

Application of yeasts in plant diseases management

Noorallah Hasanpour, Mahdi Arzanlou✉

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: 02.11.2022

Accepted: 06.15.2022

Hasanpour, N., & Arzanlou M. (2023). Application of yeasts in plant diseases management. *Plant Pathology Science* 12(1), 94-104. Doi: 10.2982/PPS.12.1.94

Abstract

Yeasts are widely distributed on earth. They play role in industries such as bakery, fermentation, protein production, the synthesis of chemicals such as riboflavin and citric acid, agriculture and plant diseases management. They are effective in reducing plant diseases. through a variety of mechanisms, such as competition for food and space, parasitic relationship with the pathogen, induction of plant resistance, mycoparasitism, ecological niche occupation, mycotoxin detoxification and production of cell wall degradation enzymes. The superior characteristics of yeasts are greater tolerance and adaptation to thermal fluctuations at low and high temperatures, adaptation in a wide range of relative humidity, pH fluctuations, low oxygen levels, high proliferation rate, limiting the pathogen population and tolerance to UV radiation. Due these characteristics, yeasts are considered as one of the best choices to use in the process of biological control. In this paper, the positive aspects of yeasts compared to other microbial agents, their role in agriculture and management mechanisms of plant diseases are discussed.

Key words: *Candida*, *Cryptococcus*, *Pichia*, *Saccharomyces*

مقاله ترویجی

کاربرد مخمرها در مدیریت بیماری‌های گیاهی

نوراله حسن‌پور، مهدی ارزنلو✉

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲

حسن‌پور، ن.، ارزنلو، م. (۱۴۰۱) کاربرد مخمرها در مدیریت بیماری‌های گیاهی.

Doi: 10.2982/PPS.12.1.94

دانش بیماری‌شناسی گیاهی ۱۲(۱): ۹۴-۱۰۴.

چکیده

مخمرها پراکنش وسیعی در سطح زمین دارند. آن‌ها در صنایعی مانند نانواپی، صنایع تخمیری، تولید پروتئین، سنتز مواد شیمیایی مانند ریوفلاوین و اسید سیتریک، کشاورزی و مدیریت بیماری‌های گیاهی نقش دارند. آن‌ها با مکانیسم‌های متنوعی مانند رقابت برای مواد غذایی و فضا، برقراری رابطه انگلی با بیمارگر، القای مقاومت در گیاه، قارچ انگلی، اشغال پردازه بوم‌شناختی، سم‌زدایی زهر قارچ و تولید آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی در کاهش بیماری‌های گیاهی موثر هستند. از خصوصیات برتر مخمرها می‌توان به تحمل و سازگاری بیشتر نسبت به نوسانات حرارتی در دماهای

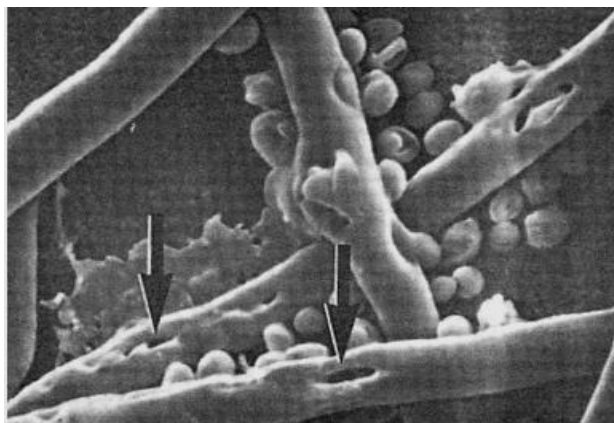
✉ Corresponding author: arzanlou@hotmail.com

پایین و بالا، سازگاری در طیف گسترده‌ای از رطوبت نسبی، نوسانات pH، سطوح اکسیژن کم، سرعت تکثیر زیاد، محدود کردن جمعیت بیمارگر و تحمل به اشعه UV را نام برد. با توجه به ویژگی‌های گفته شده مخمرها به عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای به کارگیری در فرایند مهار زیستی در نظر گرفته می‌شوند. در این مقاله جنبه‌های مثبت مخمرها نسبت به دیگر عوامل میکروبی، نقش آن‌ها در کشاورزی و سازوکارهای مدیریت بیماریهای گیاهی بحث و بررسی شده است.

واژگان کلیدی: *Candida*, *Cryptococcus*, *Pichia*, *Saccharomyces*

مقدمه

مخمرها قارچ‌های تک‌سلولی هستند که با جوانه‌زدن تکثیر می‌یابند. آن‌ها در سطح مواد حاوی قند مانند شهد گل‌ها، سبزیجات، میوه‌ها، خاک، آب‌های دریایی و شیرین، شیر، ترشحات حیوانات، گیاهان، حشرات و دستگاه گوارشی پستانداران حضور دارند (Khodaparast 2015). استفاده از سمهای شیمیایی از مهم‌ترین راه‌های کنترل بیمارگرهای گیاهی می‌باشد ولی مصرف سمهای شیمیایی علاوه بر خطرات سوء زیست محیطی، سبب بروز مقاومت بیمارگرها به سمها نیز می‌شوند. جایگزینی سمهای شیمیایی با عوامل زیستی مفید می‌تواند در کاهش خطرات استفاده از سمهای شیمیایی و خسارت‌های ناشی از عوامل بیماری‌زای گیاهی مؤثر واقع شود. در این بین، مخمرها با توجه به گستردگی، قابلیت مهار زیستی، سازگاری با محیط زیست و ایمن بودن برای سلامت انسان، جایگزین‌های امیدوار کننده‌ای برای ترکیبهای شیمیایی حفاظت از گیاهان هستند و در طی چند دهه گذشته، مطالعه بر روی سازوکارهای مهار زیستی مخمرها به‌طور گسترده ای صورت پذیرفته است. تعدادی از مخمرها جهت کنترل مؤثر بعضی از بیمارگرهای پس از برداشت میوه گزارش شده اند. مخمر *Pichia guilliermondii* wick روی کپک سبز مرکبات (شکل ۱)، مخمرهای *Kloeckera*، *Debaryomyces hansenii* Zopf، *Monchaster Candida oleophila*، *P. anomala* L. و *apiculate* Berkh. بر علیه پوسیدگی‌های پنیسیلیومی (Long et al. 2007)، مخمرهای *C. sake* Saito & M. ota، *C. formata* Meyer & Yarrow، *C. saitona* Nakase & Suzuki، *Aureobasidium pullulans*، *Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex E.C. Hansen، *Cryptococcus Metschnikowia fruticola* Kurtzman & Droby، (de Bary) G. Amaud، *M. pulcherrima* Pittes & Miller، *laurentii* (Kuff.) C.E. Skinner. روی پوسیدگی میوه مرکبات (Liu et al. 2010)، مخمرهای *Cr. laurantii*، *Cr. albidus* (Saito) Skinner، (Helbig) *Cr. intermedia* (Cif. & Ashford) Langeron & Guerra و مخمر *C. intermedia* (Cif. & Ashford) Langeron & Guerra روی کپک خاکستری میوه توت‌فرنگی را می‌توان اشاره کرد (Huang et al. 2011).



شکل ۱. چسبیدن سلول‌های مخمر *Pichia guilliermondii* به ریشه قارچ *Penicillium* sp. Link. و ایجاد حفره در محل تماس آن‌ها (Agrios 2005).

Figure 1. Adhesion of *Pichia guilliermondii* yeast cells to the hyphae of the fungus *Penicillium* sp. Link. and create holes in their contact area (Agrios 2005).

از بین هفت جدایه مخمر جداسازی شده از ریشه، ساقه و برگ نخود، دو جدایه *Bullera sinensis* Li. و *Cr. laurentii* به طور چشمگیری باعث کاهش خسارت ناشی از *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn. گردیدند (De Tenório et al. 2019). کاهش پوسیدگی ناشی از قارچ *Rhizopus* Ehrenb. در انگور طی دوران انبارداری با پاشیدن مخمر *P. guilliermondii* پیش از برداشت روی سطح میوه‌ها گزارش شده است. کاربرد مخمرهای شایع در فیلوسفر (*Sporobolomyces roseus* Kluver & C.B. Niel و *Cr. flavescens* (Saito) C.E. Skinner)) سه تا پنج روز قبل از مایه‌زنی با *Colletotrichum graminicola* D.J. Politis باعث کاهش ۵۰ درصدی شدت بیماری و بروز نکروز می‌شود که ظاهراً به دلیل کاهش میزان نفوذ بیمارگر و عدم تشکیل میخ‌رخنه (اپرسوریوم) می‌باشد (Thambugala et al. 2020). مخمرهای *C. membranifaciens* (Loder & Kreger-van der Walt, *Cr. laurentii* (Rij) Wick. & Burton, *Kluveromyces* spp. Van der Walt, *Trichosporon pullulans* (Lindner) Didlens & Lodder در کاهش جوانه‌زنی کنیدی‌ها و بازدارندگی از رشد میسلیم‌های بیمارگر کپک خاکستری میوه کیوی ناشی از قارچ *Botrytis cinerea* Pers. موثر گزارش شده‌اند (شکل ۲) (Cook et al. 1999).

بر اساس مطالعات یوسف و سلیمان (Youssef and Soliman 1997) جدایه‌ی مصری *S. cerevisiae* باعث کاهش جمعیت نماتد *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) شده است. مطالعات روی برخی عوامل کنترل زیستی جداسازی شده از خاک نشان داده است که مخمر *C. ethanolica* Rybárová, Štros & Kock-Krat. دارای بیشترین نقش در کنترل بیماری پژمردگی باکتریایی گوجه‌فرنگی و فلفل ناشی از باکتری *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi در شرایط آزمایشگاه و مزرعه می‌باشد (Nguyen and Ranamukhaarachchi 2010). چندین مطالعه کامل فعالیت مهار زیستی مخمرهای *Cr. laurentii* و *C. tenuis* Diddens & Lodder را در برابر



شکل ۲. کارایی مخمر *Candida membranifaciens* در مهار بیماری کپک خاکستری میوه کیوی در برهمکنش آن با بیمارگر روی برش میوه کیوی (تشتک پتری سمت چپ) در مقایسه با تیمار بیمارگر به عنوان شاهد (تشتک پتری سمت راست) (Beiki 2020).

Figure 2. Efficacy of *Candida membranifaciens* yeast in controlling kiwi gray mold in interaction with the pathogen on kiwi fruit slices (left petri dish) compared to pathogen treatment as control (right petri dish) (Beiki 2020).

باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی مانند *Pectobacterium carotovora* sub sp. *Carotovora* Jones & Waldee روی میوه‌های فلفل دلمه‌ای و *Erwinia amylovora* Burrill & Winslow. روی گل‌های گلابی نشان داده است. در سال‌های اخیر در ایران در رابطه با توانایی مخمرها به عنوان عامل کنترل زیستی مطالعاتی انجام شده است. مخمرهای *P. guilliermondii*، *Rhodotorula mucilaginosa* (A. jrg.) F.C. Harrison و *C. membranifaciens* Hansen جداسازی شده از سطح سیب قادر به کنترل کپک خاکستری سیب هستند (Alavi Fard et al. 2012). در شمال ایران تعدادی مخمر از اندام‌های هوایی و میوه مرکبات جداسازی شده‌اند و مخمرهای *Sp. Ruberrimus* Yamaski & H. Fujii ex Fell, Pinel, Scorzetii, Statzell & *Cr. Magnus* Lodder & Kreger و *Cr. albidus*، *Rhodotorula* sp. F.C. Harrison، Yarrow - van Rij - برترین جدایه‌ها از لحاظ القای مقاومت در نهال مرکبات نسبت به بیماری بلاست باکتریایی مرکبات بوده‌اند (Beiki et al. 2013).

اهمیت مخمرها در صنایع و کشاورزی

مخمرها در صنایعی مانند نانواپی، صنایع تخمیری، تولید پروتئین‌های تک سلولی و سنتز مواد شیمیایی مانند ریوفلاوین و اسید سیتریک نقش دارند (Khodaparast 2015). مخمر *S. cerevisiae* به عنوان یک عامل خمیر مایه اولیه برای تولید نان و سایر محصولات مانند کلوچه، کیک، چوب شور، شیرینی و غیره استفاده می‌شود. مخمرهای *C. famata* Zopf، *C. robusta* Diddens & Lodder، *D. subglobosus* (Zach) Lodder et Kreger- van Rij و همچنین گونه‌هایی از جنس‌های

گسترده‌ای از مخمرهای موجود در خاک برای پتانسیل آن‌ها به عنوان کودهای زیستی مورد تحقیق قرار گرفته است (Eman et al. 2008). نقش برخی از مخمرهای خاک در تشکیل خاکدانه خاک از دهه ۱۹۷۰ شناخته شده است. گونه‌های مخمرهای *Cryptococcus Vuil.* و *Lipomyces Lodder* & Kreger، بر ساختار خاک تأثیر می‌گذارند زیرا آن‌ها قادر به تولید ترکیبهای پلیمری خارج سلولی هستند که ذرات خاک را به یکدیگر متصل می‌کنند (Botha 2006). جنس‌های *Candida Berk.*، *Rhodotorula*، *Geotrichum Link* و *Saccharomyces* و *Williopsis Zender* قادر هستند آمونیوم را به نیترات در شرایط آزمایشگاهی تبدیل کنند (Al-Falih 2006).

خصوصیات برتر مخمرها در مبارزه زیستی

در میان موجودات، مخمرها به عنوان عوامل مبارزه زیستی مؤثر، دارای اهمیت بسیاری هستند. مخمرها دارای خصوصیات برتری مانند تحمل و سازگاری بیشتر نسبت به نوسانات حرارتی در دماهای پایین و بالا، سازگاری در طیف گسترده‌ای از رطوبت نسبی، نوسانات pH، سطوح اکسیژن کم و تحمل به اشعه UV هستند. مخمرها، پلی ساکاریدهای خارج سلولی تولید کرده و در حالی که بقاء خود را افزایش می‌دهند، افزایش جمعیت بیمارگر را نیز محدود ساخته و قادر هستند از مواد غذایی به سرعت استفاده کرده و سریع‌تر تکثیر یابند (Sharma et al. 2009). با توجه به ویژگی‌های گفته شده، مخمرها از بهترین گزینه‌ها برای به کارگیری در فرایند کنترل زیستی به شمار می‌روند.

سازوکارهای مخمرها در مهار بیمارگرهای گیاهان

مخمرها با سازوکارهای متنوعی مانند رقابت برای مواد غذایی و محل استقرار، برقراری رابطه‌ی انگلی با بیمارگر (Wisniewski et al. 1991)، القای مقاومت در گیاه، قارچ انگلی (Mycoparasitism)، تولید ترکیبهای آلی پادزیستی، اشغال جایگاه زیستی و تولید آنزیمهای تجزیه کننده‌ی دیواره‌ی سلولی در کاهش شدت بیماریهای گیاهی موثر هستند (Yao and Tian 2005).

۱. رقابت با بیمارگرها برای مواد غذایی و محل استقرار: همه ریزجانداران برای تأمین غذا و مکان با یکدیگر و میزبان‌هایشان رقابت می‌کنند. این سازوکار به عنوان روش اصلی مخمرهای دارای پتانسیل استفاده در مهار زیستی در نظر گرفته می‌شود. برای مخمرهای دارای پتانسیل استفاده در مهار زیستی، آهن یکی از مواد مغذی مورد نیاز است که به جستجوی آن می‌پردازند و رقابت برای جذب آهن به عنوان یک روش مهم شناخته شده است. کلنی‌های قرمز رنگ *M. pulcherrima* به دلیل تشکیل دی‌پتید حلقوی و پولکمریمینیک اسید (Pulcherriminic acid) آهن را تجمع می‌کنند (Gore-Lloyd et al. 2019). در *A. pullulans* سیدروفور فوزارینین C شناخته شده است، که فعالیت ضد باکتری دارد. تشکیل بیوفیلم (Biofilm) ممکن است یک راهبرد خاص و بسیار موفق

برای رقابت در محل استقرار در نظر گرفته شود. تولید بیوفیلیم مخمر با چسبندگی سلول‌های منفرد به یک سطح شروع می‌شود و معمولاً شامل تغییرهایی در دیواره سلول است. تشکیل بیوفیلیم در گونه *Pichia fermentans* Lodder در زخم‌های سبب از بیماری‌های پس از برداشت محافظت می‌کند (Fiori et al. 2012).

۲. توانایی قارچ‌انگلی یا فراانگلی: گزارش شده که مخمر *P. guilliermondii* به شدت به ریشه‌های *B. cinerea* می‌چسبد و احتمالاً به دلیل ترشح آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی مانند گلوکاناز باعث تخریب ریشه می‌شود. شبه مخمر *Pseudozyma aphidis* Heninger & Windisch رابطه انگلی با *B. cinerea* و *Podosphaera xanthii* (Schltdl.) U.Braun & S. Takam. (Calderon et al. 2019). جنس *Saccharomycopsis* Schiønn. شامل مخمرهایی است که مستقیماً از طعمه خود تغذیه می‌کنند، برای کنترل گونه‌های مختلف *Penicillium* مطالعه شده است (Junker et al. 2019).

۳. تولید ترکیب‌های آلی پادزیستی: شامل هیدروکربن‌ها، الکل‌ها، تیو الکل‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها، تیواسترها، سیکلوهگزان‌ها، ترکیب‌های هتروسیکل، فنل‌ها و مشتقات بنزن می‌باشد. مواد تولید شده توسط *A. pullulans* در کاهش میزان رشد و آلودگی توسط *B. cinerea*، *P. digitatum*، *Penicillium expansum* Link، *Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds (Pers.) Sacc. و *P. italicum* Wehmer. در شرایط آزمایشگاهی و در گیاهان اثبات شده است (Di Francesco et al. 2014). مواد فرار تولید شده توسط *C. sake* باعث کاهش پوسیدگی سبب ناشی از *P. expansum* و *B. cinerea* شده است (Arrarte et al. 2017). فعالیت بازدارندگی مخمر *Sporidiobolus pararoseus* Fell & Taiiman در جوانه زنی اسپور و رشد میسلیوم *B. cinerea* به طور عمده به ۲-اتیل-۱-هگزانول نسبت داده شده است، در حالی که در *C. intermedia* ۷،۵،۳،۱ سیکلواکتاترئین، ۳-متیل-۱-بوتانول، ۲-نانون و الکل فنیل اتیل به عنوان اجزای اصلی مواد آلی فرار خود در طی تعامل با این بیمارگر تولید کرده است (Huang et al. 2011). مواد آلی فرار آزاد شده توسط *P. anomala* Bedford ex Kudryavisev، *P. kluyveri* و *Hanseniaspora uvarum* (Niehaus) Shehata رشد *Aspergillus ochraceus* Wilhelm و تولید اوکراتوکسین A (Ochratoxin A) را مهار می‌کنند (Masoud et al. 2005).

۴. تولید آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی بیمارگرها: تولید آنزیم‌های تخریب کننده سلولی یک ویژگی مشترک در انواع برهمکنش‌های جاندار متعارض-بیمارگر است و به فراوانی مورد بررسی قرار گرفته است. آنزیم‌های تولیدی مانند کیتینازها، گلوکانازها یا پروتئازها به طور منظم در مخمرهای متعارض گزارش شده و در فعالیت مهار زیستی آن‌ها نقش دارند. ترشح آنزیم‌های تجزیه کننده کیتین از ویژگی‌های مطلوب برای عوامل مبارزه زیستی در نظر گرفته شده است که باعث تخریب دیواره سلولی قارچی می‌شود. فعالیت تخریب کیتین در مخمرهای با فعالیت مهار زیستی در جنس‌های

Metschnikowia T., *Debaryomyces* Lodder & Kreger-van Rij, *Candida*, *Aureobasidium*, *Tilletiopsis* Derx, *Saccharomyces*, *Pichia*, *Meyerozyma* Wick & Kurtzman, Kamienski, *Saccharomycopsis* Schionning و *Wickerhamomyces* Kurtzman Robnett, Bas.-Powers گزارش شده است (Junker et al. 2019).

گلوکان‌ها اجزای اصلی دیواره سلولی در قارچ‌ها هستند که در تغییر دیواره سلول، چسبندگی سلول و مقاومت به توکسین کشنده نقش دارند. آنزیم ۱-۳-بتا-گلوکاناز در مخمر *C. oleophila* اولین ژن کلون شده در این مخمر می‌باشد. در مخمر *Wickerhamomyces anomalus* (E.C. Hansen) Kurtzman, Robnett, Bas.-Powers حذف دو اگزو-بتا گلوکاناز (PaEXG1 و PaEXG2) به طور قابل توجهی فعالیت مهار زیستی این مخمر روی میوه‌ها را علیه *B. cinerea* کاهش می‌دهد، در حالی که تنها حذف PaEXG2 باعث کاهش عملکرد مهار زیستی نمی‌شود (Grevesse et al. 2003). شش جدایه *S. cerevisiae* با تولید دو اگزو-بتا گلوکاناز دارای فعالیت ضد قارچی در برابر *C. acutatum* هستند (Lopes et al. 2015).

فعالیت تجزیه‌کنندگی چربی (لیپولیتیک) اغلب در غربالگری فعالیت آنزیمی خارج سلولی مخمرها و شبه‌مخمرها مشاهده می‌شود. این ویژگی مربوط به مصرف لیپیدهای تجمع یافته قبلی و تحمل سرما در مخمرهای مقاوم به سرما (Extremophile) است. علاوه بر این، فعالیت لیپاز در مخمرهایی مانند *Candida*، *Cryptococcus* و گونه‌های *Malassezia* Louis شناسایی و نشان داده شده است (Sommer et al. 2016). مطالعات متعددی نقش لیپازها را در اثر بخشی مهار زیستی باکتری‌ها و قارچ‌ها در برابر بیماری‌ها و آفات گیاهی نشان داده‌اند.

اگرچه پروتئازها از عوامل مهم بیماری‌زایی در قارچ‌های بیمارگر حشرات و میکوپارازیت‌های رشته‌ای هستند، ولی به ندرت در مخمرهای آنتاگونیست مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پروتئاز Alp5 تولیدی توسط مخمر *A. pullulans* باعث کاهش جوانه زنی اسپور و طول لوله تندش در قارچ‌های *P. Alternaria alternata* و *Monilinia fructicola* (G.Winter) Honey *B. cinerea*, *expansum* (Fr.) Keissl. در شرایط آزمایشگاهی شد. (Banani et al. 2014).

۵. سم‌زدایی از زهر قارچ‌های بیمارگرهای گیاهان

جذب زهر قارچ‌ها از طریق دیواره سلولی: مخمرهای *S. cerevisiae* و *S. boulardii* Seguela, Bastide & Massot دارای توانایی سم‌زدایی از زهر قارچ‌ها هستند. فعالیت سم‌زدایی جدایه‌های مخمر برای کاهش غلظت آفلاتوکسین-B1 (Aflatoxin B1) که توسط قارچ‌های *Aspergillus flavus* Link و *A. parasiticus* Speare تولید می‌شود، به این صورت است که اجزای دیواره سلولی مخمر مسئول جذب زهر قارچ AFB1 هستند (Pizzolitto et al. 2011). غلظت سم T-2 توسط جدایه‌های آزمایش شده *Lactobacillus* (Leichmann) Beijerinck و *S. cerevisiae* به میزان بالایی کاهش یافت. پس از ۶ ساعت نگهداری در انکوباتور، جدایه‌های *Lactobacillus* غلظت T-2 را ۲۶/۶۸-

۵۱/۷۵٪ (متوسط ۴۲/۶۴٪) کاهش دادند و پس از ۲۴ ساعت، در سطح ۳۱/۰۹-۵۰/۱۰ میکروگرم در میلی لیتر (متوسط ۳۹/۰۱ میکروگرم در میلی لیتر) باقی ماند. زوو و همکاران (Zou et al. 2015) در مطالعات خود سطح مشابهی از سم زدایی توکسین T-2 که توسط قارچ *Fusarium sporotrichioides* Sherb. تولید می‌شود، توسط جدایه های *S. cerevisiae* به دست آوردند و دریافتند که کاهش غلظت توکسین T-2 ناشی از اتصال زهرقارچ به دیواره سلولی مخمر است.

تبدیل زهرقارچها به ترکیبهای کمتر سمی: محققان گزارش کردند که زهرقارچها توسط جدایه‌های مخمر به ترکیبهای با سمیت کمتر تبدیل می‌شوند. بوسوالد و همکاران (Böswald et al. 1995) گزارش کردند که زرالنون (Zearalenone) که ناشی از قارچ *Fusarium* (Schwein.) Petch است، به α -Zeralenol و بتا زرالنوال (β - Zeralenol) تبدیل می‌شود. موس و لانگ (Moss and Long 2002) گزارش دادند که مخمر *S. cerevisiae* پاتولین (Patulin) را که توسط چندین گونه قارچ از جمله *Aspergillus* Micheli، *Penicillium* و *Byssoschlamys* Westling تولید می‌شود، به آسکلادیول (Ascladiol) تبدیل می‌کند. سمیت حاد آسکلادیول تنها یک چهارم قدرت پاتولین را دارد. اصلی‌ترین قارچ تولید کننده این زهرقارچ *P. expansum* می باشد که عامل بیماری کپک آبی می‌باشد.

۶. القای مقاومت در گیاهان: در القای مقاومت توسط مخمرها، مسیرهای مختلفی تأثیرگذار هستند. ترکیبات گلیکوپپتیدی دیواره سلولی مخمر سبب تجمع فیتوالکسین کامالکسین (Camalexin) و بیان ژن‌های مقاومت سیستمیک اکتسابی نسبت به باکتری *Pseudomonas syringae* pv. *Syringae* Van Hall در *Arabidopsis* sp. L. شده است (Raacke et al. 2006). مخمرها پس از القای اولیه مقاومت در گیاه، قادر هستند تا سبب بیان انواع متفاوتی از فیتوالکسین و یا پروتئین‌های مرتبط با بیماری‌زایی (PR-Protein) شوند. به عنوان مثال می‌توان افزایش فیتوالکسین‌های اسکوپارین (Scoparone) و اسکوپولتین (Scopoletin) در مرکبات، افزایش آنزیم‌های مرتبط با بیماری‌زایی یعنی کیتیناز، گلوکاناز و پراکسیداز در سیب و مرکبات را نام برد (Ippolito and Nigro 2000).

نتیجه‌گیری

در شرایطی که عوامل بیماری‌زای گیاهی خسارت زیادی در مراحل مختلف داشت و برداشت گیاهان ایجاد می‌کنند، استفاده از سمهای شیمیایی اجتناب‌ناپذیر است، ولی ممکن است خطرهایی برای سلامت انسان و محیط‌زیست در پی داشته باشند. جایگزینی سمهای شیمیایی با ریزجانداران مفید می‌تواند در کاهش این خطرها مؤثر واقع شود. در این بین، مخمرها با توجه به گستردگی، توانایی

مهار زیستی، سازگاری با محیط زیست و ایمن بودن برای سلامت انسان، جایگزین‌های امیدوارکننده‌ای برای سم‌های شیمیایی حفاظت از گیاهان هستند و در طی چند دهه گذشته، مطالعه روی سازوکارهای مهار زیستی مخمرها به‌طور گسترده‌ای صورت پذیرفته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مخمرها با سازوکارهای مختلفی مانند: رقابت با بیمارگرها برای مواد غذایی و محل استقرار، توانایی فرآنگلی، تولید ترکیب‌های آلی پادزیستی، تولید آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی بیمارگرها، سم‌زدایی از زهرقارچ‌های بیمارگرهای گیاهان و القای مقاومت در گیاهان، می‌توانند نقش مهمی در مدیریت بیماری‌های گیاهان داشته باشند.

References

منابع

- Agrios, G.N. (2005). Plant Pathology. Elsevier Academic Press, Burlington, MA, USA, 344P.
- Alavi Fard, F., Etebarian, H., & Sahebani, N. (2012). Biological control of gray mold of apple by *Candida membranifaciens*, *Rhodotorula mucilaginosa* and *Pichia guilliermondii*. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 48, 17–26.
- Al-Falih, A.M. (2006) Nitrogen transformation in vitro by some soil yeasts. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 13, 135-140
- Arrarte, E., Garmendia, G., Rossini, C., Wisniewski, M., & Vero, S. (2017). Volatile organic compounds produced by Antarctic strains of *Candida* sake play a role in the control of postharvest pathogens of apples. *Biological Control*, 109, 14-20.
- Banani, H., Spadaro, D., Zhang, D., Matic, S., Garibaldi, A., & Gullino, M.L. (2014). Biocontrol activity of an alkaline serine protease from *Aureobasidium pullulans* expressed in *Pichia pastoris* against four postharvest pathogens on apple. *International Journal of Food Microbiology*, 183, 1–8.
- Beiki, F. (2020). Biological control of kiwi gray mold patients using native yeasts isolated from Iran. *Biocontrol in Plant Protection*, 7(2), 31-48.
- Beiki, F., Mohamadi Goltapeh, E., Rahimian, H., Shamsbakhsh, M., Barzegar, A., Busquets, B., & Lalucat, J. (2013). Biological control of citrus blast disease using some yeast strains isolated from citrus orchards in the Northern provinces of Iran. *Biocontrol in Plant Protection*, 1, 51–64.
- Böswald, C., Engelhardt, G., Vogel, H., & Wallnöfer, P.R. (1995). Metabolism of the *Fusarium* mycotoxins zearalenone and deoxynivalenol by yeast strains of technological relevance. *Journal of Natural Toxins*, 3(3), 138–144.
- Botha, A. (2006). Yeasts in soil. *Biodiversity and ecophysiology of yeasts*, 221-240.
- Calderon, C.E., Rotem, N., Harris, R., Vela-Corcia, D., & Levy, M. (2019). *Pseudozyma aphidis* activates reactive oxygen species production, programmed cell death and morphological alterations in the necrotrophic fungus *Botrytis cinerea*. *Molecular Plant Pathology*, 20, 562– 574.
- Cook, D.W.M., Long, P.G., & Ganesh, S. (1999). The combined effect of delayed application of yeast biocontrol agents and fruit curing for the inhibition of the

- postharvest pathogen *Botrytis cinerea* in kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 16, 233–243.
- De Tenório, D.A., Medeiros, E., Lima, C. S., & da Silva, J.M. (2019). Biological control of *Rhizoctonia solani* in cowpea plants using yeast. *Tropical Plant Pathology* 44, 113–119.
- Di Francesco, A., Ugolinim L., Lazzeri, L., & Mari, M. (2014). Production of volatile organic compounds by *Aureobasidium pullulans* as a potential mechanism of action against postharvest fruit pathogens. *Biological Control*, 81, 8–14.
- Eman, A.b.d., El-Monem, A.A., Saleh, M.M.S., & Mostaza, E.A.M (2008). Minimizing the quantity of mineral nitrogen fertilizers on grapevine by using humic acid, organic and biofertilizers. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4, 46-50.
- Fiori, S. (2012). Identification of differentially expressed genes associated with changes in the morphology of *Pichia fermentans* on apple and peach fruit. *FEMS Yeast Research*, 12, 785–795.
- Gore-Lloyd, D. (2019). Snf2 controls pulcherriminic acid biosynthesis and antifungal activity of the biocontrol yeast *Metschnikowia pulcherrima*. *Molecular of Microbiology*, 112, 317–332.
- Grevesse, C., Lepoivre, P., & Jijakli, M.H. (2003). Characterization of the exoglucanase-encoding gene PaEXG2 and study of its role in the biocontrol activity of *Pichia anomala* strain K. *Phytopathology*, 93, 1145–1152.
- Helbig, J. (2002). Ability of the antagonistic yeast *Cryptococcus albidus* to control *Botrytis cinerea* in strawberry. *Biological Control*, 47, 85–99.
- Huang, R., Li, G.Q., Zhang, J., Yang, L., Che, H.J., Jiang, D.H., & Huang, H.C. (2011). Control of postharvest *Botrytis* fruit rot of strawberry by volatile organic compounds of *Candida intermedia*. *Phytopathology*, 101, 859–69.
- Ippolito, A., & Nigro, F. (2000). Impact of preharvest application of biological control agents on postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. *Crop Protection*, 19, 715-723.
- Junker, K., Chailyan, A., Hesselbart, A., Forster, J., & Wendland, J. (2019). Multi-omics characterization of the necrotrophic mycoparasite *Saccharomycopsis schoenii*. *PLoS Pathogens*, 15, e1007692.
- Khodaparast, S.A. (2015). The Kingdom of Fungi. University of Guilan Publications, 811p. (In Persian)
- Liu, X., Fang, W., Liu, L., Yu, T., Lou, B., & Zheng, X. (2010). Biological control of postharvest sour rot of citrus by two antagonistic yeasts. *Letters in Applied Microbiology*, 51, 30–35.
- Long, C., Deng, B., & Deng, X. (2007). Commercial testing of *Kloeckera apiculata*, isolate 34-9, for biological control of postharvest diseases of citrus fruit. *Annals of Microbiology*, 57, 203-207.
- Lopes, M.R., Klein, M.N., Ferraz, L.P., da Silva, A.C., & Kupper, K.C. (2015). *Saccharomyces cerevisiae*: a novel and efficient biological control agent for *Colletotrichum acutatum* during pre-harvest. *Microbiological Research* 175, 93–99.

- Masoud, W., Poll, L., & Jakobsen, M. (2005). Influence of volatile compounds produced by yeasts predominant during processing of *Coffea arabica* in East Africa on growth and ochratoxin A (OTA) production by *Aspergillus ochraceus*. *Yeast* 22, 1133–1142.
- Moss, M.O., & Long, M.T. (2002). Fate of patulin in the presence of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Additives & Contaminants* 19, 387–399.
- Nguyen, M.T., & Ranamukhaarachchi, S.L. (2010). Soil borne antagonists for bioogcal control of bacterial wilt disease caused by *Ralstonia solanacearum* in tomato and pepper. *Journal of Plant Pathology*, 92(2), 395–405.
- Pizzolitto, R. P., Bueno, D. J., Armando, M. R., Cavaglieri, L. R., Dalcero, A. M., & Salvano, M. A. (2011). *Binding of aflatoxin B1 to lactic acid bacteria and Saccharomyces cerevisiae in vitro: a useful model to determine the most efficient microorganism*. InTech-Open Access Publisher.
- Raacke, I., Von Rad, U., Mueller, M., & Berger, S. (2006). Yeast increases resistance in *Arabidopsis* against *Pseudomonas syringae* and *Botrytis cinerea* by salicylic acid-dependent as well as independent mechanisms. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19, 1138-1146.
- Sharma, R., Singh, D., & Singh, R. (2009). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control* 50, 205–221.
- Sommer, B., Overy, D.P., Haltli, B., & Kerr, R.G. (2016). Secreted lipases from *Malassezia globosa*: recombinant expression and determination of their substrate specificities. *Microbiology*, 162,1069–1079.
- Thambugala, K., Anupama Daranagama, D., Lander Phillips, A. G., & Kannangara, S. (2020). Fungi vs. Fungi in Biocontrol: An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, 604-923.
- Yao, H.J., & Tian, S.P. (2005). Effect of biocontrol agent methyl jasmonate on postharvest diseases of peach fruit and the possible mechanisms involved. *Applied Microbiology*, 98, 941-950.
- Youssef, M. M. A., & Soliman, M. M. (1997, December). Effect of integrated management on Meloidogyne incognita infecting Egyptian henbane, Hyoscyamus muticus and on subsequent cowpea plant. In *1st Scientific Conference of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture, Assiut University, Egypt* (pp. 585-594).
- Zou, Z., Sun, J., Huang, F., Feng, Z., Li, M., Shi, R., Ding, J., & Li, H. (2015). In vitro removal of T-2 toxin by yeasts. *Journal of Food Safety*, 35, 544–550.