜 ^[19]
500 mg/L 仲丁胺	蓝莓 ^[20]
50~250 mg/L 乙环唑	番茄 ^[21]
250 mg/L 苯菌灵和 500 mg/L 双胍盐	甜瓜 ^[22]
250 mg/L 多菌灵	黄瓜 ^[23]

除了上述常见的杀菌剂,研究者们还对其它的一些抑制链格孢的化学药剂进行了试验。如 El-Sayed 等^[24]使用抗坏血酸、苯甲酸、柠檬酸和山梨酸钾对柑橘链格孢(*Alternaria citri*)进行了体内和体外试验,结果表明 1 g/L 苯甲酸在体外和柑橘体内试验中抑制链格孢效果最显著。一些新型的化学物质也应用于防治病原菌,如 20%纳米氧化锌处理对体外条件下 *A. alternata* 孢子萌发的抑制率较对照下降了 87.37%;体内试验中,5%纳米氧化锌处理损伤接种链格孢苹果后,病斑直径显著降低,但更高浓度的处理对其并没有作用^[25]。

相对传统杀菌剂来说,诱导抗病剂具有用量少,持续时间长,不易产生抗药性,环境友好等优点。常见的诱抗剂有水杨酸^[26] (salicylic acid, SA)、苯并噻重氮^[27] (benzothiadiazole, BTH)、康壮素^[28] (harpin)、茉莉酸(jasmonic acid, JA)及其甲酯^[29] (methyl jasmonate, MeJA)、草酸^[30] (oxalic acid)、1-甲基环丙烯^[31] (1-methylcyclopropene, 1-MCP)、壳聚糖^[31-32] (chitosan)、 β -氨基丁酸^[33] (β -aminobutyric acid, BABA)等。诱导剂诱导采后果实抗病的机制十分复杂,Reddy 等^[34]认为壳聚糖通过影响链格孢的生长、形态变化和毒素的产生来抑制链格孢病害,他还从寄主的角度上解释了

壳聚糖在寄主—链格孢之间的作用,10 g/L 壳聚糖处理提高了番茄细胞壁降解酶(多聚半乳糖醛酸酶、果胶酶和纤维素酶)活性,降低了果实组织内的 pH 值,且诱导了寄主体内抗毒素物质的产生^[32]。

3.2 天然产物及提取物

由传统的化学合成杀菌剂向天然无毒、高效广谱的采后果实处理物质方向发展是未来的一大趋势。植物精油作为抑菌天然提取物的一大类(见表 2),其最大优势是可在人体内降解。但目前仍有几个方面的问题需进一步研究:① 植物精油中有效抗菌成分的分离、确定及其抑菌机理;② 同一种精油各成分之间和两种及两种以上精油在抑菌时是否有在协同增效的作用,且如何达到协同作用;③ 植物精油抑菌试验多以离体条件进行,应对果实活体内的抑菌效果展开研究;④ 对精油的使用方法、用量、时间及残留量的研究也是十分必要的;⑤ 对精油和其他防治方法的组合研究较少,组合方法可以降低精油的用量。

表 2 防治链格孢的部分植物精油来源、精油名称及成分
Table 2 Part of plant oil sources, essential oils and composition applied to prevent *Alternaria spp*

植物精油来源	主要成分
夏香薄荷 ^[35]	香芹酚、 γ -松油烯等
桉树 ^[36]	β -蒎烯、 α -蒎烯、1,8-桉叶素等
印度藏茴香 ^[37]	百里香酚
小茴香	反茴香脑
香菜	乙酸异丁酯
欧薄荷 ^[38]	反式二氢香芹酮、薄荷酮、顺式二氢香芹酮
月桂 ^[39]	丁香油酚、石竹烯、肉桂醛等

中草药作为中国的特色植物资源不仅广泛应用于医药行业,且在采后果实中表现了其出色的抑菌能力。目前对中草药抑制链格孢的研究主要集中在体外试验,黄连根茎的提取液对柑橘链格孢的最小抑菌浓度为 0.05 g/L^[40],抑菌率达到 100%。郭东起等^[41]采用 7 种中草药研究控制骏枣黑斑病时,发现黄连提取液抑菌效果最好,7 d 后测量含黄连提取液的 PDA 平板的菌落直径最小(1.52 cm),抑菌率最大(84.8%)。另外,对链格孢有较好抑制作用的中草药还有北豆根,结果表明其最小抑菌浓度为 6.25 mg/mL,而最小杀菌浓度为 12.5 mg/mL^[42]。吴振宇等^[43]研究了鹿蹄草素、黄连、黄柏、厚朴 4 种中草药提取物对梨链格孢菌的抑制作用,结果表明黄连+厚朴(浓度比为 25:2 时)为最佳增效作用组合。扫描和透射电镜观察到北豆根提取物破坏链格孢的细胞壁,减少细胞内部细胞器,同时细胞内外物质发生相互渗透^[43]。目前研究中大多采用煎煮法提取中草药,但产物仍是含多种成分的粗制品,其中的有效抗菌成分的抑菌机理至今还不清楚,阻碍了其在实际生产中的商业化应用。

4 采后生物防治

近年来,拮抗微生物成为新兴的控制采后果实病害的潜在资源之一,市场上已可见到拮抗菌制剂(如 Biosave, Aspire

等)。目前研究和应用较多的采后果实腐烂控制的拮抗微生物是细菌和酵母菌,而来源主要有三类:作物植株、土壤或水、果实。拮抗微生物防治采后果实真菌病害的机理尚未明确,受到广大学者认可的主要观点包括^[44]:① 与病原菌竞争营养和空间;② 寄生在病原菌菌丝体上;③ 诱导采后果实对病原菌产生抗病性;④ 产生抗菌物质抑制致病菌生长。枯草芽孢杆菌因其抗菌谱受到各国学者的广泛关注,Utkhede 等^[45]使用 2.2×10^8 CFU/mL 的枯草芽孢杆菌 EBW2 处理接种链格孢的樱桃,室温贮藏 4 d 后发病率为 31%,而杀菌剂扑海因处理组发病率为 27%。枯草芽孢杆菌能达到杀菌剂的效果,从环境友好的角度考虑,可优先使用拮抗菌。张晓宇等^[46]报道了西梅果实表面分离到的成团泛菌(*Pantoea agglomeran*)XM2 对梨果实由链格孢引起的黑斑病具有良好的生防作用。酵母菌在采后果实病害的防治中已初具成效,尤以毕赤酵母(*Pichia pastoris*)研究较多^[47],然而目前的酵母菌生防效力有限,为提高原有拮抗菌的抗菌作用,任雪艳等^[48]通过基因工程技术将外源抗菌肽基因 Cecropin A 和 PsdI 在毕赤酵母中表达得到重组酵母,试验表明该重组酵母可显著抑制番茄链格孢,其在贮藏期间的品质指标与对照果实相比没有明显的差异。虽然市场上已有拮抗菌剂,但因成本高,实际使用较少且效果不稳定。未来拮抗菌应朝着广谱性、持久性、用量少的方向发展,且组合处理时能适应如热水、低温、化学杀菌剂等其它条件,以提高拮抗菌的生防效力。

5 组合防治

虽然前面介绍的各个方法在防治链格孢真菌病害上均有其优势,但如今单一的防治方法已达不到较好的防治效果,且其中的任何一种方法都有本身的局限性。因此,研究人员将目光转向了组合防治,以期降低其缺陷性从而最大限度地发挥其防治优点。

5.1 采前与采后组合防治

与采前结合的采后防治链格孢属真菌病害的方法主要是物理方法和化学方法。Prusky 等^[49]分别在柿子坐果后喷施剂量为 5~6 L/树的膨大剂(CPPU)和采前喷施 300~1 000 mg/L 的多抗霉素 B,两种处理与采后商业处理的氯(500 mg/L)组合防治,前者组合处理可提高冷藏后柿果实货架期 10%的可销性,后者则能最高减少 77%的黑斑发生率。有研究^[50]表明采前喷施赤霉素(GA)会增加果实细胞壁纤维素的含量,进而提高贮藏期间果实的硬度。而 CPPU 可能具有与 GA 相似的机制^[51]。另外,*A. alternata* 的产物内切 1,4- β -葡聚糖酶(该酶在链格孢侵染过程中起到降解细胞壁,加快果实腐烂的作用)受到抑制,从而减慢侵染的进程^[52]。采前叶面喷施 50 mg/L 苯并噻二唑(BTH)联合采后 500 mg/L 双辛酰胺浸洗可有效缓解采后甜瓜受链格孢侵染的状况^[53]。在杏果实坐果期、膨大期、转色期及采收前 48 h 的 4 个时期喷施 1.0 mmol/L 水杨酸(SA)结合采后 4 ℃贮藏,结果表明组合 SA 处理的果实发病率仅为对照的 60.50%^[54]。对于具有较长潜伏侵染期的采后病原菌来说,

可应用采前和采后处理相结合的方法来减轻采后病害及提高果实的贮藏品质。

5.2 采后物理、化学和生物方法相互组合防治

采后物理、化学和生物方法相互组合可以弥补单项技术的不足,防治效果显著,但组合处理抑菌的机理更为复杂,影响因素较多。物理方法中低温、热水、UV-C 多与其它方法组合。Zhang 等^[55]使用 4 kJ/m² UV-C 照射结合拮抗酵母菌(*Cryptococcus laurentii*)处理采后番茄,发现 UV-C 并没有抑制酵母菌的生长,组合处理增加了果实抗性相关酶(β -1,3 葡聚糖酶、苯丙氨酸解氨酶等)的活性,并显著提高其在果实体内的表达量。38 ℃的热水结合拮抗酵母菌(*Pichia guilliermondii*)能显著减少接种链格孢樱桃番茄的病害发病率,降低芳香化合物的损失,保持果实的新鲜度^[56]。但热水会影响酵母菌繁殖,所以热水处理应在酵母菌液处理之后。

化学方法和生物方法联用抑制采后果实病害效果显著,组合处理可以降低化学试剂的用量,减少对环境的污染。Qin 等^[57]采用 0.5 mmol/L SA 溶液和两种拮抗酵母菌(*Rhodotorula glutinis*, *Cryptococcus laurentii*)防治甜樱桃链格孢病害,结果表明体外条件下,低浓度的 SA 对酵母菌的影响较小;组合处理显著提高了果实多酚氧化酶等防御酶的酶活力,但对过氧化物酶没有影响。1 mmol/L 钼酸铵(NH₄MO)与拮抗酵母菌(*Rhodotorula glutinis*)能够对梨链格孢病害的防治达到协同增效的作用^[58]。葛永红等^[59]研究了枯草芽孢杆菌 B₁(*Bacillas subtilis*)结合 BTH 对甜瓜链格孢的防治效果,结合处理可使病斑直径显著降低,同时诱导了果实几丁质酶(CHO)活性升高。

物理与化学方法结合处理防治采后果实链格孢病害的研究集中在化学杀菌剂与热水的组合方面(见表 3)。当前研究^[60-62]表明热水联合杀菌剂能达到协同增效的作用,增强果实的抗性。但对于热水与杀菌剂组合抗菌的机制尚未研究清楚,仍需进一步的探索。

表 3 热水结合杀菌剂处理防治采后果实链格孢病害
Table 3 Combination hot water with fungicides to prevent fruits caused by *Alternaria spp* in postharvest

热水结合杀菌剂处理	采后果实名称
200 mg/L 抑霉唑,54 ℃,3 min	葡萄 ^[60]
0.066 7%咪鲜胺+20 g/L 壳聚糖,55 ℃,热水处理时间 3 min;壳聚糖处理时间 1 min	甜瓜 ^[61]
2%壳聚糖,55 ℃,3 min	哈密瓜 ^[62]

6 结论

对于具有较长潜伏时期的链格孢属真菌而言,防治时期不仅包括采后处理,采前防治也尤为重要。果实链格孢属真菌病害防治手段主要为物理、化学和生物方法,单一的防治方法虽然能起到较好的杀菌效果,但其各自的缺点仍不可忽视。其中物理方法对设备要求高且耗能大;化学杀菌剂不仅使作物产生抗性,过量残留物更会对人体造成巨大的危害;而生物制剂成本高,农户较少使用,效果也不稳定。相对单

一的防治方法而言,组合防治能对链格孢真菌病害起到更好的抑制作用,在克服“短板效应”的同时发挥各自方法的优点并达到优良的灭菌效果。因此,在采前与采后两个时期采用物理、化学和生物组合防治将是未来防治果实真菌病害的趋势。然而,组合防治也使得其防治机理变得复杂,增加了研究的难度,而不断更新的分子生物技术或许可以帮助更地了解其机理。此外,链格孢致病与果实抵御病原菌之间是相互影响,且交替进行的,所以对链格孢致病机制的研究也是防治采后果实链格孢属真菌病害的基础性和关键性的一步。

参考文献

[1] El-Ghaouth A, Wilson C L, Wisniewski M E. Biologically based alternatives to synthetic fungicides for the postharvest diseases of fruit and vegetables. In: Naqvi, S. A. M. H. (Ed.), Diseases of Fruit and Vegetables[M]. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004: 511-535.

[2] 罗云波. 果蔬采后生理与生物技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 181-182.

[3] 李红叶, 梅秀凤, 符雨诗, 等. 柑橘链格孢褐斑病的发生危害风险和治理对策[J]. 果树学报, 2015, 32(5): 969-976.

[4] 张辉, 李学文, 张唯一, 等. 新疆哈密瓜果实潜伏侵染真菌种类研究[J]. 新疆农业科学, 2000(3): 127-130.

[5] Zhang Zheng-ke, Bi Yang, Ge Yong-hong, et al. Multiple pre-harvest treatments with acibenzolar-S-methyl reduce latent infection and induce resistance in muskmelon fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(1): 126-132.

[6] 李艳美, 陈尚武, 张文, 等. 热处理对葡萄休眠枝条携带真菌脱除及萌芽和生根的影响[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(2): 74-80.

[7] 王青云, 龚吉军, 钟海雁. 柑橘果实采后热处理研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 316-319.

[8] Fallik E, Aharoni Y, Copel A, et al. Reduction of postharvest losses of Galia Melon by a short hot-water rinse[J]. Plant Pathology, 2000, 49(3): 333-338.

[9] Muhammad Mohsan, Muhammad Intizar-ul-Hassan, Liaquat Ali, et al. Chemotheraptic management of alternaria black spot (*Alternaria Alternata*) in mango fruits[J]. Journal of Agricultural Research, 2011, 49(4): 499-506.

[10] Liu Jiang, Stevens C, Khan A V, et al. Application of Ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes[J]. Journal of Food Protection, 1992, 56(10): 868-872.

[11] 李学文, 廖黄, 黄玲, 等. 紫外光(UV-C)处理对库尔勒香梨采后病斑扩展和抗病性的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2014, 37(2): 159-163.

[12] Tzortzakakis N G, Singleton I, Barnes J D. Impact of low-level atmospheric ozone-enrichment on black spot and anthracnose rot of tomato fruit[J]. Postharvest Biology Technology, 2008, 47(1): 1-9.

[13] 赵金梅. 中华猕猴桃褐斑病病原鉴定及 ClO₂ 杀菌效果的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2014: 46-51.

[14] Liu Tao, Li Li, Wang Yue-jin, et al. Postharvest fumigation of Chinese Ya pear with carbonyl sulfide for the control of black spot disease[J]. Professional Congress Services, 2012, 56(3): 38-43.

[15] 阿依古丽·阿力木. 微波处理对甜瓜致腐真菌的抑制作用研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012: 25-27.

[16] Sitton J W, Pierson C F. Interaction and control of Alternaria stem decay and blue mold of d Anjou pears[J]. Plant Disease, 1983, 67(8): 904-907.

[17] Prusky D, Ben-Arie R. Control by imazalil of fruit storage rots caused by Alternaria alternata[J]. Annals of Applied Biology, 1981, 98(1): 87-92.

[18] Jones A L. Control of brown rot of cherry with a new hydan-toin fungicide and with selected fungicide mixtures[J]. Plant Disease Reporter, 1975, 59(2): 127-129.

[19] Heggen B, Dave B, Kaplan H J. Effective fungicidal control of postharvest disease on kiwifruit (Abs.)[J]. Hort science, 1980, 15(1): 92.

[20] Ceponis M J, Cappellini R A. Chemical control of postharvest rots in New Jersey blueberries[J]. Plant Disease Reporter, 1978, 62(4): 154-156.

[21] Spalding D H. Control of Alternaria rot of tomatoes by post-harvest application of imazalil[J]. Plant Disease, 1980, 64(2): 169-171.

[22] Wade N L, Morris S C. Efficacy of fungicides for postharvest treatment of muskmelon fruits[J]. Hort Science, 1983, 18(1): 344-345.

[23] Kassim M Y. Chemical control of post-harvest diseases of some vegetable fruits in Saudi Arabia[D]. Riyadh: Journal of College of Science, King Saud University, 1987: 167-173.

[24] El-Sayed M E, Hazaa M, Laila F H, et al. Decay of some citrus fruit quality caused by fungi and their control: II- control alternaria rot or core rot decay by using some alternative fungicides[J]. Journal of Applied Sciences Research, 2013, 9(11): 5 671-5 678.

[25] 刘瑾瑾, 李永才, 刘昌宁. 采后纳米氧化锌对苹果黑斑病和青霉病的控制[J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 327-330.

[26] Cao Jian-kang, Yan Jia-qin, Zhao Yu-mei, et al. Effects of postharvest salicylic acid dipping on Alternaria rot and disease resistance of jujube fruit during storage[J]. Journal of The Science of Food and Agriculture, 2013, 93(13): 3 252-3 258.

[27] Erica F, Marilla S, Lucia L, et al. Pre- and postharvest treatment with alternatives to synthetic fungicides to control post-harvest decay of sweet cherry[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 78(2): 133-138.

[28] Wang Jun-jie, Bi Yang, Wang Yi, et al. Multiple preharvest treatments with harpin reduce postharvest disease and maintain quality in muskmelon fruit(cv. Huanghemi)[J]. Phytoparasitica, 2014, 42(3): 155-163.

[29] Chen Jia-ping, Zou Xin, Liu Qin, et al. Combination effect of chitosan and methyl jasmonate on controlling in Alternaria alternata and enhancing activity of cherry tomato fruit defense mechanisms[J]. Crop protection, 2014, 56(5): 31-36.

[30] 邓建军. 采后草酸处理对厚皮甜瓜果实抗病性的诱导及其贮藏品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007: 52-54.

[31] 林永艳, 谢晶, 于江涛, 等. 1-MCP 及壳聚糖对番茄贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 169-171.

[32] Reddy M V, Angers P, Castaigne F, et al. Chitosan effects on blackmold rot and pathogenic factors produced by alternaria alternata in postharvest tomatoes[J]. Hortscience, 2000, 125(6): 742-747.

[33] 董柏余, 葛永红, 毕阳, 等. 采后 β -氨基丁酸处理对梨果实黑斑病的抑制[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 320-322.

[34] Reddy M V, Arul J, Ait-Barka E, et al. Effect of chitosan on growth and toxin production by alternaria alternata f. sp. Lycopersici[J]. Hortscience, 1997, 32(3): 467-468.

[35] Laleh Y, Neda M. Antifungal activity of satureja hortensis L. essential oil against alternaria citri[J]. European Journal of Experimental Biology, 2014, 4(1): 399-403.

[36] Guleria S, Tiku A K, Gupta S, et al. Chemical composition, antioxidant activity and inhibitory effects of essential oil of eucalyptus terecornis grown in north-western himalaya against alternaria alternata[J]. Journal of Plant Bilchemistry and Biotechnology, 2012, 21(1): 44-50.

[37] Ali A, Abbas H, Youbert G, et al. Essential oils as control agents of postharvest alternaria and penicilliumrots on tomato fruits[J]. Journal of Food Safety, 2010, 30(2): 341-352.

[38] Dzamic A M, Sokovic M D, Ristic M S, et al. Antifungal and antioxidant activity of mentha longifolia(L.) hudson (Lamiaceae) essential oil[J]. Botanica Serbica, 2010, 34(1): 57-61.

[39] Xu Shi-xiang, Yan Fu-jie, Ni Zhen-dan, et al. In vitro and in vivo control of Alternaria alternate in cherry tomato by essential oil fromLaurus nobilis of Chinese origin[J]. Journal of Science of Food and Agriculture, 2014, 94(7): 1 403-1 408.

[40] 刘畅, 任艳芳, 何俊瑜, 等. 中草药提取液对 3 种柑橘病原菌的抑制作用[J]. 西南农业学报, 2011, 24(1): 132-136.

[41] 郭东起, 蒋卉, 牛宁宁, 等. 南疆骏枣黑斑病病原菌的分离、鉴定及控制研究[J]. 中国植保导刊, 2015, 35(12): 3-8.

[42] 哈斯格根. 中草药提取物对番茄采后主要病原真菌的抑制作用和机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 23-24.

[43] 吴振宇, 艾启俊, 王燕. 中草药提取物对链格孢菌抑制作用增效组合的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 36-38.

[44] Jamalizadeh M, Etebarian H R, Aminian H, et al. A review of mechanisms of action of biological control organisms against post-harvest fruit spoilage[J]. Bulletin OEPP EPPO Bulletin, 2011, 41(1): 65-71.

[45] Utkhede R S, Sholberg P L. In vitro inhibition of plant pathogens: Bacillus subtilis and Enterobacter aerogenes in vivo control of two postharvest cherry diseases[J]. Canadian Journal of Microbiology, 1986, 32(12): 963-967.

[46] 张晓宇, 张永杰, 张则君, 等. 拮抗细菌 XM2 的鉴定及其对梨采后黑斑病的生防作用[J]. 微生物学报, 2014, 54(6): 648-655.

[47] Liu Jia, Sui Yuan, Wisniewski M, et al. Review: Utilization of antagonistic yeasts to manage postharvest fungal diseases of fruit[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 167(2): 153-156.

[48] 任雪艳. 重组酵母 GS115/PSD, GS115/CEC 的构建及其对梨采后病害抑制效果的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011: 42-44.

[49] Ilana Kobiler, Miriam Akerman, Leah Huberman, et al. Integration of pre- and postharvest treatments for the control of black spot caused by Alternaria alternata in stored persimmon fruit[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2011, 59(2): 166-171.

[50] Ben Arie R, Saks Y, Sonogo L, et al. Cell wall metabolism in gibberellintreated persimmon fruits[J]. Plant Growth Regulation, 1996, 19(1): 25-33.

[51] Percy A E, Melton L D, Jameson P E. Expansion during early apple fruit development induced by auxin and N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea: Effect on cell wall hemicellulose[J]. Plant Growth Regulation, 1998, 26(1): 1-6.

[52] Eshel D, Miyar I, Ailinnng T, et al. PH regulates endoglucanase expression and virulence of Alternaria alternata in persimmon fruits [J]. Plant-Microbe Interact, 2002, 15(8): 774-779.

[53] Huang Yan, Deverall B J, Tang Wei-hong, et al. Foliar application of acibenzolar-S-methyl and protection of postharvest rock melons and Hami melons from disease[J]. European Journal of Plant Pathology, 2000, 106(7): 651-656.

[54] 赵亚婷, 朱璇, 马玄, 等. 采前水杨酸处理对杏果实抗病性及苯丙烷代谢的诱导[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 216-220.

[55] Zhang Chang-feng, Chen Kun-song, Wang Guo-li. Combination of the biocontrol yeast cryptococcus laurentii with UV-C treatment for control of postharvest diseases of tomato fruit [J]. Biocontrol, 2013, 58(10): 269-281.

[56] Zhao Yan, Tu Kang, Tu Si Cong, et al. A combination of heat treatment and pichia guilliermondii prevents cherry tomato spoilage by fungi[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 137(1): 106-110.

[57] Qin Guo-zheng, Tian Shi-ping, Xu Yong, et al. Enhancement of biocontrol efficacy of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2003, 62(3): 147-154.

[58] Wan Ya-kun, Tian Shi-ping. Integrated control of postharvest diseases of pear fruits using antagonistic yeasts in combination with ammonium molybdate[J]. Journal of The Science of Food and Agriculture, 2005, 85(15): 2 605-2 610.

[59] 葛永红, 毕阳. 苯丙塞重氮结合枯草芽孢杆菌 B1 处理对甜瓜采后主要病害的抑制效果[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 428-432.

[60] Smith W L, Anderson R E. Decay control of peaches and nectarines during and after controlled atmosphere and air storage [J]. Horticulture Science, 1975, 100(5): 84-86.

[61] 程俊嘉, 袁峰, 李学文, 等. 壳聚糖、热处理结合咪鲜胺对哈密瓜采后生化代谢的影响 [J]. 食品科技, 2015, 40(9): 349-353.

[62] 王静, 李学文, 廖新福, 等. 热处理和壳聚糖涂膜对采后接菌哈密瓜生理生化特性的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(2): 318-323.

(上接第 211 页)

[5] 关于印发《上海市工业旅游“十二五”发展规划》的通知[EB/OL]. (2012-09-07) [2016-04-01]. <http://www.sheitc.gov.cn/sewgh/657136.htm>.

[6] 李森焱. 中国工业旅游发展模式研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.

[7] 林文超. 食品工业旅游开发的现实困境与改进路径[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 277-279.

[8] 十年食品安全大事件回顾[EB/OL]. (2016-03-15) [2016-04-03]. <http://gd.qq.com/zt2015/shipinanquan/index.htm>.

[9] 旅游市场升级 如何优化旅游市场环境? [EB/OL]. (2014-11-27) [2016-04-03]. http://www.ce.cn/culture/gd/201411/27/t20141127_3995681.shtml.

[10] 工业旅游在法国[EB/OL]. (2011-10-25) [2016-02-21]. http://www.itripsh.com/index_itripsh.html.

[11] 侯冰. 关于漯河市发展食品工业旅游的初步探究[J]. 广西轻工业, 2008(6): 113-122.

[12] 长沙电子信息晋升千亿级 长沙千亿产业增至 4 个[EB/OL]. (2015-02-11) [2016-04-03]. <http://yq.rednet.cn/c/2015/02/11/3601343.htm>.

[13] 湖南旅游 2015 年度报告出炉 增速超过全国平均水平[EB/OL]. (2016-01-22) [2016-04-04]. http://www.hnt.gov.cn/sccx/201601/t20160122_2910693.html.

[14] 关于对 2014 年度长沙市工业旅游示范单位(第二批)给予奖励的公示[EB/OL]. (2015-11-12) [2016-04-04]. http://www.csgy.gov.cn/zxgz/yxfx/201511/t20151112_833280.html.

[15] 2015 年湖南实现旅游总收入 3 712 余亿元[EB/OL]. (2016-01-22) [2016-04-04]. <http://www.hengshan.gov.cn/main/zwgk/ssdt/6413c660-05b3-4bd3-9d56-944ceb61df77.shtml>.

[16] 中国食品产业三大年会在宁乡经开区举行[EB/OL]. (2016-02-25) [2016-04-06]. http://www.hn.xinhuanet.com/2016-02/25/c_1118160401.htm.

[17] 张弛. 宁乡县发展食品工业旅游产业的对策研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 22-23.

(上接第 234 页)

[39] Chung D, Papadakis S E, Yam K L. Simple models for assessing migration from food-packaging films[J]. Food Additives & Contaminants, 2002, 19(6): 611-617.

[40] Han J K, Selke S E, Downes T W, et al. Application of a computer model to evaluate the ability of plastics to act as functional barriers [J]. Packaging Technology and Science, 2003, 16(3): 107-118.

[41] 王志伟, 孙彬青, 刘志刚. 包装材料化学物迁移研究[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 1-4, 10.

[42] 刘志刚, 王志伟, 胡长鹰. 塑料包装材料化学物迁移试验中食品模拟物的选用[J]. 食品科学, 2006, 27(6): 271-274.

[43] 王全林, 应璐, 戴双燕, 等. 微波食品包装材料中非挥发性紫外吸收物质的迁移量检测分析[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 246-250.

[44] 艾连峰, 郭春海, 葛世辉, 等. 食品包装材料 HDPE 中 4 种紫外吸收剂的迁移规律研究[J]. 包装工程, 2011, 23(13): 4-7, 31.

[45] Lee J W, Son S M, Hong S I. Characterization of protein-coated polypropylene films as a novel composite structure for active food packaging application[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(4): 484-493.

[46] Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications[J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(2): 84-95.