

# 酵母菌对果蔬采后病害防治的研究进展

张红印, 蒋益虹, 郑晓冬, 席焯芳, 孙 萍

(浙江大学食品科学与营养系, 杭州 310029)

**摘 要:** 该文对酵母菌对果蔬采后病害防治的研究现状进行了综述, 其中包括防治效果、防治机理、防治的优势及最新研究成果。许多酵母菌对果蔬采后病害具有明显的抑制作用, 酵母菌抑制霉菌的机理主要在于营养与空间的竞争、对病原菌的直接寄生作用及诱导寄主产生抗病性。酵母菌与其它生防微生物相比, 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。使用生物工程技术改造拮抗酵母菌从而提高其生防效果, 是酵母菌对果蔬采后生物防治的最新研究领域。该文还指出了酵母菌对果蔬采后生物防治存在的问题, 并对未来的研究提出了新的思路。

**关键词:** 果蔬采后病害; 生物防治; 酵母菌; 生物防治效果与机理

**中图分类号:** TS201.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)04-0023-05

## 1 引言

果蔬采后病害造成的损失是巨大的。据报道, 发达国家有 10% ~ 30% 的新鲜果蔬损失于采后的腐烂, 而在发展中国家, 由于缺乏储运冷藏设备, 果蔬腐烂损失率更高<sup>[1]</sup>。目前我国的果蔬采后损耗约占总产量的 30% ~ 40%<sup>[2]</sup>。果蔬采后腐烂大多由真菌引起, 水果在采收、包装、贮存和运输过程中若受到机械损伤<sup>[3]</sup>, 霉菌很容易通过伤口侵蚀水果, 并在水果上大量生长, 从而造成水果的腐烂。长期以来防治真菌病害的方法主要是采用化学杀菌剂。然而, 连续使用化学杀菌剂会使病原菌产生抗药性, 由于农药对环境的污染和对公众健康的危害<sup>[4]</sup>, 迫使人们寻求安全、无毒和有效的新方法。生物杀菌剂可分为植物杀菌剂、动物杀菌剂和微生物杀菌剂三种, 用微生物进行采后病害的生物防治是国内外近年来发展起来的一个新的研究领域。自从 Guter 首次报道枯草杆菌 (*Bacillus subtilis*) 对水果病原菌有拮抗作用以来, 国外学者对用微生物拮抗菌对果蔬采后病害的防治进行了广泛的研究<sup>[5,6]</sup>。目前, 已研究可作为果蔬采后病害拮抗菌的微生物有细菌、霉菌和酵母菌等, 其中酵母菌由于具有拮抗效果好、不产生毒素、可以和化学杀菌剂共同使用等优点而成为果蔬采后生物防治研究的热点<sup>[7,8]</sup>。

## 2 酵母菌对果蔬采后病害防治的效果

目前已证明对果蔬采后病害具有防治作用的酵母菌品种很多。在国外 Chalutz 等从柠檬果实表面分离得到的一株汉逊德巴利酵母 (*Debaryomyces hansenii*), 对柑桔青霉病、绿霉病和酸腐病有显著的防治效果, 其对青霉病的抑制效果在 11 或 22 条件下可以维持 21 d<sup>[9]</sup>; Wisniewski 等研究发现, 假丝酵母 (*Candida oleophila*) 对苹果灰霉病有良好的防治效果,  $Ca^{2+}$  可促

进这种效果, 而  $Mg^{2+}$  没有这样的作用<sup>[10]</sup>; Benbow 等研究了隐球酵母属的 *Cryptococcus infirmus* 和红酵母属的 *Rhodotorula glutinis* 对梨病害的生物控制效果, 结果表明, 隐球酵母属的 *C. infirmus* 和红酵母属的 *Rhodotorula glutinis* 在采收前一天对梨进行处理, 能有效地控制梨的采后腐烂<sup>[11]</sup>; Zahavi 等的研究发现, 假丝酵母 (*Candida guilliemondii*) 对葡萄由灰葡萄孢霉及黑曲霉引起的腐败具有明显的抑制效果, 与对照相比, 分别可以减少腐败损失 16.81% 和 60%<sup>[12]</sup>。

在国内, 范青等研究了季也蒙假丝酵母 (*Candida guilliemondii*) 对桃采后果实软腐病的抑制效果, 用  $5 \times 10^8$  CFU/mL 悬浮液处理的果实贮藏在 25℃ 下经 4 d、15℃ 经 7 d 和 3℃ 经 30 d 后软腐病的发病率都为零, 和 1000 mg/L 扑海因处理的效果一样<sup>[13]</sup>。范青等研究了丝孢酵母 (*Trichosporon sp.*) 的不同处理和接种时间对“富士”苹果灰霉病和青霉病的抑制效果, 结果表明, 当接种灰霉菌和青霉菌孢子浓度分别为  $1 \times 10^5$  个/mL 和  $5 \times 10^4$  个/mL 时, 在 25℃,  $1 \times 10^8$  CFU/mL 的酵母悬浮液完全抑制这两种病害的发生; 在 1℃ 冷藏 30 d 后, 灰霉病和青霉病的发病率分别为 13% 和 0<sup>[14]</sup>。范青等对果实病害生物防治拮抗菌进行了筛选和分离, 结果表明: 季也蒙假丝酵母 (*C. guilliemondii*)、柠檬形克勒克酵母 (*Kloeckera apiculata*)、汉逊德巴利酵母 (*Debaryomyces hansenii*) 等 3 种酵母菌对甜樱桃褐腐病都表现出显著的抑制效果, 季也蒙假丝酵母和柠檬形克勒克酵母能有效地防治核果类果实采摘后软腐病; 从桃果实表面分离得到的浅白隐球酵母 (*Cryptococcus albidus*) 和丝孢酵母 (*Trichosporon sp.*) 能防治苹果灰霉病和青霉病, 而从桃果伤口处分离到的膜醌毕赤酵母 (*Pichia mannanifaciens Hansenii*) 则对核果类果实软腐病有较好的抑制作用<sup>[15]</sup>。刘绍军等研究了啤酒酵母对草莓的保鲜作用, 结果表明, 以活细胞数为  $1.75 \times 10^7$  个/mL 的酵母液处理草莓, 常温下可延长保鲜期 2~3 d<sup>[16]</sup>。梁泉峰等从腐败玉米中分离到一株间型假丝酵母 (*C. intermedia*), 对苹果青霉病及洋葱黑曲霉病都具有显著的防治效果, 接种致病菌后

收稿日期: 2002-09-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170659)

作者简介: 张红印, 男, 讲师, 博士研究生, 杭州市凯旋路 268 号 浙江大学食品科学与营养系, 310029

25 贮藏 7 d 的苹果, 对照组(未接酵母菌)的病斑直径达 12 mm, 而接种酵母菌的果实未见病斑; 同样接种酵母菌的洋葱 25 贮藏 20 d 未见病斑, 相同条件下对照组(未接酵母菌)则发生严重的黑曲霉病<sup>[17]</sup>。近年来, 我们课题组承担了国家自然科学基金项目“酵母菌对柑橘采后病害的生物防治及其防治机制的研究”, 对应用拮抗酵母菌来保鲜果蔬的效果及机理进行了深入的研究, 并取得了许多有意义的成果。研究涉及到的拮抗酵母菌有隐球酵母、红酵母、假丝酵母等, 涉及到的果蔬有柑橘、苹果、梨、葡萄、杨梅等, 证实了隐球酵母、红酵母、假丝酵母对多种果蔬由霉菌导致的腐烂具有明显的抑制作用。目前, 我们正在利用基因工程技术来进行拮抗酵母菌的改造, 期待能提高拮抗酵母菌的抑菌能力, 扩大果蔬采后病害生物防治的研究领域, 为微生物在果蔬采后生物防治中的应用打下良好的基础。

### 3 酵母菌对果蔬采后病害防治的机理

产生抗菌物质是大部分生防细菌和生防霉菌的作用机制。例如枯草芽孢菌(B-3)能产生拮抗物质伊枯草菌素(iturin)7, 对多种重要果蔬的病原菌具有拮抗性; 木霉能分泌吡喃酮, 对由灰葡萄孢引起的草莓、苹果灰霉病有很强的抗生作用等<sup>[18]</sup>。但酵母菌不产生抗菌物质。酵母菌对果蔬采后病害防治的机理主要包括以下 4 个方面: 1) 营养或空间的竞争; 2) 酵母菌与病原菌的直接作用; 3) 酵母菌诱导寄主产生抗病性; 4) 其它物质对拮抗效果的影响。

#### 3.1 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。酵母菌由于对环境的适应性较强, 在温度、湿度、pH 值或渗透压不利于病原菌生长的情况下, 这些拮抗菌能有效地利用果蔬表面或侵入点附近低浓度的营养物质而生长存活, 利用果蔬表面或伤口的营养大量繁殖, 尽可能快地消耗掉伤口营养, 并占领全部空间, 使得病原菌得不到合适的营养与空间条件, 不能生息繁衍, 从而抑制病害的发生<sup>[19]</sup>。范青等研究了季也蒙假丝酵母(*C. Guilliemondii*)接种到桃果实伤口上的生长动态, 结果发现, 在有病原菌存在的情况下, 15 培养 72 h, 酵母菌数可以增长 34.4 倍, 而 25 下培养 72 h, 酵母菌数可以增长 45.6 倍, 这种高速的繁殖活动反映出拮抗菌与病原菌之间的营养竞争<sup>[13]</sup>。D roby 等在用拮抗酵母 U S-7 来防治柑桔采后绿霉病病原菌指状青霉(*Penicillium. digitatum*)时发现, 向共存有拮抗菌和病原菌的柑桔伤口处添加营养物质, 酵母菌 U S-7 抑制柑桔绿霉病的效果降低<sup>[20]</sup>; 范青和田世平在研究中发现, 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, 原因很可能是培养液中的丰富营养削弱了拮抗菌与病原菌之间营养竞争的力度<sup>[13]</sup>。

#### 3.2 酵母菌对病原菌的直接寄生作用

许多酵母菌可以分泌胞外水解酶(几丁酶,  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶等), 从而分解病原菌的细胞壁或菌丝体; 某些

酵母菌还可以附着在病原菌上, 形成对病原菌的直接寄生作用。Castoria 等在研究红酵母及隐球酵母对苹果采后病害的防治机制时发现, 展青霉(*P. expansum*)及灰葡萄孢(*B otrytis cinerea*)细胞壁都可以诱导红酵母及隐球酵母产生胞外  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶; 在利用展青霉作为唯一碳源时, 隐球酵母的  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶活性高于红酵母, 而隐球酵母对苹果采后青霉病的防治效果也好于红酵母<sup>[21]</sup>。W isniew ski 等的研究也发现, 毕赤氏酵母(*P. guilliemondii*)对苹果灰霉病的防治效果强于汉逊德巴利酵母(*D ebaromyces hansenii*), 而前者的  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶活性高于后者; 同时 W isniew ski 还发现, 毕赤氏酵母可以附着在灰葡萄霉菌丝体上从而对其进行破坏<sup>[22]</sup>。

#### 3.3 酵母菌诱导寄主产生抗病性

某些酵母菌在果蔬上大量生长, 可以诱导宿主产生具有抑菌作用的物质; 而有些酵母细胞可以诱导果蔬产生几丁酶、葡聚糖酶及其它酶类, 这些酶类可以分解果蔬病原菌的细胞壁, 从而抑制病原菌的生长<sup>[23]</sup>; 还有一些酵母菌可以使宿主细胞组织结构发生变化, 增加宿主的抗病能力。D roby 等在研究假丝酵母 *C. oleophila* 对葡萄采后青霉菌的拮抗作用时发现, 向葡萄果皮组织上添加假丝酵母细胞悬浮液可以增加乙烯的生物合成, 诱导苯丙氨酸氨基裂解酶及植保素的积累, 并能增加几丁质酶、 $\beta$ -1, 3-内切葡聚糖酶的活性, 从而诱导宿主产生抗性<sup>[24]</sup>; I ppolito 等发现拮抗酵母菌 *A ureobasidium pullulans* 在苹果上可以显著提高几丁酶、 $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶和过氧化物酶的活性<sup>[25]</sup>; 范青等的研究也发现拮抗酵母菌 *P. membranefaciens* 和 *C. guilliemondii* 可以诱导苹果产生较高水平的几丁酶和  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶活性, 增强对软腐病的抑制效果<sup>[26]</sup>; *E I-Ghaouth* 发现假丝酵母 *C. saitoana* 在苹果伤口上可以诱导宿主细胞变形, 产生乳突结构, 抑制病原菌的入侵<sup>[27]</sup>。

#### 3.4 其它物质对拮抗效果的影响

一般情况下, 单一应用拮抗菌来防治采后病害的效果要逊色于化学杀菌剂。科学工作者研究发现, 将拮抗酵母菌与一些其他特殊物质结合使用, 可以提高酵母菌的拮抗效果。例如 Calventz 等人在研究红酵母对苹果采后青霉菌的抑制作用时发现, 在制备红酵母的培养基中添加铁离子, 制备的含铁细胞红酵母对霉菌的抑制效果强于不含铁细胞的红酵母<sup>[28]</sup>; 田世平等也发现, 在丝孢酵母的悬浮液中加入 1%~2% 的 CaCl<sub>2</sub> 可显著地提高丝孢酵母对苹果灰霉病和青霉病的抑制效果<sup>[14]</sup>。FAN Q ing 等在研究毕赤氏酵母(*P. membranefaciens*)对油桃采后根霉病的抑制效果时发现, 把酵母菌和杀菌剂扑海因(iprodione)一起使用, 其对根霉的抑制效果强于单独使用酵母菌或杀菌剂<sup>[29]</sup>。

### 4 酵母菌对果蔬采后病害生物防治的优势

近几年来, 酵母菌对果蔬采后病害生物防治越来越受到人们的重视。酵母菌与其它生防微生物相比, 具有许多优越性。

#### 4.1 拮抗效果好

酵母菌能有效地利用贫乏营养快速增殖, 干燥情况下可在果蔬表面定殖并存活相当长的时间, 能耐受低温等不良环境, 拮抗效果好。

在生产实践中, 生防菌往往要喷洒在果蔬表面, 要想到防止腐败菌入侵的作用, 必须能在干燥且营养贫乏条件下快速增殖, 从而占领果蔬表面空间; 另外, 果蔬的生物防治往往结合低温的保藏方法, 才能起到更好的效果, 因此, 作为生防菌必须能忍受低温的环境。许多酵母菌能在低温下生长, 范青等把季也蒙假丝酵母 (*Candida guilliemondii*) 接种在桃伤口处, 结果发现, 桃在 3 条件下贮藏 7 d, 桃伤口处的酵母增加 33 倍, 说明季也蒙假丝酵母菌在低温下也能生长<sup>[13]</sup>。

#### 4.2 可以和化学杀菌剂共同使用

酵母菌对化学杀菌剂有较大的抗性, 可以和化学杀菌剂混用, 减少杀菌剂的用量, 提高生防效果<sup>[30]</sup>。

在目前的情况下, 单独采用生防菌的抑菌效果往往比不上化学杀菌剂, 这限制了生防菌的应用前景, 可以考虑把生防菌和化学杀菌剂混用, 从而减少杀菌剂的用量, 把杀菌剂对人体的危害和对环境的污染降低到最低限度。许多科技工作者的研究发现, 生防真菌和生防细菌对化学杀菌剂的抗性较差, 而生防酵母菌对化学杀菌剂的抗性较大。田世平等发现, 用  $10^6 \sim 10^7$  CFU/mL 的丝孢酵母与 50 mL/L 的扑海因配合对苹果采后灰霉病和青霉病的抑制效果明显地好于单独使用相同剂量的拮抗菌和杀菌剂<sup>[31]</sup>, 说明丝孢酵母对杀菌剂扑海因具有抗性。

#### 4.3 不产生抗菌素

酵母菌不产生抗菌素, 可以避免病原菌对抗菌素产生抗性而降低生物防治的抑病效果, 另一方面也可以避免某些抗菌素对人体的不利影响。

### 5 酵母菌对果蔬采后病害生物防治的最新研究成果

使用生物工程技术改造拮抗酵母菌从而提高其生防效果, 是酵母菌用于果蔬采后生物防治的最新研究领域。最近, Jones 和 Prusky 合作, 克隆出杀菌肽 A 的编码基因, 并把它转化入啤酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 细胞, 啤酒酵母细胞转化体很好地阻止了毛刺盘孢属霉菌 (*Colletotrichum coccodes*) 孢子的萌发, 并有效地阻止了由毛刺盘孢属霉菌引起的西红柿的腐烂<sup>[32]</sup>。

### 6 酵母菌对果蔬采后生防存在的问题及未来研究方向

虽然许多种酵母菌已被证实对果蔬病原菌具有拮抗作用, 且酵母菌应用于果蔬采后生防有很多优势, 但到目前为止, 进行商业化生产的酵母菌只有毕赤氏酵母、假丝酵母等少数几种<sup>[33, 34]</sup>。其原因一方面是由于研究历史较短, 且文献报道的拮抗酵母大多用来防治果蔬伤口处的病原菌, 而不是直接用在果蔬表皮防止正常果蔬的

病原菌入侵<sup>[35]</sup>; 另一方面在商业生产条件下, 由于环境条件的不确定性, 其防效或者达不到要求或者不稳定, 且与化学杀菌剂相比防治成本较高; 另外, 酵母菌作为保鲜剂, 其使用方式不及化学杀菌剂方便。这些因素都影响了酵母菌作为果蔬保鲜剂在生产中的使用。为了使酵母菌尽快应用于实际生产, 今后应加强以下几方面的研究:

1) 继续加强酵母菌生防机理的研究, 为生产实践提供理论指导。

2) 进一步筛选和分离能有效地防治采后果实病害的拮抗酵母菌。

3) 加强酵母菌作为保鲜剂在果蔬上使用方式的研究, 特别是要研究酵母菌在果蔬采摘前使用的效果, 筛选酵母菌在果蔬上的粘着剂; 另外要寻找一种方便、快捷、高效的使用方式, 使酵母菌作为生防剂易操作使用。

4) 用生物工程的方法, 对生防酵母菌进行人工改造, 将拮抗性能强的拮抗菌基因转移到另一种在果蔬表面更具适应性的酵母菌中, 从而提高生防效果。

### 7 结 语

许多酵母菌对果蔬采后病害具有抑制作用, 可以用作生物防治剂。酵母菌作为果蔬生物防治拮抗菌的最大优点是它能在较干燥的果蔬表面生存, 能迅速利用营养进行繁殖, 受杀虫剂的影响较小。从对人体的安全性而言, 酵母菌不产生抑菌物质, 且是许多水果、蔬菜上的正常菌落成分, 被认为是对人体安全的, 许多酵母菌已广泛地应用在食品工业中。使用拮抗酵母控制由真菌属病原体引起的果蔬采后腐烂, 可以减少甚至替代抑菌剂, 保护生态环境, 是一项有良好应用前景的生物技术。

#### [参 考 文 献]

- [1] ElGhaouth A, Wilson C L. Biologically based technologies for the control of postharvest diseases[J]. Postharvest News and Information, 1995, 6: 5~ 11.
- [2] 陈萃仁, 崔绍荣, 方利军, 等. 草莓果实振动损伤的预测模型[J]. 农业工程学报, 1997, 13(3): 213~ 216
- [3] 孙 佃, 仇农学, 吴竞爽. 苹果贮运时的机械损伤规律及评价[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4): 208~ 212
- [4] 林河通. 现代果品贮藏保鲜技术的进展[J]. 农业工程学报, 1995, 11(1): 125~ 131.
- [5] Smilanick J L, Denis~ Arrue R. Control of green mold of lemons with *Pseudomonas species* [J]. Plant Dis, 1992, 76: 481~ 485.
- [6] Janisiewicz W J, Roitman J. Biological control of blue and gray mold on apple and pear with *Pseudomonas cepacia* [J]. Phytopathology, 1988, 78: 1697~ 1700
- [7] Maclaughlin R J, Wilson C L, Drobny S, et al. Biological control of postharvest diseases of grape, peach and apple with yeasts *Kloeckera apiculata* and *Candida guilliemondii* [J]. Plant Disease, 1992, 76: 470~ 473
- [8] Roberts R G. Postharvest biological control of gray mold of apple by *Cryptococcus laurentii* [J]. Phytopathology, 1990, 80: 526~ 530

- [9] Chalutz E, Wilson C L. Postharvest biocontrol of green and blue mold and sour rot of citrus fruit by *Debaryomyces hansenii* [J]. *Plant Dis*, 1990, 74: 134~ 137.
- [10] Wisniewski M E, Droby S, Chalutz E, et al Effects of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* in vitro and on the biocontrol activity of *Candida oleophila* [J]. *Plant Pathology*, 1995, 44: 1016~ 1024.
- [11] Benbow J M, Sugar D. Fruit surface colonization and biological control of postharvest diseases of pear by preharvest yeast applications [J]. *Plant Dis*, 1999, 9: 839~ 843.
- [12] Zahavi T, Cohen L, Weiss B, et al Biological control of *Botrytis*, *Aspergillus* and *Rhizopus* rots on table and wine grapes in Israel [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, 20: 115~ 124.
- [13] 范青, 田世平, 徐勇, 等. 季也蒙假丝酵母对采后桃果实软腐病的抑制效果 [J]. *植物学报*, 2000, 42(10): 1033~ 1038.
- [14] 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.
- [15] 范青, 田世平, 姜爱丽, 等. 采摘后果实病害生物防治拮抗菌的筛选和分离 [J]. *中国环境科学*, 2001, 21(4): 313~ 316.
- [16] 刘绍军, 林学岷, 周丽艳, 等. 啤酒酵母对草莓保鲜作用研究初报 [J]. *河北农业大学学报*, 1996, 19(3): 72~ 75.
- [17] 梁泉峰, 池振明. 间型假丝酵母菌株对多种蔬菜腐败霉菌的拮抗效果和拮抗机制的研究 [J]. *食品与发酵工业*, 2002, 28(1): 34~ 38.
- [18] 李红叶, 曹若彬. 果蔬采后病害生物防治研究进展 [J]. *生物防治通报*, 1993, 9(4): 176~ 180.
- [19] Droby S, Chalutz E. Mode of action of biocontrol agents for postharvest diseases [A]. In: Wilson C L, Wisniewski M E (Eds), *Biological control of postharvest disease of fruits and vegetables—Theory and Practice* [C]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1994: 63~ 75.
- [20] Droby S, Chalutz E, Wilson C L. Characterization of biocontrol activity of *Debaryomyces hansenii* in the control on *Penicillium digitatum* on grapefruit [J]. *Can J Microbiol*, 1989, 35: 794~ 800.
- [21] 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.
- [22] Wisniewski M E, Biles C, Droby S, et al Mode of action of the postharvest biocontrol yeast *Pichia guillemondii*. I. Characterization of attachment to *Botrytis cinerea* [J]. *Physiol Mol Plant Pathol*, 1991, 39(4): 245~ 258.
- [23] 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.
- [24] Droby S, Vinokur V, Weiss B, et al Induction of resistance to *Penicillium digitatum* in grape fruit by the yeast biocontrol agent *Candida oleophila* [J]. *Phytopathology*, 2002, 92: 393~ 399.
- [25] Ippolito A, El-Ghouth A. Control of postharvest decay of apple fruit by *Aureobasidium pullulans* and induction of defense responses [J]. *Postharvest Biological and Technology*, 2000, 19: 265~ 272.
- [26] 范青, 田世平, 刘海波, 等. 两种拮抗菌  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶和几丁酶的产生及其抑菌的可能机理 [J]. *科学通报*, 2001, 46(20): 1713~ 1717.
- [27] El-Ghouth A, Wilson C L, Wisniewski M. Ultrastructural and cytochemical aspects of the biological control of *Botrytis cinerea* by *Candida saitoana* in apple fruit [J]. *Biological Control*, 1998, 88: 283~ 287.
- [28] Calventz V, Benuzzi D, Tosetti M I. Antagonistic action of siderophores from *Rhodotorula glutinis* upon the postharvest pathogen *Penicillium expansum* [J]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 1999, 43(4): 167~ 172.
- [29] Fan Qing, Tian Shiping. Postharvest biological control of *Rhizopus* rot of nectarine fruits by *Pichia mannanifaciens* [J]. *Plant Dis*, 2000, 84: 1212~ 1216.
- [30] 程昌凤. 柑桔果实采后病害生物防治 [J]. *果树科学*, 1996, 13(2): 124~ 126.
- [31] 范青, 田世平, 徐勇, 等. 丝孢酵母与钙和杀菌剂配合对苹果采后病害的抑制效果 [J]. *植物学报*, 2001, 43(5): 501~ 505.
- [32] 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.
- [33] Droby S, Cohen L, Daus A, et al Commercial testing of aspire: a yeast preparation for the biological control of postharvest decay of citrus [J]. *Biological Control*, 1998, 12: 97~ 101.
- [34] Janiszewicz W J. *Biological control of postharvest diseases*. Handbook of Applied Mycology: Soils and Plants [M]. Dekker, New York, 1991: 301~ 326.
- [35] Yakoby N, Zhou R, Kobiler I, et al Development of *Colletotrichum gloeosporioides* REM mutants as biocontrol agents against anthracnose disease in avocado fruits [J]. *Phytopathology*, 2001, 91: 143~ 148.

## Research advances on the biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables with yeast

Zhang Hongyin, Jiang Yihong, Zheng Xiaodong, Xi Yufang, Sun Ping

(Food Science and Nutrition Department, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract** This paper discusses the approaches to the biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables with yeast, including biological effectiveness, biological mechanism, predominance and the recent research achievements of yeast used in postharvest biocontrol. The main mode of action of the yeast biocontrol agents against pathogen was considered as the competition for space and nutrients, direct parasitism and induced resistance in the host. In comparison with other antagonists, yeast biocontrol agents have shown great potential for the control of postharvest decay of fruits and vegetables, which are due to better biocontrol efficacy, producing no antibiotics. Furthermore, they can be used in combination with fungicide. Improving the biocontrol efficacy by biological engineering is the recent research field of biocontrol of postharvest diseases of fruits and vegetables with yeast. This paper also presents the problems of yeast used in postharvest biocontrol, and suggests new ideas for future research.

**Key words** postharvest diseases of fruits and vegetables; biological control; yeast; biocontrol effectiveness and mechanism