

采后果实褐腐病防治技术研究进展

凡先芳¹, 王宝刚², 曾凯芳^{1,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

2.北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093)

摘要:褐腐病是采后核果果实最重要的侵染性病害之一, 会严重危害贮藏期的果实, 造成大量损失。低温贮藏、气调贮藏、热处理、辐射处理、微波处理等物理防治技术对采后果实褐腐病的防治有一定的效果。化学杀菌剂能够高效控制采后果实褐腐病, 但其有污染环境、易产生耐药性的缺陷, 天然杀菌剂的应用、生物防治尤其是拮抗菌防治技术弥补了化学杀菌剂在控制采后褐腐病方面的不足, 采前技术如喷钙、使用拮抗菌也能有效控制采后果实褐腐病。采前采后技术综合防治果实褐腐病将是未来的发展方向。本文从物理、化学、生物防治技术及几种技术复合等角度综述了各防治技术对采后果实褐腐病的控制作用, 为综合防治褐腐病、减少商业损失提供了一定的科学依据。

关键词:采后, 果实, 褐腐病, 防治技术

Research progress of brown rot control technology of postharvest fruits

FAN Xian-fang¹, WANG Bao-gang², ZENG Kai-fang^{1,*}

(1.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2.Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Brown rot is one of the most significant infectious diseases for postharvest stone fruits, which would do severe harm to fruits during storage and lead to great losses. In regard to the brown rot control technology of postharvest fruits, physical control technology including low temperature storage, atmosphere storage, heat-treatment, microwave-treatment and so on, has a certain effect. Although chemical fungicides can control brown rot effectively, it have some weakness such as leading to pollution of environment and emerging resistance, which could be made up by natural fungicides and biological control technology especially antagonistic bacteria control technique. In addition, preharvest technology such as the use of calcium and antagonistic bacteria can also control brown rot effectively. The combination of preharvest and postharvest technology for controlling brown rot will be the future direction of development. The article reviewed the brown rot control technology of postharvest fruits from physical, chemical and biological aspects, which would provided a scientific basis for integrated control of brown rot and reduced commercial losses.

Key words: postharvest; fruit; brown rot; control technology

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)12-0390-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.12.074

新鲜水果采后腐烂是一个全球性问题, 由真菌侵染引起的侵染性病害是其最主要原因之一。褐腐病又名菌核病、果腐病、实腐病等^[1], 是采后核果果实重要的侵染性病害^[1-2], 腐病遍布全球, 其中以亚洲、澳洲、欧洲及美洲危害最为严重^[3-5], 在我国南北各水果产区均有发生^[1]。果实采前褐腐病通常在开花旺盛期和采收前发生, 在环境条件适宜时, 采后褐腐病在贮藏、运输、销售及消费过程中发生比采前更为严重^[5-6]。对果实褐腐病菌种类的研究显示, 目前来自国

内外的褐腐病病原菌分为以下4种: 果生链核盘菌 [*Monilinia fructigena* (Aderh. et Ruhl.) Honey]、核果链核盘菌 [*Monilinia laxa* (Aderh. et Ruhl.) Honey]、美澳型核果褐腐病菌 [*Monilinia fructicola* (Winter) Honey] 和串珠霉 (*Monilia polystroma*)^[7-8]。病原菌通常从伤口侵入, 以伤口为中心在果面形成浅褐色软腐状小斑, 随后迅速向四周扩展, 最后可扩及全果, 在果面生出同心圆排列的白色或褐色绒球状颗粒, 即病菌的分生孢子层, 这是褐腐病的典型症状^[9]。目前关于采后果

收稿日期: 2014-07-21

作者简介: 凡先芳(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术。

* 通讯作者: 曾凯芳(1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程。

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303075)。

实褐腐病的研究主要集中在桃^[2,4-6,10]、樱桃^[11-13]、苹果^[8,14]、李^[15-17]等果实上。郝晓娟等^[16]研究欧李褐腐病病原菌的寄主范围时,以苹果、梨、油桃、樱桃、杏、柑橘、葡萄、金桔和圣女果为实验对象,发现欧李褐腐病不能侵染金桔和圣女果,能侵染苹果、樱桃、柑橘、梨、葡萄、油桃、杏等果实。近年来研究发现不同地区不同寄主上的褐腐病菌生物学特性除了温度影响存在一定差异,其他无明显差异。郝晓娟等^[16]研究发现欧李 *Monilinia fructicola* 菌丝7~27℃范围内均可生长,最适生长温度为22℃,温度高于32℃病菌停止生长,最适pH范围7.0~9.0;在12h光暗交替条件下生长最快;最适碳源为葡萄糖、蔗糖和半乳糖,最适氮源为蛋白胨。孢子萌发最适温度为17~27℃;最适pH为6.0~8.0;光照对孢子萌发没有显著影响。而赵晓燕等^[10]报道的桃褐腐病菌 *Monilinia fructicola* 在35℃时仍可生长。对于刘志恒等^[18]的研究则支持郝晓娟等^[16]的研究,由此可以看出对于褐腐病致死温度存在争议,有待于进一步研究。褐腐病的发生造成了采后果实大量的损失,因此有必要对褐腐病的防治技术进行系统性的研究。本文从物理、化学和生物防治单一技术及几种技术复合处理等方面综述了采后果实褐腐病的防治技术研究进展。

1 采后果实褐腐病主要物理防治技术

目前控制采后果实褐腐病的物理方法主要有低温贮藏、气调贮藏、热处理、辐射处理、微波处理等。

低温贮藏是利用低温技术将食品温度降低,并维持在低温状态以阻止食品腐败变质,延长食品保存期。目前低温贮藏技术广泛用于各种果蔬加工、贮藏、运输与销售等过程中。低温贮藏不仅可减弱果实的呼吸强度,延缓后熟衰老^[17],而且也是果实褐腐病较为普遍的防治技术。Sommer^[19]研究表明,0℃的低温条件可有效控制由病原菌 *Monilinia fructicola* 引起的桃果褐腐病,延长病原菌孢子萌发的滞后期,在此条件下贮藏亦可以显著减轻欧李果实褐腐病的发生^[15,17]。然而,也有研究表明低温对樱桃果实褐腐病的控制效果不佳,采后樱桃果实在0℃下贮藏一个月,由褐腐病菌 *Monilinia laxa* 和 *Monilinia fructigena* 引起的果实损失率高达86%^[14],这说明樱桃并不适用0℃的低温来控制,应着重对不同梯度低温控制樱桃褐腐病效果及机理做深入的研究。低温贮藏控制褐腐病过程中,低于温控范围果实会产生低温伤害即冷害,目前低温贮藏技术存在的问题是低温冷害对果蔬营养和品质造成的影响还没有较好的缓解方法。

气调贮藏是通过改变贮藏环境中的气体成分来贮藏产品的一种方法。气调贮藏大致可以分为两类,即自发气调(MA)和人工气调(CA)。自发气调不能人为控制,达到理想气体指标,而人工气调却能克服这些缺点,目前对于褐腐病的控制更偏向于人工气调的研究。通过人工气调贮藏可以抑制果实褐腐病的滋生和扩展。将已接种病原菌的甜樱桃果实与健康果实在箱子中隔层放置在同比例CO₂和N₂环境中,可减少邻近果实褐腐病发生率,进而减轻褐腐病的传

播速度^[13]。1-MCP熏蒸处理李果实24h,空气中贮藏仅在40~60d内对褐腐病有明显的控制作用,将果实贮藏在CA(1.8% O₂+2.5% CO₂)环境中,80d亦能够显著地控制褐腐病的发生,从长远考虑,CA环境贮藏果实更能够抑制褐腐病发生^[20]。另外,超低氧环境也可显著减少苹果果实褐腐病的发生^[14]。但也有研究发现,将桃果实贮藏在0.3ppm浓度臭氧环境中,对褐腐病的发生没有显著的控制作用^[21]。通过用臭氧水浸泡处理效果也不是很理想,且浓度达到5mg/L果实还会产生凹陷状小斑点,经人工接种褐腐病的果实臭氧水处理没有起到控制褐腐病的作用^[22]。这可能是由于在低浓度臭氧环境下,臭氧毒性不能够抵抗自由基,杀死褐腐病菌,臭氧并不是防治褐腐病有效的试剂。

热处理是一种在贮前将果实置于热水、热空气或热蒸气等热环境中处理一定时间,以延长果实贮藏期的技术。近年来,热处理以其无化学残留、安全性高、简便有效,在果蔬采后病害控制中受到重视。研究发现,适当的热处理可以有效防治果实采后褐腐病的发生^[23-25]。将桃果实置于40℃热水浸泡处理5或10min,可显著抑制桃果褐腐病菌的孢子萌发及萌发管的伸长^[23]。李果实浸入60℃的热水中处理60s,通过热激蛋白起作用,其腐烂率从80%降低到2%,并且对果实不会造成任何伤害^[24]。然而,Casals等^[25]研究发现,桃或油桃果实在50℃,湿度为95%~99%条件下放置2h后接种褐腐病菌,对果实褐腐病并没有抑制作用,这可能是因为在此种高温环境下时间过长放置虽然能短暂的控制褐腐病,但不能提供持续的保护作用,果实容易患继发性褐腐病感染。

辐射处理技术中短波紫外线(UV-C)因其具有杀菌消毒的作用,在控制采后果实褐腐病受到一定的关注。研究发现,低剂量的UV-C辐射可以降低褐腐病的发生,而高剂量的UV-C辐射则可能产生相反的作用^[26]。这可能是由于高剂量UV-C辐射使机体中水或其他物质发生电离作用,产生自由基,从而影响机体的新陈代谢速度,甚至可能杀死了机体细胞、组织和器官,具体UV-C控制褐腐病作用机理还有待进一步的研究。

目前微波处理大都用于控制谷物病虫害,关于微波技术在控制采后褐腐病方面的研究鲜有报道,Sisqueira等^[27]首次研究了微波技术对桃褐腐病的控制效果,结果表明用微波热17.5kW处理50s以及10kW处理95s均能够有效控制桃果褐腐病的发生。

2 采后果实褐腐病主要化学防治技术

2.1 化学杀菌剂控制采后果实褐腐病

目前用于采后果实褐腐病控制的化学杀菌剂成本低廉、操作简便^[17]。何献声^[28]选用19种杀菌剂研究对桃褐腐病的离体抑菌活性,得出10mg/L的啉菌唑、腈苯唑、戊唑醇和多菌灵对桃褐腐病菌菌丝生长抑菌率达100%,1mg/L的以上4种杀菌剂对菌丝生长抑菌率达98%以上。张殿朋等^[29]研究发现化学杀菌剂戊唑醇处理过的桃子发病率为18.7%,而对照组果实的发病率为45.5%。环酰菌胺、啉酰菌胺、啉霉胺和密菌

环胺在控制桃果褐腐病时也表现出优良的活性^[30]。采用异硫氰酸丁烯酯和异硫氰酸烯丙酯熏蒸处理已接种褐腐病菌(*Monilinia laxa*)的桃和油桃果实90min,放置4d后桃果褐腐病发病率降低了86.2%,而油桃未发病^[31]。此外还有大量研究都表明化学杀菌剂对采后果实褐腐病具有直接有效的杀菌作用。但是长期使用化学杀菌剂会产生抗药性,使得用药量不断加大,造成果实上化学杀菌剂的残留量增加^[29],导致研究者们对杀菌剂的使用持慎重的科学态度,未来研究中应减少化学杀菌剂的使用量,更应努力寻求安全性高、能替代化学杀菌剂的制剂。

2.2 天然杀菌剂控制采后果实褐腐病

随着人类对自身健康和环保意识的不断提高,健康、绿色食品越来越受到欢迎,这使得天然杀菌剂的研究日益受到人们的青睐^[17]。大量研究表明许多天然杀菌剂可以有效的控制褐腐病。以“八月脆”为试材,用3.13、6.25、12.5mg/mL的厚朴提取物处理桃果实,十分有效的抑制了桃果实接种的褐腐病的发生,并且明显诱导了果实中苯丙氨酸解氨酶、几丁质酶和 β -1,3-葡聚糖酶等抗性相关酶活性^[32]。艾启俊等^[1]对中草药处理后的褐腐病菌进行了扫描和透射电镜观察,发现菌丝数量减少甚至断裂,细胞壁变薄或缺失,胞内物质发生变化,证实中草药处理可引起褐腐病菌形态学的明显变化。张殿朋等^[29]用0.1%葡萄籽油和戊唑醇处理桃子,发现两种处理对桃果褐腐病均有较好的控制效果,而且控制效果无显著差异,这表明葡萄籽油具有替代化学杀菌剂的可能性。柚皮提取物对桃果实采后褐腐病也有很好的抑制作用,浓度范围为3.1~50mg/mL的柚皮提取物对桃果褐腐病菌菌丝生长、果实褐腐病发病率及病斑直径扩展都具有显著的抑制作用^[33]。

另外,使用天然物质对果实进行涂膜处理以控制褐腐病的研究也取得了一定的效果,经热处理后的桃果实采用1%壳聚糖涂膜处理,与不进行涂膜的对照果实相比,褐腐病发生率由73%降低到10%^[25]。利用酵母甘露聚糖浸泡处理李果实,能有效抑制李果实褐腐病的病斑扩展^[34]。Gonçalves等^[35]将健康桃、李果实划伤,分别涂膜4.5%和9%的巴西棕榈蜡进行防护,再接种30 μ L褐腐病菌孢子悬浮液贮藏5d后,两种浓度的棕榈蜡均能够完全抑制褐腐病菌孢子的萌发。

3 采后果实褐腐病主要生物防治技术

除了天然防腐剂的开发受到越来越多学者的关注外,目前生物防治手段亦成为采后果实褐腐病防治的研究热点,利用拮抗菌进行采后病害的生物防治以其广阔的应用前景而迅速发展。采后生物防治的拮抗菌主要有细菌、酵母菌和小型丝状真菌。采后生物防治其机理主要是以菌治菌,细菌主要是通过产生抗菌素来控制褐腐病;而拮抗酵母菌主要通过拮抗作用,与褐腐病竞争,进而抑制其生长,以及诱导果实中其相关酶的活性,增强果实抗病性。在众多拮抗菌中,有关枯草芽孢杆菌的研究较多^[36]。用10⁸CFU/mL枯草芽孢杆菌悬浮液处理桃、油桃、杏、李

果实,在贮藏第9d时对照果实已经发病,而枯草芽孢杆菌处理后的果实并未发生褐腐病^[37]。Casals等^[29]用枯草芽孢杆菌CPA-8处理接种有病原菌*Monilinia fructicola*的桃果实,在20 $^{\circ}$ C培养5d后病斑直径只有3.1mm,进而有效的控制了褐腐病的发展。目前其他细菌也被用于控制果实的褐腐病,其中格氏沙雷氏菌可以抑制褐腐病菌*Monilinia fructicola*的生长,从而控制油桃褐腐病的发生^[38]。另外,解淀粉芽孢杆菌可以显著的抑制桃果褐腐病的发生^[39];李子表面潜在的细菌也有相似的控制褐腐病的效果^[40]。

采用酵母控制褐腐病也是一种非常有效的生物防治技术^[13,41-42]。Giobbe等^[42]将毕赤酵母孢子悬浮液喷洒于苹果表面上时,发酵毕赤酵母可以形成一层薄的生物膜,从而可达到控制苹果果实褐腐病的效果。上述研究表明,拮抗细菌和酵母菌都被证实对果蔬采后褐腐病具有显著的抑制效果。随着对拮抗菌研究的进一步深入,新的拮抗菌不断被挖掘。目前拮抗菌进行商业化应用的并不多,生物防治技术作为采后果实褐腐病控制技术应用于生产实际还存在一定的局限和障碍。

4 采后果实复合防治技术

由于单一防治褐腐病技术均有不足,将物理防治与化学防治技术结合控制采后果实褐腐病,在一定程度上填补了其单一技术的缺陷。而其中研究多集中将热处理和化学试剂结合使用控制果实褐腐病。将225 μ g/g的2,6-二氯-4-硝基苯胺(DCNA)与51.5 $^{\circ}$ C热水混合浸泡处理桃、李和油桃果实1.5min,两者增效发生作用,结果复合处理果实的腐烂率仅为7.8%,低于单独51.5 $^{\circ}$ C下处理果实褐腐病的发生率^[5]。另外,Sisquella等^[43]将接种有*Monilinia fructicola*的桃和油桃果实浸泡在40 $^{\circ}$ C、200mg/mL过氧乙酸中40s后果实褐腐病发生率降低至10%以下,这表明过氧乙酸与DCNA一样,通过额外的保护作用,与热处理结合增效,增强果实抗病性,较好的控制褐腐病。

当然,将化学防治与生物防治技术结合控制采后果实褐腐病,在一定程度上也填补了其单一技术的缺陷。Yao^[44]研究表明5 \times 10⁷CFU/mL罗伦隐球酵母与20 μ mol/L的茉莉酸甲酯共同处理桃果实后,通过诱导几丁质酶、B-1,3-葡聚糖酶、PAL和POD活性,增强果实的抗病性,使得桃果实褐腐病得到很好的控制。膜醭毕赤酵母与2%硫酸氢钠或5mmol/L钼酸氢复合处理甜樱桃果实,其控制褐腐病的原因主要在于两种化学试剂可以直接抑制菌丝生长和孢子的萌发,而对膜醭毕赤酵母的活性影响很小^[12]。另外,罗伦隐球酵母与低剂量(15mg/L)的噻苯咪唑复合处理甜樱桃果实控制其褐腐病发生,效果比单独采用15mg/L的噻苯咪唑好^[44];将30%的酒精添加到苯菌灵-DCNA混合液中处理已接种褐腐病菌病原菌的桃果实,可显著降低桃果实褐腐病的发生率^[45]。

将物理、化学、生物综合防治技术通过化学试剂的直接或间接抑菌,增强微生物的活性,在人工气调下或其他物理手段下贮藏将果实褐腐病发生降低到最低,而在这种多种防治技术结合的情况下,其控病

机理较为复杂。例如,将已接种褐腐病菌(*Monilinia laxa*)的桃和油桃果实在含有2%碳酸氢钠的热水中浸泡40s,在伤口处接种 10^7 CFU/mL的枯草芽孢杆菌悬浮液后,在20℃贮藏5d时仅有8%的果实发病;但是在只有2%碳酸氢钠和枯草芽孢杆菌处理下,并未能控制褐腐病的发生;将其放在低温条件下贮藏也未能达到理想的效果^[46]。由此可以看出,综合防治技术由于掺杂着各种技术,其控病机理需要进行深入系统的研究。

如今,通过采前管理技术也可以有效防治采后果实褐腐病的发生,采前直接施用农药是目前常用的褐腐病控制措施,但由于化学杀菌剂的局限,科技工作者致力于采前其他技术的研究。苹果开花期到收获期采用钙处理果树可以有效防治采后果实褐腐病的发生^[44]。另外,Altindaga等^[47]研究表明,杏树枝上接种褐腐病菌*Monilinia laxa*后喷洒芽孢杆菌属的*Burkholderia* OSU-7、*Bacillus* OSU-142和假单胞菌属*Pseudomonas* BA-8等拮抗菌悬浮液,在两年的实验中观察到喷洒拮抗菌的果树褐腐病发生率比其他果树有很大程度地减少,这大大降低了采后杏果实的褐腐病发生率。有学者将采前管理与采后防治结合起来进行综合性防治褐腐病实验,如甜樱桃果实采前喷洒丙环唑,采后用罗伦隐球酵母处理,可以很好地控制其冷藏条件下的褐腐病发生^[13]。

5 展望

综上所述,物理方法如低温贮藏、气调贮藏、热处理、微波处理等对采后果实褐腐病的防治有一定的效果。物理方法处理采后果实无农药残留,安全性高,具有较好的发展前景。化学杀菌剂因其直接杀菌、操作简便、成本低廉、品种多的特点,在采后果实褐腐病的防治中起到重要的作用。但它又受到三个因素的限制:一是长期使用造成耐药性;二是在环境条件适宜病原菌侵入和传播的条件下,防治效果不令人满意;三是容易造成环境污染,因此化学杀菌剂与其他防治技术结合应用在一定程度上可改善单一使用化学杀菌剂对采后果实褐腐病防治的不足。另外,植物源杀菌剂以及生物防治技术的开发和应用也将有希望替代传统化学杀菌剂,其应用效果与化学杀菌剂接近,但对人类和环境来说更加安全,有着广阔的发展前景,但无论是从植物,还是其他生物中提取出来的物质大多是混合物,其组分相当复杂,各种物质的组成将是今后研究的重点和关键。当然,几种技术复合防治褐腐病显示了比单一技术更好的控病效果,将病害防治技术综合应用将是果实褐腐病防治技术未来的发展方向。

参考文献

[1] 艾启俊,吴小虎,于庆华,等. 中草药复配组合处理后褐腐病菌的扫描和透射电镜观察[J]. 食品科学,2007,27(12):179-181.
[2] Chen J J, Zhang S S, Yang X P. Control of brown rot on nectarines by tea polyphenol combined with tea saponin[J]. Crop Protection,2013,45(3):29-35.

[3] Poniatowska A, Michalecka M, Bielenin A. Characteristic of *Monilinia* spp. fungi causing brown rot of pome and stone fruits in Poland[J]. European Journal of Plant Pathology, 2013, 135(4):855-865.
[4] Zhu X Q, Chen X Y, Luo Y, et al. First report of *Monilinia fructicola* on peach and nectarine in China[J]. Plant Pathology, 2005, 54(4):575-575.
[5] Wells J M, Harvey J M. Combination heat and 2,6-Dkhlora-4-Nitroaiiline treatments for control of rhizopus and brown rot of peaches, plums, and nectarines[J]. Phytopathology, 1970, 60(1):116-120.
[6] Hong C, Holtz B A, Morgan D P, et al. Significance of thinned fruit as a source of the secondary inoculum of *Monilinia fructicola* in California nectarine orchards[J]. Plant disease, 1997, 81(5):519-524.
[7] Lane C R. A synoptic key for differentiation of *Monilinia fructicola*, *Monilinia fructigena* and *Monilinia laxa*, based on examination of cultural characters[J]. EPPO Bulletin, 2002, 32(3):489-493.
[8] Vasic M, Duduk N, Ivanovic M S. First Report of Brown Rot Caused by *Monilia polystroma* on Apple in Serbia[J]. Plant Disease, 2013, 97(1):145-145.
[9] 王英祥,王革,曾千春,等. 果实褐腐病的调查与防治研究[J]. 云南农业大学学报, 1998, 13(1):29-32.
[10] 赵晓燕,王颖洁,杨海清,等. 环境条件对桃褐腐病菌生长和分生孢子萌发的影响[J]. 北京农学院学报, 2008, 22(4):34-37.
[11] Xu X M, Bertone C, Berrie A. Effects of wounding, fruit age and wetness duration on the development of cherry brown rot in the UK[J]. Plant Pathology, 2007, 56(1):114-119.
[12] Qin G Z, Tian S P, Xu Y, et al. Combination of antagonistic yeasts with two food additives for control of brown rot caused by *Monilinia fructicola* on sweet cherry fruit[J]. Journal of Applied Microbiology, 2006, 100(3):508-515.
[13] Spotts R A, Cervantes L A, Facticeau T J. Integrated control of brown rot of sweet cherry fruit with a preharvest fungicide, a postharvest yeast, modified atmosphere packaging, and cold storage temperature[J]. Postharvest Biology And Technology, 2002, 24(3):251-257.
[14] Holb I J, Balla B, Vámos A, et al. Influence of preharvest calcium applications, fruit injury, and storage atmospheres on postharvest brown rot of apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 67(5):29-36.
[15] 徐成楠,周宗山,吴玉星,等. 欧李褐腐病病原菌鉴定[J]. 植物病理学报, 2011, 41(6):626-630.
[16] 郝晓娟,高莹,李新风,等. 欧李褐腐病病原菌生物学特性及其寄主范围[J]. 果树学报, 2014, 31(1):101-104.
[17] 郭晓敏. 桃、李果实采后病害发生特点及其控制措施研究[D]. 北京:北京工商大学, 2011:3-9.
[18] 刘志恒,白海涛,杨红,等. 大樱桃褐腐病菌生物学特性研究[J]. 果树学报, 2012, 29(3):423-427.
[19] Sommer N F. Role of controlled environments in suppression of postharvest diseases[J]. Canadian Journal of Plant Pathology,

1985,7(3):331-339.

- [20] Menniti A M, Donati I, Gregori R. Responses of 1-MCP application in plums stored under air and controlled atmospheres [J]. Postharvest biology and technology, 2006, 39(3):243-246.
- [21] Palou L, Crisosto C H, Smilanick J L, et al. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage[J]. Postharvest biology and technology, 2002, 24(1):39-48.
- [22] Smilanick J L, Margosan D M, Mlikota Gabler F. Impact of ozonated water on the quality and shelf-life of fresh citrus fruit, stone fruit, and table grapes[J]. Ozone: science and engineering, 2002, 24(5):343-356.
- [23] Liu J, Sui Y, Wisniewski M, et al. Effect of heat treatment on inhibition of *Monilinia fructicola* and induction of disease resistance in peach fruit[J]. Postharvest biology and technology, 2012, 65(3):61-68.
- [24] Karabulut O A, Smilanick J L, Crisosto C H, et al. Control of brown rot of stone fruits by brief heated water immersion treatments[J]. Crop protection, 2010, 29(8):903-906.
- [25] Casals C, Elmer P A G, Viñas I, et al. The combination of curing with either chitosan or *Bacillus subtilis* CPA-8 to control brown rot infections caused by *Monilinia fructicola*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 64(1):126-132.
- [26] Stevens C, Khan V A, Lu J Y, et al. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches[J]. Crop Protection, 1998, 17(1):75-84.
- [27] Sisquella M, Viñas I, Teixidó N, et al. Continuous microwave treatment to control postharvest brown rot in stone fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86:1-7.
- [28] 何献声. 19种杀菌剂对桃褐腐病离体抑菌活性[J]. 农药, 2011, 50(11):853-854.
- [29] 张殿朋, 韩雪梅, 卢彩鸽, 等. 利用葡萄籽油防治桃子采后褐腐病的研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(5):105-109.
- [30] Adaskaveg J, Förster H, Gubler W, et al. Reduced-risk fungicides help manage brown rot and other fungal diseases of stone fruit[J]. California Agriculture, 2005, 59(2):109-114.
- [31] Mari M, Leoni O, Bernardi R, et al. Control of brown rot on stone fruit by synthetic and glucosinolate-derived isothiocyanates [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(1):61-67.
- [32] 张莉, 冯晓元, 王政军, 等. 采后厚朴提取物处理对桃果实抗病性的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10):136-138.
- [33] 高海艳, 曹建康, 冒春香, 等. 柚皮提取物对桃果实采后褐腐病的抑制作用研究[J]. 食品科技, 2009, 34(10):156-158.
- [34] 孙晓婷, 曹建康, 陈妮, 等. 酵母甘露聚糖处理对李果实褐腐病及贮藏特性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(6):261-264.
- [35] Gonçalves F P, Martins M C, Junior G J S, et al. Postharvest control of brown rot and Rhizopus rot in plums and nectarines using carnauba wax[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(3):211-217.
- [36] 范青. 果实采后病害生物防治及其机理研究[D]. 北京: 中国科学院, 2001:7-79.
- [37] Pusey P L, Wilson C L. Postharvest biological control of stone fruit brown rot by *Bacillus subtilis*[J]. Plant disease, 1984, 68(9):753-756.
- [38] Janisiewicz W J, Buyer J S. Culturable bacterial microflora associated with nectarine fruit and their potential for control of brown rot[J]. Canadian Journal of Microbiology, 2010, 56(6):480-486.
- [39] Zhou T, Schneider K E, Li X Z. Development of biocontrol agents from food microbial isolates for controlling post-harvest peach brown rot caused by *Monilinia fructicola*[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 126(1):180-185.
- [40] Janisiewicz W J, Jurick II W M, Vico I, et al. Culturable bacteria from plum fruit surfaces and their potential for controlling brown rot after harvest[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76(2):145-151.
- [41] Yao H J, Tian S P. Effects of a biocontrol agent and methyl jasmonate on postharvest diseases of peach fruit and the possible mechanisms involved[J]. Journal of Applied Microbiology, 2005, 98(4):941-950.
- [42] Giobbe S, Marceddu S, Scherm B, et al. The strange case of a biofilm-forming strain of *Pichia fermentans*, which controls *Monilinia* brown rot on apple but is pathogenic on peach fruit[J]. FEMS Yeast Research, 2007, 7(8):1389-1398.
- [43] Sisquella M, Casals C, Viñas I, et al. Combination of peracetic acid and hot water treatment to control postharvest brown rot on peaches and nectarines[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 83(9):1-8.
- [44] Chand-Goyal T, Spotts R A. Postharvest biological control of blue mold of apple and brown rot of sweet cherry by natural saprophytic yeasts alone or in combination with low doses of fungicides[J]. Biological Control, 1996, 6(2):253-259.
- [45] Feliciano A, Feliciano A J, Vendrusculo J, et al. Efficacy of ethanol in postharvest benomyl-DCNA treatments for control of brown rot of peach[J]. Plant disease, 1992, 7(3):226-229.
- [46] Casals C, Teixidó N, Viñas I, et al. Combination of hot water, *Bacillus subtilis* CPA-8 and sodium bicarbonate treatments to control postharvest brown rot on peaches and nectarines [J]. European Journal of Plant Pathology, 2010, 128(1):51-63.
- [47] Altindaga M, Sahin M, Esitken A, et al. Biological control of brown rot (*Moniliana laxa* Ehr.) on apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Hac halilo lu) by *Bacillus*, *Burkholderia*, and *Pseudomonas* application under *in vitro* and *in vivo* conditions[J]. Biological Control, 2006, 38(3):369-372.

权威·核心·领先·实用·全面