

木霉及其代谢产物在果蔬保鲜中的应用研究进展

杨萍, 杨睿

(哈尔滨商业大学 食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150028)

摘要:采后果蔬在贮藏运销过程中极易被病原菌感染发生严重的腐烂,而木霉及其代谢产物能抑制果蔬中常见病原菌的生长繁殖,起到抑菌防腐保鲜的作用。木霉对生物体无毒、无害、对环境无污染,是一种有发展前景的生物保鲜法。该文对近年来木霉在果蔬保鲜中的应用研究进展进行综述,包含木霉的种类、木霉保鲜机理,木霉及代谢产物在果蔬保鲜上的应用效果和木霉商业化产品,以及利用木霉开发保鲜产品中存在的问题及解决方法。

关键词:采后果蔬;木霉;代谢产物;生物保鲜;研究进展

Application of *Trichoderma* and Its Metabolites in Fruits and Vegetables Preservation

YANG Ping, YANG Rui

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, Heilongjiang, China)

Abstract: Postharvest fruits and vegetables are easy to be infected by pathogens during storage, transportation and marketing. *Trichoderma* and its metabolites can inhibit the growth and reproduction of common pathogens in fruits and vegetables, and play an important role in antibacterial, antiseptic and preservation. Moreover, *Trichoderma* is non-toxic, harmless and non polluting to the environment, which is a promising biological preservation method. In this paper, the application and research progress of *Trichoderma* in fruits and vegetables preservation in recent years were reviewed, including the types of *Trichoderma*, the preservation mechanism of *Trichoderma*, the application effect of *Trichoderma* and its metabolites in fruit and vegetable preservation, the commercial products of *Trichoderma*, and the problems and solutions in the development of fresh-keeping products by *Trichoderma*.

Key words: postharvest fruits and vegetables; *Trichoderma*; metabolites; biological preservation; research progress

引文格式:

杨萍, 杨睿. 木霉及其代谢产物在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1):220-224.

YANG Ping, YANG Rui. Application of *Trichoderma* and Its Metabolites in Fruits and Vegetables Preservations [J]. Food Research and Development, 2021, 42(1):220-224.

我国果蔬产量和消费量均处于世界前列,但由于果蔬采摘后自身呼吸作用、病原菌侵染、贮运条件等原因,造成约占总产量 20%~30%的腐烂^[1]。所以,针对果蔬保鲜技术的开发及应用对减少果蔬损耗有重要意义,也有利于国家的经济发展^[2]。果蔬保鲜的常用方法是使用化学保鲜剂,但果蔬经过化学保鲜剂处理后,残留在果蔬上的化学物质可能危害人体健康^[3]。且

化学保鲜剂的使用,会造成环境污染。出于对消费者的安全及环境污染考虑,多数的化学保鲜剂被禁用^[4]。木霉菌及其代谢产物对引起果蔬腐烂的多种病原菌有很强的抑制作用,与化学保鲜剂相比,具有天然、无毒、无污染等优点,因此以木霉及其代谢产物为基础的保鲜剂成为果蔬采后贮藏保鲜的研究热点。本文从木霉的种类、木霉的保鲜机理,木霉及其代谢物在果蔬保鲜上的应用以及木霉商业制剂和保鲜产品的开发等方面进行阐述,为木霉在果蔬保鲜方面的应用及

研究提供参考。

1 木霉种类、分布、性质

木霉属真菌广泛分布于世界各地,生存在富含有机物的土壤中。个别菌种受到地理环境影响,并非普遍存在。如勾状木霉和拟康宁木霉适应于湿度过高的土壤,而哈茨木霉常见于温暖气候地区。木霉也存在于各种植物根系表面,如腐烂的树皮当中^[5]。因木霉资源丰富,木霉的种类十分丰富,已经发现的木霉有250多种^[6]。吴紫燕等^[7]对我国不同地区农作物土壤进行采样,从土壤中分离出了9种木霉菌,包括哈茨木霉、棘孢木霉、绿色木霉、渐绿木霉、康宁木霉、深绿木霉、钩状木霉、长枝木霉、橘绿木霉。其中棘孢木霉和哈茨木霉数量占比最高。秦文韬等^[8]从湖南和湖北采集的土壤样品中分离出4种新木霉,依据形态学与分子生物学相结合的方法,依次命名为喜温木霉、华中木霉、大孢木霉和柠檬黄木霉。随着对木霉的研究深入,越来越多的新种木霉会被发现并命名。

木霉的生存和繁殖能力强,营养物质利用率高,对多种植物病原真菌有拮抗活性,可以防治由致病菌引起的多种植物病害和果蔬腐烂病^[9]。如灰霉病、炭疽病、褐斑病、绿霉病、蒂腐病等。木霉菌根系定殖能促进植物生长发育、提高植物对非生物胁迫的抵抗力以及养分的吸收和利用率,使作物产量增加^[10]。木霉分泌的有机酸能促进磷酸盐、微量矿物质和金属离子在土壤中的溶解^[9],因此,在缺乏这些营养物质的土壤中添加木霉,可以起到生物肥料的作用。此外,木霉还具有降解纤维素,提高植物防御能力等功能。

2 木霉的保鲜机理

木霉抑菌保鲜的机理有:竞争营养和空间、抗菌物质的产生、寄生作用、宿主抗病性的诱导等^[11]。

2.1 竞争营养与空间

对碳源、氮源、维生素和矿物质以及氧气等营养物质和空间的有效竞争是木霉等拮抗微生物对果蔬采后真菌起到抑制作用的一种方式^[12]。根据木霉的生长速度快、营养利用率高、适应环境能力强的特点,当木霉定殖在果蔬上,能利用表面营养物质繁殖、生长,迅速占领空间,使果蔬患病率下降^[13]。木霉等拮抗微生物保鲜效果还与果蔬的种类有关,不同果蔬含有不同的营养物质,利用率和效果也就不同,但从目前报道的相关文献来看,木霉都有较好的抑菌作用^[14]。常媛等^[15]利用从土壤中分离并鉴定的长枝木霉与核盘菌、立枯丝核菌、细链格孢菌对峙培养,通过观察对比,病原菌

菌落占据空间有所缩减。可以证明长枝木霉对3种病原菌生长有抑制作用,但对核盘菌的抑制效果最好,抑菌率为77.71%。Card等^[16]利用从草莓叶片上分离的深绿木霉LUI32制成浓度为 1×10^7 /mL孢子悬液喷洒在草莓上,能有效抑制草莓上灰霉病菌的生长,抑菌率为32%。并利用显微镜观察发现,深绿木霉是通过与灰霉菌竞争营养物质发挥抑制作用。

2.2 寄生作用

寄生是一种微生物附着在另一种微生物上,并吸收利用宿主体内的营养物质。木霉也可以通过寄生作用,达到抑菌保鲜的目的。这个寄生的过程为,首先木霉与病原菌接触、相互识别,之后沿着病原菌菌丝生长,通过分泌水解酶、进入宿主内并利用其中的营养,分解或破坏其结构,导致病原菌死亡^[17-18]。Elad等^[19]的研究发现哈茨木霉通过寄生方式抑制了引起马铃薯白绢病的齐整小核菌生长(*Sclerotium rolfsii*),也证明木霉能识别并附着在宿主菌丝上是因为一种凝集素的存在,它可以与木霉细胞壁的碳水化合物结合从而起到识别的作用。寄生作用发生的关键是细胞壁溶菌酶的产生。因为真菌细胞壁是由糖类化合物(如几丁质、葡聚糖)和细胞壁蛋白结合组成维持结构的完整性。木霉通过分泌几丁质酶、葡聚糖酶、蛋白酶等裂解病原真菌细胞壁,起到抑菌作用。如马桂珍等^[20]研究表明,用链孢粘帚霉产生的几丁质酶配制成的粗酶液处理玉米黄斑病、小麦赤霉病菌孢子和立枯丝核菌的菌核,显著降低了孢子萌发率。Deng等^[21]研究发现,哈茨木霉的天冬氨酸蛋白酶在毕赤酵母中表达的重组蛋白酶的酶活性高达321.8 U/mL,并且在含有4.56 μ g/mL蛋白酶的PDA平板上培养灰葡萄孢菌、立枯丝核菌、黄曲霉等多种病原菌,发现添加蛋白酶后使病原菌生长受到抑制,抑制率分别为57.3%、34.8%、26.1%。此外,蛋白酶还对导致苹果、黄瓜、橘子腐烂的灰霉病有抑制效果,也表明天冬氨酸蛋白酶有作果蔬保鲜剂的前景。同时也为直接利用细胞壁溶菌酶保鲜果蔬提供了依据。

2.3 抗生作用

微生物产生的物质能抑制或杀死病原体即为抗生作用,而木霉能产生多种具有抗生作用的物质。到目前为止,从木霉中分离得到有抑菌效果的代谢物有140余种^[22]。它们主要分为两大类:小分子易挥发的物质,主要有芳香族化合物、聚酮类、丁烯酸内酯类等;大分子类物质如木霉素、胶霉素、抗菌肽等^[23]。研究发现,从青蒿内分离的哈茨木霉对5种常见于猕猴桃腐烂致病菌,并对木霉发酵液进行分离纯化分析,明确乙酸乙酯对病原菌起抑制作用^[24]。Khare等^[25]研究发现用钾

木霉 *Gur1* 孢子数为 1×10^8 CFU/g 制成的悬浮液浸泡处理鹰嘴豆后,由尖孢镰刀菌引起的鹰嘴豆枯萎病发病率下降了 82.4%,也对鹰嘴豆生长起到促进作用。而钵木霉有抑菌作用主要依赖其产生的一种哌珀霉素,也证明木霉代谢产生抑菌物质是木霉有拮抗性的重要原因。

2.4 诱导抗性

木霉与植物接触后,诱导植物系统抗病性,也是木霉有抑菌保鲜作用的重要机制。诱导抗病性产生的原因可能在于木霉与植物相互作用,激发了自身的抗性反应,提高植物体内与抗病相关酶的活性^[26]。木霉与植物相互作用会产生效应因子(如丝氨酸蛋白酶、木聚糖酶、几丁质酶等),激活水杨酸、茉莉酸、乙烯信号传导途径,触发机体自身系统获得抗性反应和诱导系统抗性反应,增强抗病能力^[27-28]。徐文^[29]研究发现,长枝木霉 *H9* 能防治黄瓜的灰霉病,主要是经过木霉处理后黄瓜,使黄瓜体内与茉莉酸、水杨酸合成的相关基因表达量上调,最后茉莉酸和水杨酸含量显著提高。浓度为 1×10^7 mL 绿色木霉 *T6* 和 *T8* 的孢子悬液涂抹在苹果上,能降低由扩展青霉引起的腐烂^[30]。绿色木霉防腐作用主要是通过诱导苹果体内过氧化物酶、过氧化氢酶、 β -1,3-葡聚糖酶等防御酶活性实现。

3 木霉及代谢产物在果蔬保鲜上的研究

3.1 木霉在果蔬保鲜上的研究

木霉用于果蔬的保鲜最早是在 1977 年,Tronsmo 等^[31]利用木霉控制了由葡萄球菌引起的草莓腐烂。之后,因木霉自身对多种病原菌有拮抗作用,利用木霉防治果蔬病害的研究越来越多。Valenzuela 等^[32]通过体外木霉与炭疽病菌双重培养试验,在木瓜损伤处添加浓度为 1×10^6 mL 的木霉孢子悬液,证明木霉对木瓜炭疽病的拮抗能力。Panebianco 等^[33]利用浓度为 1×10^9 mL 深绿木霉和假单孢菌混合滤液浸渍处理柑橘,能有效抑制柑橘青霉病,抑制率达到 80% 以上。Suhanna 等^[34]用 3 种不同浓度木霉孢子悬液喷洒在茶碱杆菌侵染的芒果上,与对照组相比,浓度为 1×10^6 mL 处理后,腐烂率从 46.7% 下降到 31.7%,浓度为 1×10^3 mL 和 1×10^8 mL 则效果不明显。李佩芳等^[35]用稀释 600 倍后的木霉菌液浸泡处理青椒后,青椒 40 d 腐败率为 30.84%,而对照组 20 d 的腐败率为 78.80%,已经失去了商品价值。刘淑宇等^[36]研究发现用绿色木霉发酵液能降低芒果炭疽病 25% 发病率,也能延缓反映芒果品质的可溶性固形物(total soluble solids, TSS)、可滴定酸(titrable acidity, TA)等数值的下降。曹森等^[37]在采前喷洒 3×10^6 CFU/mL

哈茨木霉菌和采后喷洒 0.5 μ L/L 的 1-甲基环丙烯相结合处理樱桃番茄,比单独使用一种方法保鲜效果更明显,腐败率为 19.81%。高欣等^[38]用涂布木霉发酵液的聚乙烯塑料薄膜袋和瓦楞纸箱对黄瓜进行包装,并每隔两天随机抽样,测定与保鲜相关的各项指标,通过比较得出,包装材料在涂布发酵液后,黄瓜的营养损失更少且保鲜时间延长了 5 d。

3.2 木霉代谢物在果蔬保鲜上的研究

Pascale 等^[39]用浓度为 10 μ mol/L 哈茨木霉、深绿木霉的代谢产物哈茨酸和 6-戊基- α -吡喃酮溶液喷洒处理葡萄,可以使葡萄白粉病的发病率降低 60%。Saravanakumar 等^[40]发现棘孢木霉细胞壁降解酶和次级代谢产物协同防治黄瓜枯萎病的效果更好,防治率达到 71.67%。也证明代谢产物和细胞壁降解酶联用可提高抑菌能力。吴紫燕等^[41]利用橘绿木霉发酵代谢产物哌珀霉素制成含量 50 mg/L 液体制剂浸泡处理猕猴桃,防治了猕猴桃软腐病的发生,储藏期也延长了 30 d。张量等^[42]用渐绿木霉代谢产物中的 6-戊基-2H-吡喃酮配制成浓度为 400 μ g/mL 溶液,基本能完全抑制辣椒疫霉菌的生长。张婧迪^[43]用浓度为 2% 木霉菌代谢产物与稀释 5 000 倍的 0.1% 芸苔素内酯结合使用,对番茄灰霉病防治率达到 56.62%。

4 木霉商业制剂及保鲜产品的开发与存在问题

木霉对引起植物病害的多种真菌有拮抗作用、还具有促进植物生长和提高植物抗性等优良特性,所以木霉成为一种被广泛研究的真菌,也是农业生产上最常用的生物制剂。到目前为止,已有 200 多种木霉制剂可进行商业化生产,并作为生物农药、生物肥料、生长促进剂和天然抗性刺激剂销售^[44]。木霉生物制品最多的是亚洲,其次是欧洲、中南美洲和北美等,但大多数标签都显示为杀菌作用。国际上可以进行商业化生产的木霉制剂如美国用绿色木霉 *G-41* 生产的杀菌剂 BW240 W、巴西用棘孢木霉生产的生物制剂 Quality WG、南非用哈茨木霉 *SF* 生产的商业制剂 Bio-Tricho、以色列用哈茨木霉 *T39* 发酵制成的可湿性粉剂 Trichodex 等。国内也有一些木霉商业制剂的生产,多数应用在农业上。如防治番茄灰霉病的木霉菌可湿性粉剂、防治大白菜和黄瓜霜霉病的木霉菌可湿性粉剂^[45]等。

根据木霉菌对多种病原菌有拮抗作用这一性质,已经研究出多种木霉杀菌剂,用于防治果蔬采前的真菌病害。因此,也可以把木霉用于果蔬采后防腐保鲜中,制成生物保鲜剂。但在实际开发木霉保鲜剂时又

存在许多问题需要解决,如效果不稳定、理论研究不深入等问题^[46]。

1)效果不稳定:保鲜剂主要成分是有活性木霉孢子,容易受到外界环境(如温度、pH值等)、加工技术、使用方法等因素,导致菌种活性发生改变,抑菌效果不稳定。由于木霉自身原因,难以达到性质稳定。可以通过诱变育种、原生质体融合等技术^[47],得到效果更强且更稳定的木霉菌。在加工技术方面,对木霉菌发酵条件进行优化,培育出效果更稳定、储存期更长的孢子。

2)理论研究不深入:目前利用木霉在果蔬保鲜上的研究仅处于初级阶段,只对一部分果蔬有所研究,发现能延长果蔬储藏期。而具体是木霉中的哪些物质起到保鲜效果还需要深入研究。

5 前景与展望

木霉不仅可以研制成生物农药应用在农业上,也能应用于果蔬中,提高采后果蔬抗病性,延长果蔬储存期、减缓营养物质流失,是一种有应用潜力的真菌。但在实际开发中存在性质不稳定、储存期短等缺点,尚需深入的研究和改进。如何开发出高效、稳定、抗菌性能较好的木霉保鲜剂是今后的研究重点,也为生物保鲜代替化学保鲜奠定基础。

参考文献:

- [1] 张茜,李洋,王磊明,等.生物保鲜剂在果蔬保鲜中的应用研究进展[J].食品工业科技,2018,39(6):308-316.
- [2] 张慙,冯彦君.果蔬生物保鲜新技术及其研究进展[J].食品与生物技术学报,2017,36(5):449-455.
- [3] 曾丽华,王晋,陈文学.香辛料在果蔬保鲜中的应用及研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015,6(3):735-741.
- [4] 毕文慧,姚健,刘学俊,等.微生物在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J].食品工业科技,2017,38(20):347-351.
- [5] Papavizas G C. Trichoderma and gliocladium: biology, ecology, and potential for biocontrol[J]. Annual Review of Phytopathology, 1985, 23(1): 23-54.
- [6] Bissett J, Gams W, Jaklitsch W, et al. Accepted Trichoderma names in the year 2015[J]. IMA Fungus, 2015, 6(2): 263-295.
- [7] 吴紫燕,王承芳,干华磊,等.我国农作物根际土壤木霉菌资源分布调查[J].菌物研究,2016,14(1):43-51.
- [8] 秦文韬,庄文颖.木霉属产生无色子囊孢子的四个新种(英文)[J].菌物学报,2016,35(11):1317-1336.
- [9] Benítez T, Rincón A M, Limón M C, et al. Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains[J]. International Microbiology, 2004, 7(4): 249-260.
- [10] Harman G E. Multifunctional fungal plant symbionts: new tools to enhance plant growth and productivity[J]. New Phytologist, 2011,

189(3): 647-649.

- [11] 李静,刘丽娜,王安建,等.果蔬微生物保鲜技术的研究进展[J].食品与生物技术学报,2014,33(4):337-343.
- [12] Spadaro D, Droby S. Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 47(1): 39-49.
- [13] 邹佳迅,范晓旭,宋福强.木霉(*Trichoderma* spp.)对植物土传病害生防机制的研究进展[J].大豆科学,2017,36(6):970-977.
- [14] Francesco A D, Martini C, Mari M. Biological control of postharvest diseases by microbial antagonists: how many mechanisms of action? [J]. European Journal of Plant Pathology, 2016, 145(4): 711-717.
- [15] 常媛,杨兴堂,姜传英,等.一株能拮抗3种土传病害病原真菌的长枝木霉[J].草业科学,2017,34(2):246-254.
- [16] Card S D, Walter M, Jaspers M V, et al. Targeted selection of antagonistic microorganisms for control of Botrytis cinerea of strawberry in New Zealand[J]. Australasian Plant Pathology, 2009, 38(2): 183-192.
- [17] Dukare A S, Paul S, Nambi V E, et al. Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 59(2): 1-16.
- [18] 宋晓妍,孙彩云,陈秀兰,等.木霉生防作用机制的研究进展[J].中国农业科技导报,2006,8(6):20-25.
- [19] Elad Y, Barak R, Chet I. Possible role of lectins in mycoparasitism [J]. Journal of Bacteriology, 1983, 154(3): 1431-1435.
- [20] 马桂珍,高会兰,张拥华,等.链孢粘帚霉几丁质酶的诱导及其抗真菌活性研究[J].微生物学通报,2007,34(5):905-908.
- [21] Deng JunJin, Huang WeiQian, Li ZhiWei, et al. Biocontrol activity of recombinant aspartic protease from *Trichoderma harzianum* against pathogenic fungi[J]. Enzyme & Microbial Technology, 2018, 112(5): 35-42.
- [22] 尤佳琪,吴明德,李国庆.木霉在植物病害生物防治中的应用及作用机制[J].中国生物防治学报,2019,35(6):966-976.
- [23] 陈金莲.两株拮抗三七病原真菌木霉的生防应用潜力研究[D].昆明:云南师范大学,2016.
- [24] 何应红.青蒿内生真菌抗植物病原菌的研究[D].贵阳:贵州大学,2016.
- [25] Khare E, Kumar S, Kim K. Role of peptaibols and lytic enzymes of *Trichoderma cerinum* Gur1 in biocontrol of *Fusarium oxysporum* and chickpea wilt[J]. Environmental Sustainability, 2018, 1(5): 39-47.
- [26] 张华,孙颖颖,于晨,等.哈茨木霉对鸭梨采后青霉病的抑制效果及机理[J].安徽农学通报,2019,25(12):84-86.
- [27] 徐文,黄媛媛,贾振华,等.木霉防治灰霉病的研究进展[J].微生物学通报,2017,44(9):2184-2190.
- [28] 李梅,田莹,蒋细良.植物内生木霉菌研究进展[J].中国生物防治学报,2020,36(2):155-162.
- [29] 徐文.木霉-黄瓜互作过程中抗病信号传递途径分析[D].天津:河北工业大学,2017.
- [30] Fatemeh T, Bordbar H R, Etebarian, et al. Control of Postharvest

- Decay of Apple Fruit with *Trichoderma Virens* Isolates and Induction of Defense Responses [J]. Journal of Plant Protection Research, 2010, 50(2): 146–152.
- [31] 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.
- [32] Valenzuela N L, Angel D N, Ortiz D T, et al. Biological control of anthracnose by postharvest application of *Trichoderma* spp. on maradol papaya fruit[J]. Biological Control, 2015, 91(12): 88–93.
- [33] Panebianco S, Vitale A, Polizzi G, et al. Enhanced control of postharvest citrus fruit decay by means of the combined use of compatible biocontrol agents[J]. Biological Control, 2015, 84(5): 19–27.
- [34] Suhanna A, Aifaa Y N H, Shazalwardi S. *Trichoderma* sp. as a biological control agent in the postharvest treatment of mango stem-end rot[J]. Acta horticulturae, 2013, 1012(11): 775–782.
- [35] 李佩芳, 李鹏鹤, 史晓亚, 等. 木霉菌处理对青椒果实贮藏性状的影响[J]. 中国瓜菜, 2013, 26(4): 13–15.
- [36] 刘淑宇, 陈发河, 于新, 等. 绿色木霉菌发酵液对芒果采后炭疽病的抑制作用及保鲜效果[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(4): 133–138, 146.
- [37] 曹森, 吉宁, 马超, 等. 1-MCP 结合哈茨木霉菌对樱桃番茄贮藏的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 262–268.
- [38] 高欣, 郑华艳. 木霉菌涂膜材料对黄瓜保鲜期的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(3): 32–35.
- [39] Pascale A, Vinale F, Manganiello G, et al. *Trichoderma* and its secondary metabolites improve yield and quality of grapes[J]. Crop Protection, 2017, 92(2): 176–181.
- [40] Saravanakumar K, Yu C, Dou K, et al. Synergistic effect of *Trichoderma*-derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. cucumerinum[J]. Biological Control, 2016, 94 (3): 37–46.
- [41] 吴紫燕, 糜芳, 毛伟力. 脉珀霉素(Peptabols)对储藏期猕猴桃软腐病的防治效果[J]. 农药, 2019, 58(2): 145–149.
- [42] 张量, 张敬泽. 渐绿木霉菌抑菌物质的分离纯化及其对植物病原菌的抑制作用[J]. 中国农业科学, 2015, 48(5): 882–888.
- [43] 张婧迪, 陈捷, 刘志诚, 等. 深绿木霉菌发酵代谢物与芸苔素内酯复配效果评价[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2017, 35(5): 1–7.
- [44] Woo S L, Ruocco M, Vinale F, et al. *Trichoderma*-based Products and their Wide spread Use in Agriculture[J]. The Open Mycology Journal, 2014, 8(1): 71–126.
- [45] 董瑞利, 谢学文, 贺字典, 等. 木霉菌防治蔬菜病害应用技术[J]. 中国蔬菜, 2013, 21(3): 22–24.
- [46] 裴纪莹, 王未名, 陈建爱, 等. 拮抗菌在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 334–336.
- [47] 周晓丽, 苗青, 范海延. 应用木霉菌防治蔬菜病害的研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2005(3): 57–59.

加工编辑: 姚骏

收稿日期: 2020-06-24

欢迎订阅 2021 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办, 国内外公开发行的食品专业科技期刊, 1980 年创刊, 半月刊, 采用国际流行开本大 16 开。其专业突出, 内容丰富, 印刷精美, 是一本既有基础理论研究, 又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录, 并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE 中国核心学术期刊(A)。主要栏目有: 基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS; 国际刊号 ISSN 1005-6521; 邮发代号: 6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2021 年定价: 30 元/册, 全年 720 元。

本编辑部常年办理邮购, 订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址: 天津市静海县静海经济开发区南区科技路 9 号; 收款人: 《食品研究与开发》编辑部; 邮政编码: 301600。

(2) 银行汇款。开户银行: 工商银行静海支行, 行号: 102110000863。

账号: 0302095119300204171; 单位: 天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真): 022-59525671