

# 拮抗酵母菌控制果蔬采后病害的研究进展

耿 鹏, 杨 柳, 郝 卫宁, 李 辉, 胡 美英

(华南农业大学 天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广东 广州 510642)

**摘 要:** 综述了拮抗酵母菌在果蔬采后病害防治上的应用及研究进展, 包括拮抗酵母作为生防因子的作用机理和发展前景; 指出了通过基因工程和生物工程技术的方法改造提高拮抗菌的生防效果是拮抗酵母菌作为生物防治的发展方向。

**关键词:** 拮抗酵母; 作用机制; 生物防治; 基因工程

**中图分类号:** S 432.2<sup>+</sup>9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)20-0220-06

果蔬采后病害导致的腐烂是一个全球性的问题, 在发达国家有 20%~25% 左右的新鲜果品在转运和储存过程中由于病原菌的侵害而导致腐烂损失。在发展中国家, 由于缺乏储运冷藏设备, 果蔬采后的腐烂更为严重<sup>[1]</sup>。长期以来, 使用化学杀菌剂控制果蔬的采后病害一直被认为是安全有效的措施<sup>[2-3]</sup>, 化学杀菌剂虽然在一些果蔬采后病害防治上效果明显, 但同时也存在着对人体健康和环境潜在的不良影响; 另一方面化学杀菌剂在同一地区长期使用可能会导致病原菌抗药性的产生, 从而降低化学杀菌剂的防治效果<sup>[4]</sup>。随着病原菌抗药性的逐渐增加, 以及人们对果品质量要求的不断提高和环保意识的增强, 安全、无毒、对环境友好的生物防治逐渐成为可替代化学杀菌剂的防治方法<sup>[5]</sup>。微生物发酵周期短, 不受季节、地域和病虫害的限制, 具有广阔的发展前景<sup>[6]</sup>。

## 1 拮抗酵母菌的应用现状

### 1.1 拮抗酵母菌的分离途径

在植物的叶片、土壤、果实和水等环境中存在着大量的拮抗菌, 一般可以从植物的根际、叶围以及植物体内发掘拮抗酵母菌。但对于果蔬采后拮抗酵母菌的分离方法, 大多数研究者还是倾向于从果蔬表面自然生长的微生物中分离<sup>[7]</sup>。此外, 由于采前果蔬表面的微生物环境相对干热, 而采后储藏环境往往是湿冷的, 拮抗酵母菌未必能适应这种环境的改变。所以研究者往往有

针对性地进行拮抗酵母菌的分离, 如在果蔬接近成熟或储藏几个月以后再进行拮抗酵母菌的分离往往效果较好。

从伤口处分离拮抗酵母菌是另一条较好的途径<sup>[8]</sup>。伤口是病原菌与拮抗酵母菌相互作用的主要场所, 因而伤口处分离的拮抗酵母菌更适于伤口处的营养、水分等环境条件。例如, Zhang 等在果实伤口处注射待筛选的拮抗酵母菌悬浮液, 室温下 2 h 后接种病原菌孢子悬浮液, 2 周后切未侵染伤口组织进行发酵培养, 将发酵液用稀释平板法分离获得单菌落, 即得到目标拮抗菌株<sup>[9]</sup>。在实际应用中一般将上述 2 种方法结合应用, 但这 2 种方法也不是绝对的, 例如 Filonow 等不仅从苹果伤口分离得到拮抗菌, 而且从空气、土壤、海水、叶片、大蒜等分离筛选到能够防治苹果灰霉病的 28 株酵母菌<sup>[10]</sup>。

### 1.2 拮抗酵母菌作为生防因子的优势

拮抗酵母菌具有很多优点, 如遗传稳定、抑菌谱广、性价比高, 不会产生对人和寄主有害的代谢产物, 安全性高; 大多数拮抗酵母菌具有较强的抗逆能力, 产生的胞外多糖具有增强其生存能力和抵制病原菌侵染的作用<sup>[11]</sup>, 可以在高温和干旱条件下在植物叶表长期定殖<sup>[12]</sup>, 对多种胁迫、逆境具有较强的忍受力<sup>[13]</sup>。

此外, 酵母菌的遗传学基础研究比较清楚, 其遗传转化系统比较完善, 具有通过基因工程技术提高其生防效力的潜力, 由于不会产生毒素, 大多数酵母菌相比其它的拮抗菌如细菌、放线菌等在食品和酿造工业更容易被人们所广泛接受<sup>[14]</sup>。另外, 酵母菌受杀虫剂的影响较小, 而且对大多数杀菌剂也不敏感, 能与多种化学和物理方法相容等, 所以近年来应用拮抗酵母菌进行采后病害生物防治日益受到人们的重视, 科研工作者对其研究也日益广泛和深入。

### 1.3 拮抗酵母的防治效果

拮抗酵母用于果蔬采后病害的防治已有一些报道,

**第一作者简介:** 耿鹏(1987-), 男, 在读硕士, 现主要从事天然源农药研究工作。

**通讯作者:** 胡美英(1954-), 女, 教授, 博士生导师, 现主要从事天然源农药及农药残留与环境保护和昆虫生理毒理等研究工作。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(30871660); 广东省科技攻关计划资助项目(2008B020900007)。

**收稿日期:** 2010-07-29

一些国家已在实验室研制开发有效的生物制剂,很多拮抗菌已经进行了半商业化的实验,有的拮抗菌已经制成商品投放市场<sup>[15]</sup>,如美国的“Aspire”(Candida Oleophila strain-182),“Biosave<sup>TM</sup> 110”和“Biosave<sup>TM</sup> 100”(Pseudo-monas Syringae two strains)<sup>[16]</sup>。

在国外,Roberts 报道,用罗伦隐球酵母(Cryptococcus laurentii)可控制灰葡萄孢(Botrytis cinerea)引起的苹果灰霉病<sup>[7]</sup>。Zahavi 等研究发现,假丝酵母(C. oleophila)对灰葡萄孢霉(B. cinerea)及黑曲霉(Aspergillus niger)引起的腐烂有明显的防治效果,与对照相比,腐烂损失分别减少 16.81%和 60%<sup>[18]</sup>。Chanchaivivat 等用季也蒙毕赤酵母(Pichia guilliermondii)防治辣椒炭疽病(Colletotrichum capsici),生防效果达到 93.3%<sup>[19]</sup>。

在国内,邓伯勋等研究了柠檬形克勒克酵母对柑橘

青、绿霉病的防治效果,并发现紫外线处理可以诱变生防效力更好的变异菌株,该菌株在遗传上稳定<sup>[20]</sup>。张红印等用粘红酵母悬浮液与桃灰霉病菌的悬浮液混合培养,与对照相比,灰霉病菌的孢子萌发率降低 69.3%,同时,萌发的芽管长度减少 65.8%<sup>[21]</sup>。梁学亮等用假丝酵母(C. oleophila)原液和发酵液防治柑橘绿霉病,表现出很高的防效<sup>[22]</sup>。田世平等用丛生丝孢酵母(Thichosporon pullulans)、罗伦隐球酵母(C. laurentii)防治桃青霉腐败病和根霉腐烂病,用 2 种拮抗酵母菌混配低剂量的异菌脉(50 μg/mL),可以使接种病原菌的桃子发病率降低 88%<sup>[23]</sup>。秦丹、林亲录等用罗伦隐球酵母(C. laurentii)和季也蒙假丝酵母(C. guilliermondii)防治葡萄采后灰霉病,发病率仅为对照的 20%<sup>[24]</sup>。近年来应用的一些拮抗酵母菌如表 1 所示。

表 1 用于生物防治的拮抗酵母菌

拮抗菌种类	防治病害	果蔬种类	参考文献
季也蒙假丝酵母	灰霉病 Botrytis cinerea	油桃	[25]
Candida guilliermondii	灰霉病 Botrytis cinerea	桃	[25]
	灰霉病 Botrytis cinerea	番茄	[26]
	青霉病 Penicillium expansum	苹果	[26]
清酒假丝酵母	灰霉病 Gray mold Botrytis cinerea	苹果	[27]
	腐坏病 Rhizopus nigricans Ehrenberg	苹果	[27]
	霜霉病 Penicillium expansum	梨	[28]
罗伦隐球酵母	苦腐病 Glomerella cingulata	苹果	[28]
	褐腐病 Monilinia fructicola	樱桃	[55]
	霜霉病 Penicillium expansum	桃	[30]
	软腐病 Mucor rot (Mucor piriformis Fischer	梨	[30]
	腐坏病 Rhizopus stolonifer	草莓	[23]
白色隐球酵母	灰霉病 Botrytis cinerea	番茄	[23]
	软腐病 Mucor piriformis	梨	[17]
	灰霉病 Botrytis cinerea	苹果	[23]
	霜霉病 Penicillium expansum	苹果	[23]
橄榄假丝酵母	青霉病 Penicillium rot (Penicillium expansum	苹果	[4]
	茎腐病 Colletotrichum musae	香蕉	[31]
	炭疽病 Colletotrichum gloeosporioides	木瓜	[31]
	灰霉病 Botrytis cinerea	桃	[31]
红冬孢酵母	灰霉病 Botrytis cinerea	樱桃番茄	[30]
Rhodospiridium paludigenum			
马格努斯隐球酵母	炭疽病 Colletotrichum gloeosporioides	木瓜	[27]
Cryptococcus magnus			
粘红酵母	灰霉病 Botrytis cinerea	草莓	[27]
Rhodotorula glutinis			

1.4 拮抗酵母菌生物效力的改良

将拮抗菌与一些特殊的物质结合以提高拮抗菌的抑菌能力,是一种简单而又行之有效的途径<sup>[38]</sup>。例如Cao 等在毕赤酵母(Pichia membranaefaciens)悬浮液中加入低剂量的茉莉酸甲酯,大大提高了其对炭疽病菌的生防效果,同时降低了拮抗菌的使用剂量<sup>[39]</sup>。Ge 等用粘红酵母(R. glutinis)防治草莓灰霉病(B. cinerea)时,在其发酵液中加入 0.5%的几丁质,对病原菌的抑制效果大

大增强,并诱导草莓组织内β-1,3-葡聚糖酶和丙二醛的含量大大提高<sup>[40]</sup>。张建等用德巴利酵母(Debaryomyces hansenii)和碳酸氢钠配合防治蟠桃果实采后腐烂,可以有效减少伤口 93%的腐烂,效果好于碳酸氢钠及德巴利酵母(D. hansenii)单独处理时的效果<sup>[41]</sup>。其它一些可以提高拮抗酵母的生防效果的添加物例如硅、茉莉酸甲酯、赤霉酸等如表 2 所示。

表 2 提高拮抗酵母生防效果的添加物

水果	微生物制剂	添加物	防治病害	参考文献
苹果	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	赤霉酸	青霉病	[32]
	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	茉莉酸甲酯	青霉病	[32]
	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	水杨酸	采后腐烂	[32]
	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	吲哚乙酸	灰霉病	[32]
	酿酒酵母 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Meyen	乙醇	灰霉病	[33]
樱桃	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	水杨酸	青霉病	[33]
	粘红酵母 <i>Rhodotulura glutinis</i>	水杨酸	青霉病	[34]
葡萄	梅奇氏酵母 <i>Metschnikowia fruticola</i>	乙醇	霉腐病	[35]
枣	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	硅	链格孢菌腐病	[35]
	粘红酵母 <i>Rhodotulura glutinis</i>	硅	扩展青霉	[35]
梨	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	细胞分裂素	扩展青霉	[36]
	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	水杨酸	青霉病	[32]
	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	几丁质	青霉病	[32]
桃	粘红酵母 <i>Rhodotulura glutinis</i>	水杨酸	灰霉病	[41]
	汉氏德巴利氏酵母 <i>Debaryomyces hansenii</i>	紫外线	褐腐病	[32]
柑橘	汉氏德巴利氏酵母 <i>Debaryomyces hansenii</i>	紫外线	绿霉病	[32]
番茄	汉氏德巴利氏酵母 <i>Debaryomyces hansenii</i>	紫外线	腐坏病	[32]
草莓	罗伦隐球酵母 <i>Cryptococcus laurentii</i>	藻朊酸盐	灰霉病	[37]

几种拮抗菌的混合物比单一使用 1 种拮抗菌进行生物防治取得成功的几率更大,同时这样的组合防治效果也比较稳定。Janisiewicz 等使用 2 种拮抗菌的混合物枝顶孢属(*Acremonium breve*)和假单孢菌属(*Pseudomonas* sp.)防治苹果灰霉病和青霉病,均可以完全防止病害的发生<sup>[11]</sup>。但拮抗菌的混合必须保证拮抗菌之间不存在拮抗性,不会因为竞争作用而降低其抑菌活性。

其它一些方法如热水处理等也可以对拮抗酵母菌的生物防治效果起到很好的促进作用<sup>[42]</sup>。Zhang 等研究了 46℃热水处理结合粘红酵母(*R. glutinis*)对梨青霉病(*P. expansum*)的抑制效果,结果表明,在离体条件下,热水与拮抗菌的结合处理可完全控制病害的发生,而在活体试验中,在 20℃时贮藏 15 d 后,果实的发病率与对照相比降低 53.4%,在 4℃时贮藏 60 d 后,与对照组 46.7%的发病率相比,发病率仅为 6.7%<sup>[43]</sup>。

2 拮抗酵母菌生物防治的作用机制

相对于人们对一些拮抗酵母菌防治效果的研究,人们对拮抗酵母菌抑病机理的研究则相对滞后<sup>[44]</sup>。Nantawanitd 等在研究季也蒙毕赤酵母(*P. guilliermondii*) R13 对辣椒炭疽病(*Colletotrichum capsici*)生防效果时发现,其作用机理包括营养竞争、拮抗酵母菌对病原菌的吸附作用、诱导寄主分泌多种水解酶类等<sup>[45]</sup>。目前普遍认为酵母菌对果蔬采后病害防治的机理主要包括营养或空间的竞争、酵母菌对病原菌的直接寄生作用、影响寄主抗性。

2.1 营养或空间的竞争

营养或空间的竞争是酵母菌产生生防作用的主要机制。拮抗酵母菌可以迅速地抢占果蔬伤口的营养空间生长存活并大量繁殖,并尽可能快地消耗掉伤口营

养,使得病原菌得不到合适的营养与空间条件而不能繁衍生息,从而抑制病害的发生<sup>[46]</sup>。范青等研究了季也蒙假丝酵母(*C. Guilliermondii*)接种在桃果实伤口上的生长情况,发现在有病原菌存在的情况下,15℃培养 72 h,酵母数增长 34.4 倍,25℃培养 72 h,酵母数则可以增长 45.6 倍,证明了拮抗菌与病原菌之间的营养竞争<sup>[25]</sup>。范青和田世平等在研究中发现,相同浓度的拮抗菌细胞悬浮液比培养原液有更好的拮抗效果,其原因很可能是培养液中丰富的营养物质削弱了拮抗酵母菌与病原菌之间的营养竞争<sup>[25]</sup>。

2.2 对病原菌的直接寄生作用

许多酵母菌可以产生胞外水解酶,如几丁质酶、β-1,3-葡聚糖酶等,这些酶可以参与病原真菌细胞壁的降解,从而达到防治病害的效果<sup>[47]</sup>。一些酵母菌还可以附着在病原菌的菌丝体上,通过分泌胞外水解酶水解病原菌的细胞壁,从而形成对病原菌的直接寄生作用。Castoria 等在研究粘红酵母(*Rhizopus glutinis*)和罗伦隐球酵母(*C. laurentii*)对苹果采后病害的防治机理时发现,苹果青霉菌(*P. expansum*)和灰霉菌(*B. cinerea*)细胞壁均可以诱导 2 种拮抗菌分泌胞外 β-1,3-葡聚糖酶。在以青霉菌(*P. expansum*)细胞壁作为碳源时,罗伦隐球酵母(*C. laurentii*)分泌的胞外 β-1,3-葡聚糖酶活性要高于粘红酵母(*R. glutinis*),同时前者对苹果青霉病的防治效果也明显高于后者,可见拮抗酵母菌分泌的胞外水解酶在其作用机制中也起到重要的作用<sup>[48]</sup>。

2.3 诱导寄主产生抗病性

许多拮抗酵母均可以在果蔬表面大量生长,从而诱导宿主产生具有抑菌活性的物质<sup>[49]</sup>。一些拮抗酵母菌可与宿主伤口相互作用而形成愈伤组织,Chalutz 和

Wilson 等研究发现, 在接种拮抗酵母菌之前接种病原菌, 二者间隔时间越长, 拮抗菌的抑菌效果越差<sup>[50]</sup>。Droby 等研究假丝酵母(*C. oluophila*)对葡萄采后青霉菌的拮抗作用时发现, 向果皮组织上添加拮抗酵母细胞悬浮液, 乙烯的生物合成明显增加, 并可以诱导苯丙氨酸解氨酶(PLA)及植保素的积累, 增加几丁质酶、 $\beta$ -1, 3-内切葡聚糖酶的活性, 从而诱导寄主抗性的产生<sup>[51]</sup>。王友升在研究罗伦隐球酵母(*C. laurenti*)、褐腐病菌(*M. fructicola*)与甜樱桃果实接种伤口处的相互作用时发现, 甜樱桃果实褐腐病菌受到罗伦隐球酵母抑制的主要原因是褐腐病原菌(*M. fructicola*)刺激拮抗菌的生长并诱导果实抗性相关酶活性提高<sup>[52]</sup>。张润杰等在研究季也蒙假丝酵母(*C. guilliermondii*)对松材线虫病的抑制作用时发现, 拮抗菌培养液中会产生某些有利于松苗抗病和存货的代谢物质<sup>[53]</sup>。班兆军等研究隐球酵母(*Cryptococcus* sp.)和黑根霉(*Rhizopus* sp.)诱导长枣果实自身抗真菌性能的影响时发现, 隐球酵母(*Cryptococcus* sp.)可以显著地提高多酚氧化酶(PPO)和超氧化物歧化酶(SOD)的活性, 并能有效降低过氧化物酶(POD)的活性<sup>[54]</sup>。

### 3 拮抗酵母在果蔬采后病害防治上的应用前景

虽然许多酵母菌已被证实对许多果蔬病原菌具有拮抗作用, 且酵母菌作为果蔬采后生物防治有很多优势, 但目前商品化的拮抗酵母品种较少, 其原因主要是: 在生产应用中由于环境条件的不确定性, 拮抗酵母菌的防效往往达不到要求或稳定性较差, 且与常用的化学杀菌剂相比速效性较差。另外, 人们对拮抗酵母菌对人体和环境的安全性关注越来越高, 但关于拮抗菌安全性的研究相对较少, 这些因素都影响了拮抗酵母菌在果蔬采后病害防治上的应用。

将拮抗菌进行商品化生产, 不仅要考虑拮抗菌对果实病害的防治效果, 还应该考虑与传统采后处理措施相结合应用的可能性<sup>[55]</sup>, 这也是加快拮抗菌制剂走向市场的有效途径之一。另外, 与传统的化学农药相比, 抗菌谱窄是限制其商品化应用的主要原因。可以将多种酵母菌结合使用、构建拮抗酵母工程菌株或与低剂量的化学杀菌剂混合使用来增强其活性。

在进行拮抗酵母菌的商品化过程中主要涉及到的流程如图1所示。

应用分子生物学手段研究用作果蔬采后生物防治的拮抗酵母菌及其抑菌机理, 是当前研究的热点和今后的必然趋势, 目前酵母的遗传学基础研究已比较清楚, 其遗传转化系统比较完善, 具有通过基因工程技术进行遗传改造提高防病效果的潜力。Lindow 于1985年最先

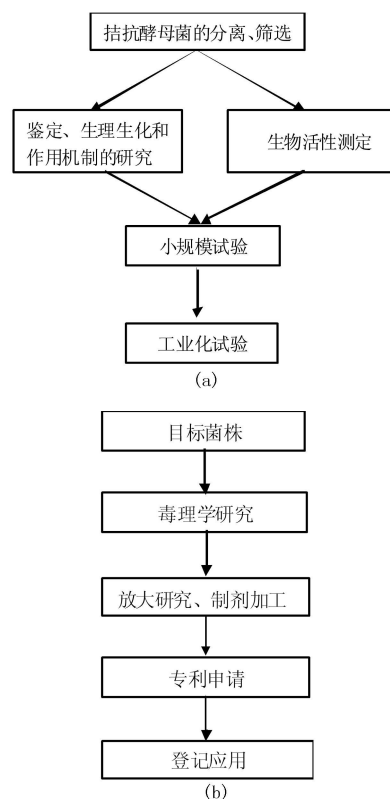


图1 拮抗酵母菌的商品化

提出将拮抗菌丁香假单胞菌(*Pseudomonas syringae*)的拮抗基因转移到对果蔬表面适应能力更强的微生物体内的设想<sup>[56]</sup>。Limon 等运用基因工程的方法将 *chit33* 基因导入哈茨木霉酵母(*Trichoderma harzianum*)后, 将其培养在含葡萄糖的培养基中, 其转化体产生的几丁质酶活性是野生型的 200 倍以上, 抑菌能力大大增强<sup>[57]</sup>。Jones 和 Prusky 合作克隆出杀菌肽 A 的编码基因, 并把它转入啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisia*)细胞, 啤酒酵母细胞转化体很好的阻止了毛刺盘孢属霉菌(*Colletotrichum coccodes*)孢子的萌发, 并有效的阻止了由毛刺盘孢属霉菌引起的西红柿腐烂<sup>[58]</sup>。Janisiewicz 等将抗真菌多肽(Psd1)导入毕赤酵母(*Pichia pastoris*)后, 能使该酵母对苹果扩展青霉的生防效力大幅度提高<sup>[59]</sup>。

### 4 结语

果蔬采后病害的无公害防治是必然的趋势, 拮抗酵母菌取代化学杀菌剂用于果蔬保鲜是一种可行的途径。拮抗酵母菌具有拮抗效果好、不产生毒素、可以和化学杀菌剂共同使用等优点, 而且可以在果蔬表面很好的定殖, 因此成为果蔬采后生物防治的研究热点, 它对人体可靠的安全性, 使其广泛地应用于食品工业中。使用拮抗酵母菌控制由真菌属病原体引起的果蔬采后腐烂, 可以减少甚至替代杀菌剂, 保护生态环境。现代生物技术

的广泛应用,基因组学和蛋白组学的发展以及先进仪器设备的应用必将为拮抗酵母菌生防研究带来新的发展机遇。

### 参考文献

- [1] Drobny S. Improving quality and safety of fresh fruit and vegetables after harvest by the use of biocontrol agents and natural materials [J]. *Avta Horticultura*, 2006, 70(9): 45-51.
- [2] Korsten L. Advances in control of postharvest diseases in tropical fresh produce [J]. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2006, 1(1): 48-61.
- [3] Wisniewski M E. Biological control of postharvest disease of vegetables: Recent Advances [J]. *HortScience*, 1992, 27: 94-98.
- [4] El-Ghaouth A. Biologically-based alternatives to synthetic fungicides for the control of post-harvest diseases [J]. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 1997, 19(3): 160-162.
- [5] 梁建根, 施跃峰, 竺利红, 等. 植物病害生物防治的研究现状 [J]. *现代农业科技*, 2008(18): 158-159.
- [6] Canamas T P, Vinas I. Control of postharvest diseases on citrus fruit by preharvest applications of biocontrol agent *Pantoea agglomerans* CPA-2: Part II. Effectiveness of different cell formulations [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 49(1): 96-106.
- [7] Smilanick J L, Denis-Arme R, Bosch J R et al. Control of post-harvest brown rot of nectarines and peaches by *Pseudomonas species* [J]. *Crop protection*, 1993, 12(7): 513-520.
- [8] Long C A, Deng B X, Deng X X et al. Commercial testing of *Kloeckera apiculata* isolate 349 for biological control of postharvest diseases of citrus fruit [J]. *Annals of Microbiology*, 2007, 52(2): 203-207.
- [9] Zhang D P, Spadaro D, Garibaldi A. Selection and evaluation of new antagonists for their efficacy against postharvest brown rot of peaches [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 55(3): 174-181.
- [10] Fibnow A B, Vishniac H S, Anderson J A, et al. Biological control of *Botrytis cinerea* in apple by yeasts from various habitats and their putative mechanisms of antagonism [J]. *Biological Control*, 1996, 7(2): 212-220.
- [11] Janiszewicz W J, Roitman J. Biological control of apple blue mold with *Pseudomonas fluorescens* [J]. *Microbiology*, 2005, 51(7): 591-598.
- [12] 刘海波, 田世平. 水果采后生物防治拮抗机理的研究进展 [J]. *植物学通报*, 2001, 18(6): 657-664.
- [13] Wang X, Chi L Z, Li Y J. Purification and characterization of killer toxin from a marine yeast *Pichia anomala* YF07b against the pathogenic yeast in crab [J]. *Current Microbiol*, 2007, 55: 396-401.
- [14] Friel D, Vandenbol M, Jijakli M H. Genetic characterization of the yeast *Pichia anomala* (strain K), an antagonist of postharvest diseases of apple [J]. *Journal of Application Microbiol*, 2005, 98(3): 783-788.
- [15] 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.
- [16] Drobny S, Cohen A, Weiss B et al. Commercial testing of aspire, a yeast preparation for the biological control of postharvest decay of citrus [J]. *Biological control*, 1998, 12(2): 97-101.
- [17] Roberts R G. Postharvest biological control of gray mold of apple by *Cryptococcus laurentii* [J]. *Phytopathology*, 1990, 80: 526-530.
- [18] Zahavi T, Cohen L, Weiss B. Biological control of *Botrytis Aspergillus* and *Rhizopus* rots on table and wine grapes in Israel [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, 20: 115-124.
- [19] Chanchaichavivat A, Ruenwongsa P, Panipan B. Screening and identification of yeast strains from fruits and vegetables: Potential for biological control of postharvest chilli anthracnose (*Colletotrichum capsici*) [J]. *Biological Control*, 2007, 42(3): 326-335.
- [20] 向家云, 邓伯勋, 刘昱佳, 等. 紫外诱变改良柑橘采后病害拮抗菌柠檬形克勒克酵母研究 [J]. *微生物学通报*, 2008, 35(1): 82-86.
- [21] Zhang H Y, Ma L G, 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 [M]. *Biological Control*, 2008, 47(1): 60-65.
- [22] 梁学亮, 郭小密. 假丝酵母对柑橘采后绿霉病的抑制效果 [J]. *华中农业大学学报*, 2006, 25: 26-30.
- [23] 范青, 田世平, 徐勇. 丝孢酵母对苹果采后灰霉病和青霉病抑制效果的影响 [J]. *中国农业科学*, 2001, 34(2): 163-168.
- [24] 秦丹, 林亲录, 胡亚平, 等. 葡萄采后病害生防制剂用拮抗酵母的筛选 [J]. *生物工程*, 2008, 29(7): 303-305.
- [25] Tian S P, Fan Q, Xu Y. Effect of biocontrol antagonists applied in combination with calcium on the control of postharvest diseases in different fruit [J]. *Bulletin-OILB/SROP*, 2002, 25(10): 193-196.
- [26] Morales H, Sanchis V, Usall J et al. Effect of biocontrol agents *Candida sake* and *Pantoea agglomerans* on *Penicillium expansum* growth and patulin accumulation in apples [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 122(1-2): 61-67.
- [27] Vinas J, Usall J, Teixido N, et al. Biological control of major postharvest pathogens on apple with *Candida sake* [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1998, 40(1-2): 9-16.
- [28] Torres R, Teixido N, Vinas J et al. Efficacy of *Candida sake* CPA-1 formulation for controlling *Penicillium expansum* decay on pome fruit from different Mediterranean regions [J]. *Journal of Food Protection*, 2006, 69(11): 2703-2711.
- [29] Blum L E B, Amarante C V T, Valdebenito-Sanhueza R M, et al. Postharvest application of *Cryptococcus laurentii* reduces apple fruit rots [J]. *Fitopatologia Brasileira*, 2004, 29(4): 433-436.
- [30] Zhang H, Zheng X, Wang L, et al. Effect of antagonist in combination with hot water dips on postharvest *Rhizopus* rot of strawberries [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007b, 78: 281-287.
- [31] Lassois L, de Bellaire L, Jijakli M H. Biological control of crown rot of bananas with *Pichia anomala* strain K and *Candida oleophila* strain O [J]. *Biological Control*, 2008, 45(3): 410-418.
- [32] Yu T, Zheng X D. Salicylic acid enhances biocontrol efficacy of the antagonist *Cryptococcus laurentii* in apple fruit [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2005, 25(2): 166-174.
- [33] Qin G Z, Tian S P, Xu Y, et al. Enhancement of biocontrol efficiency of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2003, 62(3): 147-154.
- [34] Karabulut O A, Lurie S, Drobny S. Evaluation of the use of sodium bicarbonate, potassium sorbate and yeast antagonists for decreasing postharvest decay of sweet cherries [M]. *Postharvest Biology and Technology*, 2001, 23(3): 233-236.
- [35] Tian S P, Qin G Z, Xu Y. Synergistic effects of combining biocontrol agents with silicon against postharvest diseases of jujube fruit [J]. *Journal of*

Food Protection, 2005, 68(3): 544-550.

- [36] Zheng X, Yu Y, Chen R et al. Inhibiting *Penicillium expansum* infection on pear fruit by *Cryptococcus laurentii* and cytokinin[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(2): 221-227.
- [37] Yan Fan, Ying Xu, Dongfeng Wang. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria×anarassa*) preservation quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 53(1-2): 84-90.
- [38] Wojciech J Janisiewicz, Robert A. et al. Control of blue mold decay of apple during commercial controlled atmosphere storage with yeast antagonists sodium bicarbonate[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3): 374-378.
- [39] Cao S F, Zheng Y H, Wang K T, et al. Effect of yeast antagonist in combination with methyl jasmonate treatment on postharvest anthracnose rot of loquat fruit[J]. Biological Control, 2009, 50(1): 73-77.
- [40] Ge L L, Zhang H Y, Chen K P, et al. Effect of chitin on the antagonistic activity of *Rhodotorula glutinis* against *Botrytis cinerea* in strawberries and the possible mechanisms involved[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 490-495.
- [41] 张建, 毛晓英. 酵母拮抗菌与碳酸氢钠配合对蟠桃果实采后腐烂及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2009, 3: 297-299.
- [42] 静玮, 屠康, 邵兴锋, 等. 热水喷淋处理结合拮抗酵母菌对樱桃果实采后腐烂及品质的影响[J]. 果树学报, 2008, 25(3): 367-373.
- [43] Zhang H Y, Wang S Z, Huang X Y, et al. Integrated control of postharvest blue mold decay of pears with hot water treatment and *Rhodotorula glutinis*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(2): 308-313.
- [44] Zhao Y, Tu K, Shao X. Effects of the yeast *Pichia guilliermondii* against *Rhizopus nigricans* on tomato fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(1): 113-120.
- [45] Nantawanit N, Chanchaichavivat A, Panijpan B. Induction of defence response against *Colletotrichum capsici* in chili fruit by the yeast *Pichia guilliermondii* strain R13[M]. Biological Control, 2010, 52(2): 145-152.
- [46] Droby S, Chalutz E. Mode of action of biocontrol agents for postharvest diseases. In: Wilson C L, Wisniewski M E [M]. Biological control of postharvest disease of fruits and vegetables: Theory and Practice. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1994: 63-75.
- [47] Castoria R, Curtis F D, Lima G, et al. Beta-1, 3-glucanase activity of two saprophytic yeasts and possible mode of action as biocontrol agents against postharvest diseases[J]. Postharvest Biology and Technology, 1997

(12): 293-300.

- [48] Castoria R, De-Curtis F, Lima G, et al. *Aureobasidium pullulans* (LS-20) an antagonist of postharvest pathogens of fruits: study on its mode of action[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22: 7-17.
- [49] Wilson C L, Wisniewski M E. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: an emerging technology[J]. Annual Review of Phytopathology, 1989, 27: 425-441.
- [50] Chalutz E, Wilson C L. Postharvest biocontrol of green and blue mould and sour rot of citrus fruit by *Debaryomyces hansenii*[J]. Plant Disease, 1990, 74(2): 134-137.
- [51] Droby S, Vinolur V, Weiss B. Induction of resistance to *Penicillium digitatum* in grape fruit by the yeast biocontrol agent *Candida oleophila*[J]. Phytopathology, 2002, 92(4): 393-399.
- [52] 王友升, 田世平. 罗伦隐球酵母、褐腐病菌与甜樱桃果实在不同温度下的相互作用[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2811-2820.
- [53] 张润杰, 欧阳革成. 季也蒙假丝酵母对松材线虫病的抑制作用[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2658-2661.
- [54] 班兆军, 李莉, 李喜宏, 等. 隐球酵母对长枣果实的生防效果及诱导抗性[J]. 植物保护, 2009, 35(3): 77-80.
- [55] Zhang H, Ma L, 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]. Biological Control, 2008, 47(1): 60-65.
- [56] Lindow S E. Ecology of *Pseudomonas syringae* relevant to the field use of ice deletion mutants constructed in vitro for plant frost control[M]. In: Engineered organisms in the Environment: Scientific Issues. Ed H O, Halverson D, Pramer, M M. Regul. Washington, D C: Am. Soc. Microbial, 1985: 23-25.
- [57] Limon M, Pintor-Toro J A, Benítez T. Increased antifungal activity of *Trichoderma harzianum* transformants that overexpress a 33-kDa chitinase[J]. Phytopathology, 1999, 89(3): 254-261.
- [58] Jones R W, Prusky D. Expression of an antifungal peptide in *Saccharomyces*: A new approach for biological control of the postharvest disease caused by *Colletotrichum coccodes*[J]. Phytopathology, 2002, 92(1): 33-37.
- [59] Janisiewicz W J, Pereira I, Bastos Almeida M S, et al. Improves biocontrol of fruit decay fungi with *Pichia pastoris* recombinant strains expressing Psd1 antifungal peptide[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(2): 218-225.

## Research Advances on the Biological Control of Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables with Antagonistic Yeasts

GENG Peng, YANG Liu, HAO Wei-ning, LI Hui, HU Mei-ying

(Key Laboratory of Natural Pesticide and Chemical biology, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

**Abstract:** The research advance of using antagonistic yeasts to postharvest diseases of fruits and vegetables was reviewed, included its bio-control mechanism and development prospect. This paper also presented the direction of antagonistic yeasts was improving the bio-control efficacy by biological engineering.

**Key words:** antagonistic yeasts; mechanism; bio-control; biological engineering