

# 拮抗酵母菌复合保鲜技术在果蔬保鲜中的应用研究进展

戴莹<sup>1,2</sup>, 王纪华<sup>1,2</sup>, 韩平<sup>1,2</sup>, 王蒙<sup>1,2</sup>, 冯晓元<sup>1,2\*</sup>

(1. 北京农业质量标准与检测技术研究中心, 北京 100097;  
2. 农业部农产品质量安全风险评估实验室(北京), 北京 100097)

**摘要:** 拮抗酵母菌复合保鲜技术是一种有效的新型果蔬保鲜技术, 通过拮抗酵母菌与低浓度的添加剂或诱导剂联合使用可以实现对水果、蔬菜中病原菌的有效防控。该技术不仅克服了单独使用拮抗酵母菌易受环境因素影响、对病原菌控制效果局限等缺陷, 而且减少了添加剂或诱导剂等带来的果蔬残留问题, 在增强拮抗酵母菌抑菌效果的同时降低了拮抗酵母菌的用量, 有效实现安全性能高、抗菌谱广、保鲜成本低等特性, 在新鲜果蔬贮藏保鲜领域有着广阔的应用前景。本文概述了拮抗酵母菌复合保鲜技术的保鲜机制、拮抗酵母菌复合保鲜技术在新鲜果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展, 重点介绍了目前拮抗酵母菌与化学杀菌剂、物理方法、化学盐类、生物保鲜剂联合应用的情况, 并对其在该领域的发展进行了展望。

**关键词:** 拮抗酵母菌; 复合保鲜; 果蔬

## Research progress of composite antagonistic yeast technology application to the preservation of fruits and vegetables

DAI Ying<sup>1,2</sup>, WANG Ji-Hua<sup>1,2</sup>, HAN Ping<sup>1,2</sup>, WANG Meng<sup>1,2</sup>, FENG Xiao-Yuan<sup>1,2\*</sup>

(1. Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Risk Assessment Lab for Agro-products (Beijing), Ministry of Agriculture P. R. China, Beijing 100097, China)

**ABSTRACT:** Composite antagonistic yeasts technology is an effective preservation technology, which can realize the effective prevention and control of pathogens in fruits and vegetables. The technology not only overcomes the defects such as antagonistic yeast alone susceptible to environmental factors and the limitations of pathogen control, but also reduces the residue problems that the additive agents bringing to the fruits and vegetables. Composite antagonistic yeasts technology will have broad prospects in the field of fruits and vegetables' fresh-keeping because of the outstanding advantages of high safety and wide anti-pathogens spectrum. This paper summarized the preservation mechanisms, the research progress and application of composite antagonistic yeasts technology of pathogens in fruits and vegetables, highlighted the applications of antagonistic yeasts combined with chemical fungicides, physical agents, chemical salts and biological

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303075)、农业部农产品质量安全风险评估实验室(北京)开放课题项目(ATFM-KFKT2014004)

**Fund:** Supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303075) and the Open Project of the Risk Assessment Lab for Agro-products (Beijing), Ministry of Agriculture P. R. China (Beijing) (ATFM-KFKT2014004)

\*通讯作者: 冯晓元, 研究员, 博士, 主任助理, 主要研究方向为果品质量与安全。E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

\*Corresponding author: FENG Xiao-Yuan, Professor, Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Room 701, Block A, Beijing Agricultural Building, No.11 Middle Road of Shuguang Huayuan, Haidian District, Beijing 100097, China. E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

fresh-keeping agents and looked into the future of the development of composite antagonistic yeasts technology.

**KEY WORDS:** antagonistic yeast; composite fresh-keeping; fruits and vegetables

## 1 引言

随着生活水平的提高,人们对食品安全的要求逐渐增强,对食品保鲜剂的关注度也越来越高,不再仅仅追求食品贮藏期的延长,更追求对食品原有风味的保留和对食品安全性的保证。新鲜水果和蔬菜作为人们日常生活的重要组成部分,往往由于缺乏有效的保鲜技术导致其在采后贮藏和运输过程中的腐烂和损失率极高。据报道,发达国家的新鲜果蔬采后损失率达到20%~25%,而在发展中国家新鲜果蔬采后损失率约为总产量的20%~50%<sup>[1]</sup>,落后的新鲜果蔬保鲜技术已严重制约了果蔬业的发展。导致新鲜果蔬腐烂的因素主要为病原菌侵染、机械损伤、生理失调等,其中病原菌侵染是引起果蔬腐烂的主要原因<sup>[2-4]</sup>。长期以来,使用化学杀菌剂是控制果蔬病害最为传统的方法,化学杀菌剂的使用不仅使某些病原菌产生抗药性,而且化学杀菌剂导致的农药残留也给新鲜果蔬的安全性和环境的安全性带来隐患,进而可能引起人体致癌、致畸、致突变等一系列健康问题。因此,寻求一种更经济、更安全且无残留的保鲜新技术成为当务之急。

近年来,拮抗酵母菌保鲜技术被认为是一种无公害的生物保鲜技术,其具有对病原菌拮抗效果好、不产生毒素、繁殖能力强、可与化学物质配合使用等多种优势,在控制果蔬采后腐烂的应用上显示出较大的应用潜力<sup>[5,6]</sup>。目前常用的拮抗酵母菌有罗伦隐球酵母(*Cryptococcus laurentii*)<sup>[7]</sup>、黏红酵母(*Rhodotorula glutinis*)<sup>[8]</sup>、膜醭毕赤酵母(*Pichia membranaefaciens*)<sup>[9]</sup>、季也蒙毕赤酵母(*Pichia guilliermondii*)<sup>[10,11]</sup>、柠檬形克勒克酵母(*Kloeckera apiculata*)<sup>[12]</sup>等。然而,尽管拮抗酵母菌在控制果蔬病害方面表现突出,但有研究表明拮抗酵母菌受环境因素影响较大<sup>[13]</sup>,使得在多变的环境条件下,单独使用拮抗酵母菌对新鲜果蔬病害的控制效果与化学杀菌剂相比仍存在一定的差距,限制了拮抗酵母菌的使用<sup>[14]</sup>。因此,拮抗酵母菌复合保鲜技术逐渐成为果蔬保鲜技术研究的热点之一,即通过将拮抗酵母菌与低浓度的添加剂或诱导因子联合使用来实现对果蔬病原菌的控制。这种联用技术不仅减少了添加剂或诱导剂可能存在的残留问题,同时可有效提高拮抗酵母菌的抑菌效果,减少拮抗酵母菌的使用量,降低果蔬保鲜成本,实现保鲜性和安全性的统一,可能成为新鲜果蔬高效保鲜的一条新的有效途径。

## 2 拮抗酵母菌复合保鲜技术的保鲜机制

拮抗酵母菌的保鲜机制主要为拮抗酵母菌与病原菌

在物理位点、生态位点的抢占以及营养物质和氧气的竞争作用<sup>[15]</sup>、拮抗酵母菌对病原菌的拮抗作用<sup>[16,17]</sup>、拮抗酵母菌以吸附生长、缠绕、侵入、消解等形式对病原菌的寄生作用<sup>[18]</sup>以及拮抗酵母菌诱导果蔬产生抗病性<sup>[19]</sup>等作用。而目前拮抗酵母菌复合保鲜技术的相关研究结果表明,其保鲜机制主要表现为诱导抗性作用。新鲜的水果和蔬菜在采后贮藏、运输的过程中,随着自身的衰老,果蔬的抗病性能逐步下降,容易受到病原菌的侵染,通过加入诱导剂可使新鲜果蔬对病原菌产生防御酶,从而获得相对持久的抗性,在果蔬抗病的过程中发挥着重要作用。与抗性相关的防御酶主要包括苯丙氨酸解氨酶、多酚氧化酶、过氧化物酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶、几丁质酶等。在拮抗酵母菌与添加剂、诱导剂联合使用时,这些抗性相关防御酶的含量会显著增加,酶的活性也会显著增强,进而增加果蔬对病原菌的抗病性。除此之外,拮抗酵母菌复合保鲜技术还可诱导果蔬产生酚类等具有抗性的活性物质,提高果蔬对活性氧的耐受,进一步增强拮抗酵母菌复合保鲜技术对病原菌的防控效果<sup>[20,21]</sup>。

## 3 拮抗酵母菌复合保鲜技术在果蔬保鲜中的应用

### 3.1 拮抗酵母菌与化学杀菌剂联合使用

拮抗酵母菌可与噻菌灵<sup>[1]</sup>、苯并噻二唑<sup>[22]</sup>等多种化学杀菌剂联合使用,与低剂量化学杀菌剂联合使用可有效提高拮抗酵母菌对病原菌的防控,达到对果蔬绿色、高效保鲜的目的。孙瑜等<sup>[22]</sup>研究了拮抗酵母菌罗伦隐球酵母与苯并噻二唑联合使用对桃果实青霉病的控制效果。罗伦隐球酵母与100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯并噻二唑进行联合使用与二者单独使用相比,其对病原菌的生防效力明显增强,显著诱导提高了桃果实中过氧化物酶和过氧化氢酶等抗性相关酶的活性,抑制脂质过氧化作用,苯并噻二唑还可轻微促进在桃果实伤口处罗伦隐球酵母的生长。

### 3.2 拮抗酵母菌与物理方法联合使用

热处理是一种常用的果蔬保鲜措施,已经有上百年的使用历史<sup>[23]</sup>,热处理也可作为一种热胁迫或逆境来诱导或提高果蔬的抗病性。研究表明将热处理技术与拮抗酵母菌联合使用后,可进一步增强果蔬的抗病性。Zhou等<sup>[24]</sup>将膜醭毕赤酵母与热处理联合使用对柑橘果实的青霉病进行防控。研究结果显示二者联合处理与单独使用相比,可显著降低病害的发生率,减少病斑的直径,并能有效提高苯丙氨酸解氨酶、多酚氧化酶、几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶

的活性,增加具有抗性的活性物质如酚类化合物的合成。Zhang等<sup>[25]</sup>研究了罗伦隐球酵母菌与热处理联合使用对桃果实青霉病和根霉病的防控效果。研究表明,二者联合使用比单独使用的保鲜效果更好,37℃贮存2d后,采用复合保鲜技术处理后的桃果实青霉菌的发病率为22.5%,单独采用热处理、罗伦隐球酵母处理的桃果实的发病率分别为52.5%和62.5%,而空白对照组的青霉菌发病率则高达92.5%。复合保鲜技术对桃果实的根霉菌同样具有较好的抑制效果,采用复合保鲜技术处理后桃果实根霉菌的发病率仅为5%,保鲜效果明显优于单独使用热处理或罗伦隐球酵母菌处理的实验组。同时研究还显示复合保鲜技术处理对桃果实的品质没有明显影响。目前,热处理与拮抗酵母菌联用处理已成功用于草莓<sup>[26]</sup>、樱桃<sup>[27]</sup>等果蔬的采后贮藏保鲜处理中,有效控制了果蔬中病原菌所导致的病害。

除热处理这一常用的物理方法外,研究者们还将其他物理方法与拮抗酵母菌进行联合使用来对果蔬的保鲜方法进行探索。Zhang等<sup>[28]</sup>研究了罗伦隐球酵母与短波紫外线(UV-C)联合使用对番茄果实中灰霉菌和链格孢菌的防控效果。研究结果显示罗伦隐球酵母与强度为4 kJ/m<sup>2</sup>的UV-C联合使用时较罗伦隐球酵母单独使用能更有效地抑制由灰霉菌和链格孢菌引起的番茄果实腐烂,而且UV-C并不会影响果实伤口处拮抗酵母菌的生长,PCR实时分析还显示UV-C可诱导番茄果实中 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶、苯丙氨酸脱氨酶、过氧化物酶和超氧化物歧化酶等抗性防御酶的表达,进一步增强拮抗酵母菌对病原菌的防控作用。

### 3.3 拮抗酵母菌与生物保鲜剂联合使用

生物保鲜剂是指从动植物、微生物中提取的天然的或利用生物工程技术改造而获得的对病原菌具有抑制和杀灭作用、对人体安全的保鲜剂。生物保鲜剂因其保鲜效果可靠、稳定、安全性能高,在国内外的果蔬贮藏领域得到广泛应用。目前的研究表明将拮抗酵母菌与这一大类具有明确保鲜作用的物质进行联合应用,能更好地发挥对果蔬的保鲜作用。

Lu等<sup>[29]</sup>研究了几丁质与海洋红酵母(*Rhodospiridium paludigenum*)联合使用对苹果果实中扩展青霉的拮抗作用,结果表明,在海洋红酵母的营养酵母培养基中添加几丁质后,可显著提高海洋红酵母的生长效率、明显增强海洋红酵母的拮抗作用、加快海洋红酵母的活性氧代谢,提高苹果中多酚氧化酶和超氧化物歧化酶的活性。Yan等<sup>[30]</sup>研究了黏红酵母与鼠李糖脂联用对樱桃番茄中链格孢菌的防控作用,研究发现黏红酵母与500  $\mu$ g/mL鼠李糖脂联合使用比单独使用黏红酵母或鼠李糖脂对链格孢菌的防控效果好;二者联合使用可显著增强樱桃番茄中过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶的活性,可以减少樱桃番茄链格孢菌的发病率,并促进樱桃番茄表面黏红酵母数量的增长。

Xu等<sup>[31]</sup>的研究显示水杨酸能够显著提高樱桃的几丁质酶、过氧化物酶、谷胱甘肽过氧化物酶等防御酶的活性。Zhang等<sup>[32,33]</sup>研究结果表明水杨酸可以提高黏红酵母的拮抗能力。Zhou等<sup>[34]</sup>研究了膜醭毕赤酵母与水杨酸联用对柑橘青、绿霉的防控作用,发现膜醭毕赤酵母与水杨酸联用无论是采用点接种还是浸泡处理,对青霉菌、绿霉菌的防控效果均优于单独使用膜醭毕赤酵母或者水杨酸;研究还发现水杨酸对柑橘伤口处的膜醭毕赤酵母的生长有促进作用;二者联用可以显著提高防御酶苯丙氨酸解氨酶、过氧化物酶、多酚氧化酶、几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡萄糖苷酶的活性,并加速酚类等抗性活性物质的合成,从而减少了自然侵染的发病率,这种复合保鲜技术不会对果实重量、可滴定酸等果实的品质参数造成明显影响,与此同时膜醭毕赤酵母与水杨酸联用还可提高柑橘果实的总可溶性固形物和抗坏血酸的含量。Ebrahimi等<sup>[35]</sup>研究了美极梅奇酵母菌(*Metschnikowia pulcherrima*)与茉莉酸甲酯联合使用对苹果青霉病的防控效果以及可能的机制,二者联合使用较单独使用时可显著缩小苹果青霉病病斑的直径,并可增加苹果果实伤口处美极梅奇酵母菌的数量,同时联合使用与对照组相比还可诱导增强防御酶的活性,增加果实中总酚的含量,进一步增强果实对病原菌的抗性。Zhang等<sup>[36]</sup>采用黏红酵母与牛蒡低聚果糖联用来控制桃果实的采后腐烂,并对其可能的作用机制进行了研究。研究发现当黏红酵母的培养基中加入0.32%的牛蒡低聚果糖后,黏红酵母对根霉菌和青霉菌的拮抗作用明显提高。单纯在葡萄糖琼脂培养基中培养出的黏红酵母未能显著降低桃的自然腐烂率,而加入0.32%牛蒡低聚果糖的葡萄糖琼脂培养基培养出的黏红酵母则可降低桃果实自然腐烂的发生率。研究还发现无论是在20℃还是4℃下对黏红酵母进行培养,黏红酵母在添加0.32%牛蒡低聚果糖的葡萄糖培养基中的生长速度都比在未添加牛蒡低聚果糖的培养基中的生长速度快。Sukorini等<sup>[37]</sup>研究发现产阮假丝酵母(*Candida utilis*)与丁香提取物进行联合使用可以有效控制柑橘绿霉病。Sansone<sup>[38]</sup>等考察了红酵母菌(*Rhodotorula*)与红酵母酸联用对苹果中扑海因耐受型灰霉菌的作用效果,发现单独使用红酵母菌对扑海因耐受型灰霉菌的作用效果比扑海因敏感型灰霉菌的作用效果弱;但当红酵母菌和红酵母酸联用处理后,可以改善红酵母菌对耐受型灰霉菌的拮抗作用效果。体外实验发现红酵母菌对灰霉菌的孢子萌发具有钝化作用。研究还发现,红酵母菌与红酵母酸联用时可降低果实的腐烂率,单独使用红酵母可将灰霉菌引起的苹果腐烂率降低54%,而将红酵母菌与红酵母酸联合使用则可使苹果的腐烂率降低72%。

### 3.4 拮抗酵母菌与化学盐类联合使用

Geng等<sup>[39]</sup>对比研究了单独使用马克斯克鲁维酵母(*Kluyveromyces marxianus*)、马克斯克鲁维酵母与碳酸氢钠

联合处理对柑橘果实青霉病的生物防治效果。结果表明,当拮抗酵母菌与2%碳酸氢钠联用时较单独使用马克斯克鲁维酵母对青霉菌的抑制作用有所提升。在自然感染试验中,二者联用处理的效果与化学抑菌剂抑霉唑的有效性基本一致,可有效抑制约90%的青霉菌。在柑橘果实伤口处培养72 h后发现,加入2%碳酸氢钠可明显促进马勒斯克鲁维酵母的生长,而且二者联用不会影响果重、果实致密度、总可溶性固体、可滴定酸和抗坏血酸等果实品质参数。包永华等<sup>[40]</sup>以樱桃番茄为试材,用拮抗酵母菌与不同浓度的碳酸氢钠和氯化钙溶液联合使用对樱桃番茄进行处理。研究发现拮抗酵母菌复合保鲜技术可能在一定程度上改变果皮蜡质层的结构,从而减少了果实在贮藏过程中水分的蒸发,抑制樱桃番茄营养物质的消耗,延迟果实采后的衰老过程。Cao等<sup>[41]</sup>研究发现膜醭毕赤酵母和2%CaCl<sub>2</sub>联合处理较单独处理更能有效控制枇杷果实炭疽病,可诱导提高枇杷果实中几丁质酶和 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶等防御酶的活性。在体外实验中还发现在膜醭毕赤酵母悬浮液中添加2%CaCl<sub>2</sub>较二者单独使用更能抑制炭疽菌芽孢数量的增长和芽管的伸长,且并不会影响膜醭毕赤酵母的增殖。Cao等<sup>[42]</sup>还发现在对桃果实表面青霉菌进行防控时,膜醭毕赤酵母和浓度为1 mmol/L 钼酸铵联合使用较单独处理时抑制效果更加明显,同时钼酸铵促进了伤口处膜醭毕赤酵母的增殖,对桃果实品质也有较好的保持作用。

### 3.5 拮抗酵母菌与其他物质联合使用

Conceição等<sup>[43]</sup>研究了橙黄红酵母LMA1(*Rhodotorula aurantiaca*, LMA1)、黏红酵母LMS(*Rhodotorula glutinis*, LMS)、异常毕赤酵母CC-2(*Pichia anomala Kurtzman*, CC-2)和硅联合使用对甜瓜细菌果斑病的拮抗作用,研究结果表明虽然几种拮抗酵母菌联用未出现协同作用,但是橙黄红酵母LMA1和硅联合处理时可很好地控制细菌果斑病,而且控制效果优于化学杀菌剂苯并噁二唑。

## 4 展望

拮抗酵母菌复合保鲜技术作为一种新兴的果蔬保鲜技术正在逐步得到广泛应用。与化学抑菌剂和单独使用拮抗酵母菌相比,拮抗酵母菌复合保鲜技术克服了化学抑菌剂易引起有害物残留的缺点,降低了拮抗酵母菌的使用量,减少了生产成本。同时拮抗酵母菌复合保鲜技术还克服了拮抗酵母菌抗菌谱较窄、使用效果不稳定等缺陷,扩大了拮抗酵母菌的适用范围,提高了拮抗酵母菌的抑菌效率,是一种有效、安全的果蔬保鲜技术。但该技术在新鲜果蔬贮藏保鲜的实际应用方面仍需进一步验证,进一步规范拮抗酵母菌复合保鲜技术在使用过程中的用法、用量,以保证复合保鲜技术的防控效果达到最佳状态;同时,在复合保鲜技术的防控机制研究方面尚有深入研究的空间,为进一步完善拮抗酵母菌复合保鲜技术挖掘出更多可能的防控

途径。

### 参考文献

- [1] 韦莹莹,毛淑波,屠康. 果蔬采后病害生物防治的研究进展[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 183-189.  
Wei YY, Mao SB, Tu K. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists[J]. J Nanjing Agric Univ, 2012, 35(5): 183-189.
- [2] Lima JR, Gondim DMF, Oliveira JTA, et al. Use of killer yeast in the management of postharvest papaya anthracnose [J]. Posth Biol Technol, 2013, 83: 58-64.
- [3] Cecilia Lutz M, Lopes CA, Eugenia Rodriguez M, et al. Efficacy and putative mode of action of native and commercial antagonistic yeasts against postharvest pathogens of pear [J]. Int J Food Microbiol, 2013, 164(2-3): 166-172.
- [4] Platania C, Restuccia C, Muccilli S, et al. Efficacy of killer yeasts in the biological control of *Penicillium digitatum* on Tarocco orange fruits (Citrus sinensis) [J]. Food Microbiol, 2012, 30(1): 219-225.
- [5] Lu LF, Ye CZ, Guo SH, et al. Preharvest application of antagonistic yeast *Rhodospiridium paludigenum* induced resistance against postharvest diseases in mandarin orange [J]. Biol Control, 2013, 67: 130-136.
- [6] Tu QH, Chen JY, Guo JH. Screening and identification of antagonistic bacteria with potential for biological control of *Penicillium italicum* of citrus fruits [J]. Sci. Hortic, 2013, 150: 125-129.
- [7] Wei YY, Mao SB, Tu K. Effect of preharvest spraying *Cryptococcus laurentii* on postharvest decay and quality of strawberry [J]. Biol Control, 2014, 73: 68-74.
- [8] Zhang HY, Wang L, Dong Y, et al. Postharvest biological control of gray mold decay of strawberry with *Rhodotorula glutinis* [J]. Biol Control, 2007, 40: 287-292.
- [9] Luo Y, Zhou YH, Zeng KF. Effect of *Pichia membranaefaciens* on ROS metabolism and postharvest disease control in citrus fruit [J]. Crop Prot, 2013, 53: 96-102.
- [10] Zhang DP, Spadaro D, Valente S, et al. Characterization and expression of an exo-1, 3-b-glucanase gene from the antagonistic yeast, *Pichia guilliermondii* strain M8 against grey mold on apples [J]. Biol Control, 2011, 59: 284-293.
- [11] Nantawanit N, Chanchaichaovivat A, Panijpan B, et al. Induction of defense response against *Colletotrichum capsici* in chili fruit by the yeast *Pichia guilliermondii* strain R13 [J]. Biol Control, 2010, 52: 145-152.
- [12] Liu P, Luo L, Long CA. Characterization of competition for nutrients in the biocontrol of *Penicillium italicum* by *Kloeckera apiculata* [J]. Biol Control, 2013, 67: 157-162.
- [13] Robiglio A, Cristina Sosa M, Cecilia Lutz M, et al. Yeast biocontrol of fungal spoilage of pears stored at low temperature [J]. Int J Food Microbiol, 2011, 147(3): 211-216.
- [14] Guo J, Fang W, Lu H, et al. Inhibition of green mold disease in mandarins by preventive applications of methyl jasmonate and antagonistic yeast *Cryptococcus laurentii* [J]. Postharvest Biol Technol, 2014, 88: 72-78.
- [15] Bautista-Rosales PU, Calderon-Santoyo M, Servin-Villegas, et al. Action mechanisms of the yeast *Meyerozyma caribbica* for the control of the phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides* in mangoes [J]. Biol Control, 2013, 65: 293-301.
- [16] 周雅涵,罗杨,曾凯芳. 拮抗酵母菌对果蔬采后病害生防增效途径及机理研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 362-365.  
Zhou YH, Luo Y, Zeng KF. Recent advances in research on approaches

- and mechanisms of improving biocontrol efficacy of antagonistic yeasts against postharvest diseases of fruits and vegetables [J]. *Food Sci*, 2011, 32(17): 362–365.
- [17] Nally MC, Pesce VM, Maturano YP, *et al.* Biocontrol of *Botrytis cinerea* in table grapes by non-pathogenic indigenous *Saccharomyces cerevisiae* yeasts isolated from viticultural environments in Argentina [J]. *Posth Biol Technol*, 2012, 64: 40–48.
- [18] Lassois L, de Lapeyre de Bellaire L, Jijakli MH. Biological control of crown rot of bananas with *Pichia anomala* strain K and *Candida oleophila* strain O [J]. *Biol Control*, 2008, 45: 410–418.
- [19] Jiang F, Zheng XD, Chen JS. Microarray analysis of gene expression profile induced by the biocontrol yeast *Cryptococcus laurentii* in cherry tomato fruit [J]. *Gene*, 2009, 430: 12–16.
- [20] Sui Y, Liu J, Wisniewski M, *et al.* Pretreatment of the yeast antagonist, *Candida oleophila*, with glycine betaine increases oxidative stress tolerance in the microenvironment of apple wounds [J]. *Int J Food Microbiol*, 2012, 157 (1): 45–51.
- [21] Li RP, Zhang HY, Liu WM, *et al.* Biocontrol of postharvest gray and blue mold decay of apples with *Rhodotorula mucilaginosa* and possible mechanisms of action [J]. *Int J Food Microbiol*, 2011, 146(2): 151–156.
- [22] 孙瑜, 潘文秀, 唐云, 等. 苯并咪唑结合罗伦隐球酵母对桃果采后青霉病的控制[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(13): 296–299.  
Sun Y, Pan WX, Tang Y, *et al.* Control of postharvest blue mold decay of peaches by 2,1,3-Benzothiadiazole in combination of *Cryptococcus laurentii* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(13): 296–299.
- [23] Paull RE, Chen NJ. Heat treatment and fruit ripening [J]. *Posth Biol Technol*, 2000, 21(1): 21–37.
- [24] Zhou YH, Deng LL, Zeng KF. Enhancement of biocontrol efficacy of *Pichia membranaefaciens* by hot water treatment in postharvest diseases of citrus fruit [J]. *Crop Prot*, 2014, 63: 89–96.
- [25] Zhang HY, Wang L, Zheng XD, *et al.* Effect of yeast antagonist in combination with heat treatment on postharvest blue mold decay and *Rhizopus* decay of peaches [J]. *Int J Food Microbiol*, 2007, 115: 53–58.
- [26] Zhang HY, Zheng XD, Wang L, *et al.* Effect of yeast antagonist in combination with hot water dips on postharvest *Rhizopus* rot of strawberries [J]. *J Food Eng*, 2007, 78: 281–287.
- [27] 静玮. 采后热水喷淋处理及与拮抗菌结合在甜樱桃贮藏保鲜上的应用[D]. 南京: 南京农业大学, 2008: 39–52.  
Jing W. Studies on postharvest hot water rinsing and brushing treatment and combination with yeast antagonist on preservation of sweet cherry fruits [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008: 39–52.
- [28] Zhang CF, Chen KS, Wang GL. Combination of the biocontrol yeast *Cryptococcus laurentii* with UV-C treatment for control of postharvest diseases of tomato fruit [J]. *Bio Control*, 2013, 58: 269–281.
- [29] Lu HP, Lu LF, Zeng LZ, *et al.* Effect of chitin on the antagonistic activity of *Rhodospiridium paludigenum* against *Penicillium expansum* in apple fruit [J]. *Posth Biol Technol*, 2014, 92: 9–15.
- [30] Yan FJ, Xu SX, Chen YS, *et al.* Effect of rhamnolipids on *Rhodotorula glutinis* biocontrol of *Alternaria alternata* infection in cherry tomato fruit [J]. *Posth Biol Technol*, 2014, 97: 32–35.
- [31] Xu XB, Tian SP. Salicylic acid alleviated pathogen induced oxidative stress in harvested sweet cherry fruit [J]. *Posth Biol Technol*, 2008, 49(3): 379–385.
- [32] Zhang HY, Ma LC, Wang L, *et al.* Biocontrol of gray mold decay in peach fruit by integration of antagonistic yeast with salicylic acid and their effects on postharvest quality parameters [J]. *Biol Control*, 2008, 47(1): 60–65.
- [33] Zhang HY, Ma LC, Turner M, *et al.* Salicylic acid enhances biocontrol efficacy of *Rhodotorula glutinis* against postharvest *Rhizopus* rot of strawberries and the possible mechanisms involved [J]. *Food Chem*, 2010, 122(3): 577–583.
- [34] Zhou YH, Ming J, Deng LL, *et al.* Effect of *Pichia membranaefaciens* in combination with salicylic acid on postharvest blue and green mold decay in citrus fruits [J]. *Biol Control*, 2014, 74: 21–29.
- [35] Ebrahimi L, Etebarian HR, Aminian H, *et al.* Effect of *Metschnikowia pulcherrima* and methyl jasmonate on apple blue mold disease and the possible mechanisms involved [J]. *Phytoparasitica*, 2013, 41(5): 515–519.
- [36] Zhang HY, Liu ZY, Xu BT, *et al.* Burdock fructooligosaccharide enhances biocontrol of *Rhodotorula mucilaginosa* to postharvest decay of peaches [J]. *Carbohydr Polym*, 2013, 98: 366–371.
- [37] Sukorini H, Sangchote S, Khewkhom N. Control of postharvest green mold of citrus fruit with yeasts, medicinal plants and their combination [J]. *Posth Biol Technol*, 2013, 79: 24–31.
- [38] Sansone G, Rezza I, Calvente V, *et al.* Control of *Botrytis cinerea* strains resistant to iprodione in apple with rhodotorulic acid and yeasts [J]. *Posth Biol Technol*, 2005, 35: 245–251.
- [39] Geng P, Chen SH, Hu MY, *et al.* Combination of *Kluyveromyces marxianus* and sodium bicarbonate for controlling green mold of citrus fruit [J]. *Int J Food Microbiol*, 2011, 151: 190–194.
- [40] 包永华, 陆芝娟, 周铭琪. 酵母菌复合保鲜剂对樱桃番茄保鲜效果的影响[J]. *北方园艺*, 2013(1): 137–139.  
Bao YH, Lu ZJ, Zhou MQ. Study on the application of composite yeast antistaling agent on the preservation of cherry tomatoes [J]. *Northern Hortic*, 2013(1): 137–139.
- [41] Cao SF, Zheng YH, Tang SS, *et al.* Improved control of anthracnose rot in loquat fruit by a combination treatment of *Pichia membranifaciens* with CaCl<sub>2</sub> [J]. *Int J Food Microbiol*, 2008, 126: 216–220.
- [42] Cao SF, Yuan YJ, Hu ZC, *et al.* Combination of *Pichia membranifaciens* and ammonium molybdate for controlling blue mould caused by *penicillium expansum* in peach fruit [J]. *Int J Food Microbiol*, 2010, 141(3): 173–176.
- [43] Conceição CS, Felix KCS, Mariano RLR, *et al.* Combined effect of yeast and silicon on the control of bacterial fruit blotch in melon [J]. *Sci Hortic*, 2014, 174: 164–170.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



戴莹, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品安全检测技术研究。  
E-mail: yingdai100@163.com



冯晓元, 博士, 研究员, 主任助理, 主要研究方向果品质量与安全。  
E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com