

# 拮抗酵母菌防治果蔬采后病害的研究

林晓敏, 谭晓荣

(河南工业大学 生物工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**果蔬采后病害往往造成巨大的经济损失,通常采用的化学杀菌剂有一定的毒性,影响人体健康且造成环境污染,因此无毒无污染的酵母菌作为生防制剂用于拮抗果蔬采后病菌有着广泛的应用前景。该文综述了拮抗酵母在防治果蔬采后病害方面的研究进展,主要包括拮抗酵母的种类、筛选、作用方式、拮抗机制以及如何提高其生防效力等几个方面,分析了应用拮抗酵母菌存在的问题,并对其商业化前景进行了展望。

**关键词:**拮抗酵母;果蔬采后病害;拮抗机制;生防效力

**中图分类号:**S 436.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)01-0182-05

新鲜果蔬具有很高的营养和保健价值,尽管现代化储藏技术越来越先进,但在收获及贮藏过程中新鲜果蔬营养和水分流失十分严重。据估计,我国采后处理过程中由病原菌引起的腐烂造成的损失高达30%,即使在发达国家,果蔬损失率也高达20%~25%<sup>[1]</sup>。因此如何减少采后果蔬病害,降低经济损失,保证果蔬采后品质及风味,具有非常重要的研究意义和价值。目前,采后果蔬病害主要控制方法是化学防治,此方法虽然使用方便、高效,但是长期使用病原菌会产生抗性,化学残留也威胁着人类健康,同时对环境造成污染<sup>[2]</sup>。随着人们对食品安全及营养要求越来越高,更加关注健康及环境保护问题,化学杀菌剂的使用将越来越受到排斥甚至限制。寻找安全、无毒的防治采后果蔬病害的方法至关重要,对环境友好的生物防治方法,即用拮抗微生物代替化学杀菌剂,近年来越来越受到重视,成为一种发展趋势。拮抗酵母菌是其中的一种,可用来防治果蔬采后病害,其主要优点是在较干燥的果蔬表面生存,能利用营养迅速繁殖并且拮抗效果好,不产生毒素,可以和化学杀菌剂共同使用。然而拮抗酵母菌由于使用不方便,成本高,使其应用受到较大限制,因此,如何提高拮抗酵母菌生防效力是拮抗酵母工业化应用的关键性问题。

## 1 拮抗酵母菌的应用

### 1.1 拮抗酵母菌的种类

据研究报道具有拮抗效力的酵母菌有几十种,它们主要分布在假丝酵母属(*Candida*)、隐球酵母属(*Cryptococcus*)、梅奇酵母属(*Metschnikowia*)、毕赤酵母属(*Pichia*)和红酵母属(*Rhodotorula*)<sup>[3]</sup>。de Capdeville等<sup>[4]</sup>从木瓜果实和叶子表面分离隐球酵母(*Cryptococcus magnus*)菌株,接种于经苹果炭疽病菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)处理的木瓜果实上,发现其病害发生率明显降低。Úbeda等<sup>[5]</sup>从古老的酿酒厂分离了一株毕赤酵母(*P. kudriavzevii*),对所有分析的霉菌都有抑制作用。近年来已筛选出多株拮抗酵母菌,如表1所示。

### 1.2 拮抗酵母菌的筛选

筛选有拮抗效力的酵母菌至关重要。拮抗酵母的分离来源有土壤、果蔬叶子、果蔬表面等。最早报道快速筛选拮抗酵母的方法是用清洗果蔬的残渣水处理接种了灰葡萄孢菌的伤口,分离出有拮抗效力的微生物<sup>[16]</sup>。拮抗酵母菌一般是从果蔬表面筛选有拮抗效力的微生物种群,而拮抗微生物主要在果蔬伤口生长繁殖,从伤口处分离筛选大量有潜在拮抗效力的拮抗酵母,控制采后病害既省时又经济,已被广泛采用。筛选拮抗酵母菌的方法通常有生物化学方法和分子生物学方法,最关键的分子生物学方法是根据核糖体基因5.8S、18S和26S的变异性来识别拮抗酵母的种类,然后用生物化学方法进行验证<sup>[17]</sup>。用分子技术可以在较短时间筛选出有效的拮抗酵母,如Schena等<sup>[18]</sup>研究发现RAPD-PCR和AP-PCR技术可以分离形态学特征相同但基因型不同的拮抗酵母菌和分离出基因型相似的拮

**第一作者简介:**林晓敏(1988-),女,硕士研究生,现主要从事植物病理等研究工作。E-mail: xiaominlin88@163.com.

**责任作者:**谭晓荣(1972-),女,博士,副教授,现主要从事植物病理等研究工作。E-mail: tanxr2012@gmail.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31201409;31401546);河南省青年骨干教师资助项目。

**收稿日期:**2014-10-13

表 1 已报道的具有控制果蔬采后病害作用的拮抗酵母

Table 1 Aatagonistic yeasts had been reported with the function of control to postharvest diseases of fruits and vegetables

拮抗酵母名称 Antagonistic yeast name	所属种类 Species	来源 Origin	防治病害 Controlling disease	防治效果 Cotrolling effect	保护果蔬种类 Protecting fruit and vegetable species	参考文献 References
黏红酵母 <i>Rhodotorula glutinis</i> (Y-44)	<i>Rhodotorula</i>	西红柿叶子	灰霉病 <i>Botrytis cinerea</i>	抑制率 50%	西红柿	[6]
橄榄假丝酵母	<i>Candida</i>	西红柿表面	绿霉病 <i>Penicillium digitatum</i>	完全抑制孢子萌发	柑橘	[7]
<i>Candida oleophila</i>	<i>Candida</i>	西红柿表面	绿霉病 <i>Penicillium digitatum</i>	完全抑制孢子萌发	梨	[7]
异常毕赤酵母 <i>Pichia anomala</i> (YT73)	<i>Pichia</i>	柑橘果实表面	绿霉病 <i>Penicillium digitatum</i>	大约 60%	柑橘	[8]
汉逊德巴利酵母 <i>Debaryomyces hansenii</i> (YT22)	<i>Debaryomyces</i>	柑橘果实表面	绿霉病 <i>Penicillium digitatum</i>	大约 60%	柑橘	[8]
季也蒙有孢汉逊酵母	<i>Hanseniaspora</i>	柑橘果实表面	绿霉病 <i>Penicillium digitatum</i>	大约 60%	柑橘	[8]
<i>Hanseniaspora guilliermondii</i> (YT13)	<i>Hanseniaspora</i>	柑橘果实表面	绿霉病 <i>Penicillium digitatum</i>	大约 60%	梨	[8]
美极梅奇酵母	<i>Metschnikowia</i>	金冠苹果表面	灰霉病 <i>B. cinerea</i>	明显抑制腐烂	苹果	[9]
<i>Metschnikowia pulcherrima</i> MACH1	<i>Metschnikowia</i>	金冠苹果表面	交链孢霉腐烂 <i>A. alternata</i>	明显抑制腐烂	苹果	[9]
浅白隐球酵母	<i>Cryptococcus</i>	冷藏梨果实	青霉病 <i>P. expansum</i>	明显抑制病害	梨	[10]
<i>Cryptococcus albidus</i> (NPCC1248)	<i>Cryptococcus</i>	冷藏梨果实	灰霉病 <i>B. cinerea</i>	明显抑制病害	梨	[10]
膜璞毕赤酵母 <i>Pichia membrani faciens</i>	<i>Pichia</i>	冷藏梨果实	灰霉病 <i>B. cinerea</i>	明显抑制病害	梨	[10]
发酵毕赤酵母 <i>Pichia fermentans</i> 726	<i>Pichia</i>	葡萄酒	褐腐病 <i>Monilinia brown rot</i>	明显较少感染	苹果	[11]
库德里阿兹威毕赤酵母 <i>Pichia kudriavzevii</i>	<i>Pichia</i>	酿酒厂	moulds	明显减少感染	果实	[12]
葡萄酒汉逊氏酵母 <i>Hanseniaspora uvarum</i>	<i>Hanseniaspora</i>	葡萄果实表面	灰霉病腐烂 <i>B. cinerea</i>	完全抑制发病	葡萄	[13]
卡利比克毕赤酵母 <i>Pichia caribbica</i>	<i>Pichia</i>	果园土壤	根霉腐烂 <i>Rhizopus stolonifer</i>	明显较少感染	桃子	[14]
海洋红酵母	<i>Rhodospiridium</i>	东海南部	绿霉病 <i>P. digitatum</i>	明显减少发病	桔子	[15]
<i>Rhodospiridium paludigenum</i>	<i>Rhodospiridium</i>	东海南部	青霉病 <i>P. expansum</i>	明显较少发病	桔子	[15]

抗酵母菌,只需要少量模板 DNA,快速提取 DNA,分析大量的分离物,从而筛选出所需要的拮抗酵母菌,此方法筛选出的拮抗酵母菌既有拮抗效力又节省时间,很有应用前景。如已筛选出的梅奇酵母 (*Metschnikowia* LS15) 处理新鲜葡萄很明显减少灰霉发病率,与对照组相比发病率可减少 28.3%~38.2%。

### 1.3 拮抗酵母菌的应用方式

目前,商业化微生物制剂主要是以液体和干粉 2 种形式储藏和运输,如已投放市场的拮抗酵母菌“As-pire”和“Bio-Save11”采用固体菌剂的方式保存, Torres 等<sup>[19]</sup>研究制备的商业化应用的清酒假丝酵母 (*C. sake*) 液体剂型有很高的生防效力。拮抗酵母菌的使用时间也很关键,通常是采前应用。由于果蔬在田间生长期部分病原菌就已经侵入其花或果实,采前应用拮抗酵母菌可以减少果蔬在田间生长时受到潜伏病原菌的侵染,比采后应用更有利于控制病菌感染,并且仍能有效防止果蔬在储运过程中采后病原菌的二次侵染<sup>[20]</sup>。采前处理与其它方法结合可有效抑制采后果蔬腐烂,如结合采前喷洒罗伦隐球酵母 (*C. laurentii*) 和采后用壳聚糖包裹处理对控制葡萄腐烂和保持食用品质效果明显,最有应用前景<sup>[21]</sup>。汪志浩等<sup>[22]</sup>发现拮抗酵母菌 (WJ-1) 菌悬液的不同配制载体和应用时间对控制哈密瓜果实腐烂十分关键,在哈密瓜发病前用拮抗酵母处理控制哈密瓜软腐病

效果好,试验表明若病原菌先于拮抗菌接种,控制病害的效果很差,发病率甚至高于对照组。

### 1.4 拮抗酵母菌的作用机制

拮抗酵母作用机制的研究对其以后发展应用至关重要,生物防治本身有其复杂性,大体分为竞争、占领、拮抗、诱导和重寄生几个方面,现对已研究报道的作用机制做一总结,具体如下:1)分泌致死毒素抑制病菌生长。如光滑假丝酵母 (*C. glabrata* NCYC388) 分泌毒素可以抑制青霉病和灰霉病<sup>[10]</sup>。2)与病原微生物竞争营养与空间,是抵抗病原菌的重要机制。3)拮抗酵母菌分泌胞外水解酶,如几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶等来分解病原菌的细胞壁或菌丝体,如异常毕赤酵母的菌株 K 能抵抗灰葡萄孢,其保护作用与  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性有关<sup>[16]</sup>。研究表明用生物防治剂 (BCA) 产物细胞溶解素酶可以破坏病原菌细胞壁并且抑制芽孢形成,从而抑制果蔬采后病原菌<sup>[23]</sup>。4)诱导宿主产生抗性。如卡利比克毕赤酵母 (*P. caribbica*) 应用在梨果实上使其产生抗性,从而防御根霉腐烂<sup>[14]</sup>。Arras<sup>[24]</sup>从无花果叶子上筛选的无名假丝酵母 (*C. famata* F3. 5) 可以在桔子果实损伤处迅速定殖,有吞噬和溶解青霉菌菌丝的作用,且能诱导宿主产生抗性,刺激果实产生植物抗生素香豆精和茛菪亭。5)抵抗氧化胁迫,研究表明采后病害导致果蔬产生高水平的活性氧 (reactive oxygen species, ROS),引起细胞成

分包括蛋白质、脂肪、核酸的氧化损伤从而导致细胞功能的损害,而用拮抗酵母假丝酵母菌和甘氨酸甜菜碱结合预处理受损苹果可以减少分子内 ROS 的积累,提高苹果损伤后引起的抗氧化反应<sup>[25]</sup>。6)在果实损伤处形成拮抗酵母生物膜。Giobbe 等<sup>[26]</sup>把发酵毕赤酵母(*P. fermentans* 726)注入人为损伤的苹果会形成酵母形状细胞的致密层,对桃褐腐菌(*M. fructicola*)的拮抗方式表现在酵母细胞粘附在一起形成机械障碍干扰病原菌芽孢及芽管生长。7)抑制病原菌芽孢发芽。如苹果中发病机理相关基因(PR-8)在毕赤酵母中表达的几丁质酶可以抑制灰葡萄孢菌(*B. cinerea*)芽孢形成<sup>[27]</sup>。

拮抗酵母菌的拮抗作用往往是多种机制共同影响的结果。如毕赤酵母抑制采后桃子病害的机制不仅与营养与空间竞争有关,而且还与诱导防御相关酶过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、苯丙氨酸氨裂解酶(PAL)来加强病害控制有关<sup>[14]</sup>。马克斯克鲁维酵母(*Kluyveromyces marxianus*)对柑橘绿霉病菌的抑菌机制是与病原菌营养和空间的竞争以及诱导抗病性相关酶有关,接种拮抗菌与病原菌能够诱导柑橘果实多酚氧化酶(PPO)、POD 和 PAL 活性的升高,这些酶可以降解病原菌的细胞壁,从而抑制病原菌生长<sup>[28]</sup>。

## 2 提高拮抗酵母拮抗效力的途径和方法

单独使用拮抗酵母控制果蔬采后病害效果往往不如化学杀菌剂,从而限制了拮抗酵母菌的应用。因此,必须提高拮抗酵母的拮抗效力,其方法主要有:几种拮抗酵母菌混合使用;构建重组酵母或基因工程酵母改善拮抗酵母的拮抗效力;与化学、物理处理方式配合提高生防效力等。

### 2.1 几种酵母菌混合或与拮抗细菌结合使用

有些拮抗酵母菌单独使用拮抗效力不强,但几种拮抗酵母菌混合使用可以提高生防效力,如美极梅奇酵母和罗伦隐球酵母混合使用比单独使用控制采后苹果青霉菌腐烂效果好,二者结合碳酸氢钠(SBC)且在商业气控(controlled atmosphere, CA)储藏条件下抑制青霉腐烂效果更好<sup>[29]</sup>。Calvo 等<sup>[30]</sup>研究表明拮抗剂细菌水生拉恩菌(*Rahnella aquatilis*)与黏红酵母结合可以提高对苹果青霉菌及灰霉腐烂的控制。

### 2.2 重组酵母及基因工程酵母

酵母基因改良对于提高拮抗酵母的生防效力也很关键。Zhang 等<sup>[31]</sup>用 PCR 方法从灰葡萄孢霉菌株中获得激发子 pebc1,将其亚克隆到毕赤酵母分泌性表达载体 pPIC9K 形成 pPIC9K-pebC1 重组质粒,电击转到毕赤酵母菌宿主菌 GS115,获得的重组毕赤酵母菌 GS115/pPIC9K-pebC1,可以诱导黄瓜和拟南芥对灰霉病的抵抗

力。Janisiewicz 等<sup>[32]</sup>证明表达 PsdI 抗菌肽的毕赤酵母重组株可以抑制由青霉引起的苹果腐烂。Ren 等<sup>[33]</sup>用重组毕赤酵母表达抗菌肽 A(GS115/CEC),与对照组相比明显抑制苹果扩展青霉菌引起的腐烂。Jones 等<sup>[34]</sup>发现表达抗菌肽的酵母转化株可以抑制炭疽菌芽孢发芽并抑制西红柿腐烂,可见用表达抗菌肽的酵母防治果蔬采后病害很有应用前景。分子技术的应用在拮抗酵母接种物的大量生产中很有价值。

### 2.3 与化学处理方法结合使用

拮抗酵母结合特定的化学物质如甘氨酸甜菜碱(GB)、水杨酸(SA)、茉莉酸甲酯(MeJA)、碳酸氢钠、氯化钙等可以大幅度提高生防效力。果蔬受损后会产生大量的 ROS,而是许多生物体的渗透保护剂,Liu 等<sup>[35]</sup>将 GB 处理过的拮抗酵母(*Cystofilobasidium infirmominiatum*)应用在受损的苹果上,可以增强拮抗酵母细胞(*C. infirmominiatum*)一些抗氧化酶的活性,如 CAT、超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GPX),并且也提高了其氧化应激耐受性及其生防效力,与对照组相比可以明显减少苹果青霉菌病害。Yu 等<sup>[36]</sup>用罗伦隐球酵母(*C. laurentii*)与 SA 结合使用可以提高该酵母对梨果实扩展青霉和灰葡萄孢的生防效力。Guo 等<sup>[37]</sup>把预防试剂茉莉酸甲酯与罗伦隐球酵母(*C. laurentii*)结合使用可明显减少柑橘果实绿霉发病率,茉莉酸甲酯也可明显提高美极梅奇酵母(*M. pulcherrima*)对苹果青霉菌的生防效力,比二者单独使用效果好<sup>[38]</sup>。2%的碳酸氢钠可以明显提高马克斯克鲁维酵母(*K. marxianus*)对柑橘状青霉的生防效力<sup>[39]</sup>,也可以使罗伦隐球酵母或者丛生丝孢酵母菌(*Trichosporon pullulans*)对梨果实扩展青霉和链隔孢(*Alternaria alternata*)的生防效力明显增强<sup>[40]</sup>。Yu 等<sup>[41]</sup>证明采后梨果实用壳聚糖可以减少青霉腐烂,拮抗酵母菌与壳聚糖结合使用可以相互产生有利影响,比单独使用效果更稳定效力更好。氯化钙也有抵抗病原菌的作用,且氯化钙结合拮抗酵母及壳聚糖应用,防治梨果实采后腐烂效果更好。

### 2.4 与物理方法结合使用

物理处理方法,如改变物理储藏条件,和生物防治结合效果比单独使用生防效力明显增强,Zhang 等<sup>[42]</sup>证明季也蒙毕赤酵母(*P. guilliermondii*)与热处理结合可以更好控制采后樱桃番茄灰霉腐烂、黑点腐烂及根霉腐烂。Xu 等<sup>[43]</sup>的研究表明紫外线照射处理(UV-C)可明显增强季也蒙假丝酵母(*C. guilliermondii*)对采后梨果实扩展青霉(*P. expansum*)和灰葡萄孢菌(*B. cinerea*)抵抗力。采用低温、气调等是另一种行之有效的方法,罗伦隐球酵母(*C. laurentii*)在此胁迫下减少了海藻糖的积



累可以提高拮抗酵母的生防效力<sup>[44]</sup>。微波处理也可以增强罗伦隐球酵母(*C. laurentii*)对梨果实匍枝根霉(*R. stolonifer*)防治效果,二者结合作用可达到化学杀菌剂同样效果<sup>[45]</sup>。

### 3 结论

在果蔬采后病害控制过程中,生物防治是最有应用前景的,此方法相对于化学合成杀虫剂更为健康环保,符合现代消费者的消费理念和需求。化学杀虫剂的限用会有利于生防治剂的产业发展,生物制剂结合物理方法、低剂量的化学合成药剂或微细菌物质效果更好<sup>[20]</sup>。利用生理学诱导方法可以加快拮抗酵母生物制剂的商业化应用,例如有研究报道海洋红酵母(*R. paludigenum*)可以在用氯化钠溶质改善的培养基中快速生长,可以抑制水果采后病原菌的生长<sup>[46]</sup>。但是,开发新的防治农产品病害方法,主要是生物防治药剂将会是持久的,研制高效经济的拮抗酵母抑菌剂还需大量探索,通过不断深入研究其机理同时进行安全性评估,拮抗酵母菌最终会取代化学杀菌剂的使用。

### 参考文献

- [1] Sharma R R, Singh D, Singh R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review [J]. Biological Control, 2009, 50(3): 205-221.
- [2] Veneziano A, Vacca G, Arana S, et al. Determination of carbendazim, thiabendazole and thiophanate-methyl in banana (*Musa acuminata*) samples imported to Italy [J]. Food Chemistry, 2004, 87(3): 383-386.
- [3] 余挺. 提高罗伦隐球酵母拮抗效力的途径及其机理的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [4] de Capdeville G, Souza J M T, Santos J R P, et al. Selection and testing of epiphytic yeasts to control anthracnose in post-harvest of papaya fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 111(2): 179-185.
- [5] Úbeda J, Maldonado M, Briones A, et al. Bio-prospecting of Distillery Yeasts as Bio-control and Bio-remediation Agents [J]. Curr Microbiol, 2014, 68(5): 594-602.
- [6] Kalogiannis S, Tjamos S E, Stergiou A, et al. Selection and evaluation of phyllosphere yeasts as biocontrol agents against grey mould of tomato [J]. Eur J Plant Pathol, 2006, 116(1): 69-76.
- [7] Bar-Shimon M, Yehuda H, Cohen L, et al. Characterization of extracellular lytic enzymes produced by the yeast biocontrol agent *Candida oleophila* [J]. Curr Genet, 2004, 45(3): 140-148.
- [8] Taqarort N, Echairi A, Chaussod R, et al. Screening and identification of epiphytic yeasts with potential for biological control of green mold of citrus fruits [J]. World J Microbiol Biotechnol, 2008, 24(12): 3031-3038.
- [9] Spadaro D, Sabetta W, Acquadro A, et al. Use of AFLP for differentiation of *Metschnikowia pulcherrima* strains for postharvest disease biological control [J]. Microbiological Research, 2008, 163(5): 523-530.
- [10] Lutz M C, Lopes C A, Rodriguez M E, et al. Efficacy and putative mode of action of native and commercial antagonistic yeasts against postharvest pathogens of pear [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 164(2-3): 166-172.
- [11] 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.
- [12] Úbeda J, Maldonado M, Briones A, et al. Bio-prospecting of distillery yeasts as bio-control and bio-remediation agents [J]. Curr Microbiol, 2014, 68(5): 594-602.
- [13] Liu H, Guo J, Cheng Y, et al. Control of gray mold of grape by *Hanseniaspora uvarum* and its effects on postharvest quality parameters [J]. Ann Microbiol, 2010, 60(1): 31-35.
- [14] Xu B, Zhang H, Chen K, et al. Biocontrol of postharvest rhizopus decay of peaches with *Pichia caribbica* [J]. Curr Microbiol, 2013, 67(2): 255-261.
- [15] Lu L, Ye C, Guo S, et al. Preharvest application of antagonistic yeast *Rhodospiridium paludigenum* induced resistance against postharvest diseases in mandarin orange [J]. Biological Control, 2013, 67(2): 130-136.
- [16] Haissam J M. *Pichia anomala* in biocontrol for apples: 20 years of fundamental research and practical applications [J]. Antonie van Leeuwenhoek, 2011, 99(1): 93-105.
- [17] 靳莎莎, 庞水秀, 赵利娜, 等. 一株拮抗酵母的筛选鉴定及其对草莓采后病害的生防效果(英文) [J]. 食品科学, 2013(13): 202-208.
- [18] Schena L, Ippolito A, Zahavi T, et al. Molecular approaches to assist the screening and monitoring of postharvest biocontrol yeasts [J]. Eur J Plant Pathol, 2000, 106(7): 681-691.
- [19] Torres R, Usall J, Teixidó N, et al. Liquid formulation of the biocontrol agent *Candida sake* by modifying water activity or adding protectants [J]. Journal of Applied Microbiology, 2003, 94(2): 330-339.
- [20] Nunes C. Biological control of postharvest diseases of fruit [J]. Eur J Plant Pathol, 2012, 133(1): 181-196.
- [21] Meng X H, Qin G Z, Tian S P. Influences of preharvest spraying *Cryptococcus laurentii* combined with postharvest chitosan coating on postharvest diseases and quality of table grapes in storage [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(4): 596-601.
- [22] 汪志浩, 单春会, 王坚, 等. 拮抗酵母添加方式对哈密瓜保鲜效果的研究 [J]. 农产品加工(学刊), 2013(5): 34-36.
- [23] 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]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 157(1): 45-51.
- [24] Arras G. Mode of action of an isolate of *Candida famata* in biological control of *Penicillium digitatum* in orange fruits [J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 8(3): 191-198.
- [25] Castoria R, Caputo L, De Curtis F, et al. Resistance of postharvest bio-control yeasts to oxidative stress: a possible new mechanism of action [J]. Phytopathology, 2003, 93(5): 564-572.
- [26] 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]. Federation of European Microbiological Societies, 2007(7): 1389-1398.
- [27] Liu J, Wisniewski M, Artlip T, et al. The potential role of PR-8 gene of apple fruit in the mode of action of the yeast antagonist, *Candida oleophila*, in postharvest biocontrol of *Botrytis cinerea* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 85(0): 203-209.
- [28] 罗建军, 耿鹏, 胡美英, 等. 1 株拮抗酵母菌对柑橘绿霉病菌的抑制作

用[J]. 华中农业大学学报, 2013(1):54-58.

[29] Janisiewicz W J, Saftner R A, Conway W S, et al. Control of blue mold decay of apple during commercial controlled atmosphere storage with yeast antagonists and sodium bicarbonate[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3):374-378.

[30] Calvo J, Calvente V, Orellano M, et al. Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on apple fruit by mixtures of bacteria and yeast[J]. Food Bioprocess Tech, 2010, 3(5):644-650.

[31] Zhang Y, Yang X, Liu Y, et al. Expression of a protein elicitor pebC1 from *Botrytis cinerea* in *Pichia pastoris*[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2011, 27(11):1631-1636.

[32] Janisiewicz W J, Pereira I B, Almeida M S, et al. Improved biocontrol of fruit decay fungi with *Pichia pastoris* recombinant strains expressing Psd1 antifungal peptide[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(2):218-225.

[33] Ren X, Kong Q, Wang H, et al. Control of apple blue mold by *Pichia pastoris* recombinant strains expressing cecropin A[J]. Bioprocess Biosyst Eng, 2012, 35(5):761-767.

[34] Jones R W, Fau-Prusky D, Prusky D. Expression of an antifungal peptide in *Saccharomyces*; a new approach for biological control of the postharvest disease caused by *Colletotrichum coccodes*[J]. American Phytopathological Society, 2002, 92(1):33-37.

[35] Liu J, Wisniewski M, Fau-Droby S, et al. Glycine betaine improves oxidative stress tolerance and biocontrol efficacy of the antagonistic yeast *Cystofilobasidium infirmominatum*[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 146(1):76-83.

[36] Yu T, Chen J, Chen R, et al. Biocontrol of blue and gray mold diseases of pear fruit by integration of antagonistic yeast with salicylic acid[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 116(3):339-345.

[37] 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 Biology and Technology, 2014, 88(0):72-78.

[38] Ebrahimi L, Etebarian H R, 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.

[39] Geng P, Chen S, Hu M, et al. Combination of *Kluyveromyces marxianus* and sodium bicarbonate for controlling green mold of citrus fruit[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 151(2):190-194.

[40] Yao H, Tian S, Wang Y. Sodium bicarbonate enhances biocontrol efficacy of yeasts on fungal spoilage of pears[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 93(3):297-304.

[41] Yu T, Yu C, Chen F, et al. Integrated control of blue mold in pear fruit by combined application of chitosan, a biocontrol yeast and calcium chloride[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 69(0):49-53.

[42] Zhang H, Wang L, Zheng X, et al. Effect of yeast antagonist in combination with heat treatment on postharvest blue mold decay and *Rhizopus* decay of peaches[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 115(1):53-58.

[43] Xu L, Du Y. Effects of yeast antagonist in combination with UV-C treatment on postharvest diseases of pear fruit[J]. Bio Control, 2012, 57(3):451-461.

[44] Li B Q, Tian S P. Effects of trehalose on stress tolerance and biocontrol efficacy of *Cryptococcus laurentii*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2006, 100(4):854-861.

[45] Zhang H, Fu C, Zheng X, et al. Control of postharvest *Rhizopus rot* of peach by microwave treatment and yeast antagonist[J]. Eur Food Res Technol, 2004, 218(6):568-572.

[46] Wang Y, Wang P, Xia J, et al. Effect of water activity on stress tolerance and biocontrol activity in antagonistic yeast *Rhodosporidium paludigenum*[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 143(3):103-108.

## Study on Antagonistic Yeasts Control of Biological Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables

LIN Xiao-min, TAN Xiao-rong

(School of Bioengineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001)

**Abstract:** Postharvest diseases of fruits and vegetables caused huge economic losses, due to the toxicity of chemical fungicides usually adopted, which will harm human health and contribute to environmental pollution, demand for the non-toxic and pollution-free biocontrol agents becomes urgent, as one of them, yeast has a broad prospect of application in antagonism of the postharvest pathogens. This paper reviewed the research progress of antagonistic yeast in terms of prevention and control of postharvest disease of fruits and vegetables, including the species, screening, mode of action, antagonistic mechanism of antagonist yeast and how to improve its performance and other aspects. The problems exist in application of the anti-antagonistic yeast were analyzed and the prospect of its commercial application prospect were also discussed in this review.

**Keywords:** antagonistic yeast; fruit and vegetable postharvest diseases; mechanism of antagonism; biocontrol efficacy