



ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی نتاج حاصل از تلاقی برگشتی قارچ صدفی فلوریدا با هیبرید فلوریدا × ارنجی

احد والانه‌ژاد^۱، علیرضا مطلبی آذر^{۲*}، جابر پناه‌هنده^۲، امین جهانیان^۱، مرتضی تقوی شربیانی^۱

۱- گروه علوم باغبانی- دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران

۲- استاد، گروه علوم باغبانی- دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

چکیده

مهم‌ترین برنامه توسعه هر کشوری تأمین منابع غذایی کافی و با کیفیت است و با افزایش جمعیت، تنها با استفاده از روش‌های کشاورزی سنتی نمی‌توان بر مشکل کمبود مواد غذایی غلبه کرد. با توجه به اینکه قبلاً هیبرید بین قارچ صدفی *Pleurotus ostreatus* var. *florida* با *Pleurotus eryngii* به نام H1 حاصل شده بود، این تحقیق برای رفع برخی از معایب و افزایش کیفیت صفات هیبرید H1، این هیبرید دوباره با والد *P. ostreatus* var. *Florida* در آزمایشگاه کشت بافت گروه علوم باغبانی دانشگاه تبریز، تلاقی برگشتی داده شد. برای انجام تلاقی برگشتی، مونوکاریون هر دو ژنوتیپ از طریق اسپور آن‌ها به دست آمد و با فاصله ۲۰ میلی‌متر از هم قرار داده شدند. مونوکاریون‌های فلوریدا و H1 به طرف هم رشد کرده و با تشکیل قوس اتصال، دی‌کاریون تولید کردند و ۱۵ هیبرید حاصل از تلاقی برگشتی به دست آمد. از لحاظ پنجه دوانی ژنوتیپ FH711 سریع‌ترین زمان را در بین ژنوتیپ‌ها داشت. متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین در FH153 و FH711 کمتر از والدین، ارنجی و بقیه نتاج حاصل از تلاقی برگشتی و دوره رشدی کوتاهی داشتند. در بین نتاج حاصل از تلاقی برگشتی نیز FH153 و FH711 نسبت به بقیه نتاج، از تعداد کلاهک بیشتری برخوردار بودند. از لحاظ قطر کلاهک، FH154 و FH711 بیشترین مقدار را دارا بودند. ارنجی بیشترین وزن خشک و وزن تر اندام خوراکی را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بود. ژنوتیپ‌ها از لحاظ اسپورزایی متفاوت بودند و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی اکثراً دارای اسپورزایی کم و متوسط بودند. با توجه به محدود بودن اصلاح قارچ‌ها در کشور ما پیشنهاد می‌شود تلاقی‌های مفید در سایر گونه‌های تجاری قارچ خوراکی برای افزایش کارایی و بهبود صفات مفید انجام گیرد.

واژگان کلیدی: اسپور، پنجه دوانی، کلاهک، مونوکاریون.

Investigation of Morphological Characteristics of Backcross Progenies of Oyster Mushroom of Florida (*P. ostreatus* var *Florida*) with Florida × Eryngii (*P. eryngii*) Hybrid

Ahad Valanejad¹, Alireza Motallebiazar^{2*}, Jaber Panahandeh², Amin Jahanian¹, Morteza Taghavi Sharabiani¹

1- Department of Horticulture- Faculty of Agriculture- University of Tabriz- Tabriz-Iran

2- Professor of Horticulture- Faculty of Agriculture- University of Tabriz- Tabriz-Iran

Received: August 2025

Accepted: September 2025

Abstract

The most important development program of any countries is to provide sufficient and high-quality food resources, and with the increasing population, the problem of food shortage cannot be overcome solely by using traditional agricultural methods. Given that a hybrid between the oyster mushroom *P. ostreatus* var *Florida*. and *P. eryngii*, named H1, had been previously obtained, this research aimed to eliminate some of the disadvantages and improve the quality traits of the H1 hybrid by performing a backcross of this hybrid with the parent *P. ostreatus* var. *Florida* in the tissue culture laboratory of the Department of Horticultural Sciences at Tabriz University. To perform the backcross, monokaryons of both genotypes were obtained from their spores and placed 20 mm apart. The Florida and H1 monokaryons grew towards each other and, by forming a connecting clamp, produced dikaryons, resulting in 15 hybrids backcross hybrid progeny. In terms of mycelial running, the FH711 genotype had the shortest time among the genotypes. The average number of days until the appearance of the first pin in FH153 and FH711 was lower than of the parents, the Eryngii and the other backcross progeny, and they had a short growth period. Among the backcross progenies, FH711 and FH153 also had a higher number of caps compared to the other progeny. Regarding cap diameter, FH154 and FH711 had the highest values. Eryngii had the highest dry weight and fresh weight of edible among the studied genotypes. The genotypes differed in terms of sporulation, and most of the backcross progeny had low to medium sporulation. Considering the limited breeding of mushrooms in our country, it is suggested that beneficial crosses be carried out in other commercial species of edible mushrooms to increase efficiency and improve beneficial traits.

Keywords: Spore, Mycelialrunning, Cap, Monokaryon.

۱- مقدمه

با توجه به افزایش روز افزون جمعیت جهان و با پیش‌بینی‌های صورت گرفته سازمان ملل متحد در سال ۲۰۵۰ میلادی، جمعیت جهان به حدود ۹/۷ میلیارد نفر می‌رسد و برای تأمین نیازهای غذایی این جمعیت باید ۷۰ درصد بیشتر از نیازهای غذایی امروز تأمین شود (Taagepera and Nemčok, 2024). با توجه به اهمیت قارچ‌های صدفی در دنیا و به‌خصوص در ایران، باید دیدگاه‌های اساسی در اصلاح این محصول با ارزش به‌وجود آید و معایبی چون تولید اسپور زیاد، کم محصولی، حساسیت به بیماری‌ها، آفات و ... را با روش‌های اصلاحی برطرف نمود. این روش‌ها شامل جمع‌آوری ژرم پلاسماهای وحشی، معرفی مستقیم نژادها، کشت بافت، تولید هیبریدهای بین و درون گونه‌ای، هم‌جوشی پروتوپلاست و هیبریداسیون درون و برون گونه‌ای، اصلاح از طریق جهش، مهندسی ژنتیک و انتقال ژن و ... می‌باشد (Bassi et al., 2024). در حالی که منابع آب و خاک برای تولید غذا محدود بوده و تجدید نشدنی هستند و ظرفیت منابع تولید غذا به دلیل محدودیت تولید آن‌ها مشخص بوده و به هیچ نحو نمی‌توان بر حجم آب و سطح اراضی افزود (این دو مورد از نهاده‌های مهم تولید هستند) ولی می‌توان با مدیریت و برنامه ریزی از منابع موجود حداکثر استفاده را نمود (Salse et al., 2024). با در نظر گرفتن میزان کل پروتئین موجود در قارچ خوراکی، قابلیت هضم آن برای انسان، کیفیت غذایی، اقتصادی بودن تولید و افزایش جمعیت دنیا با ایجاد کشت و صنعت‌های بزرگ پرورش قارچ خوراکی، می‌توان نقش مؤثری در تغذیه و تأمین پروتئین مورد نیاز انسان‌ها ایفاء نمود (Assemie and Abaya, 2022; Ayimbila and Keawsompong, 2023). با توجه به بحران انرژی در سال‌های اخیر، توجه محققین به موضوع بازیافت ضایعات آلی بیشتر شده است (Umor et al., 2021). قارچ‌های خوراکی از جمله مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های ضایعات مواد آلی سبب بازیافت مواد آلی می‌شوند و علاوه بر تولید ماده غذایی، مشکلات مرتبط با آلودگی هوا در اثر

سوزاندن این ضایعات تا حدودی برطرف می‌شود (Atila, 2019a). علاوه بر این، تولید قارچ خوراکی یک فرآیند زیستی کوتاه و نسبتاً کارآمد از بازیافت مواد لیگنینی و سلولزی بی ارزش به سمت تولید مواد غذایی پروتئین‌دار است (Atila, 2019b; Luo and Chen, 2024). در این میان گونه‌های قارچ‌های صدفی در تجزیه دامنه وسیعی از ضایعات لیگنینی و سلولزی از کارایی بالایی برخوردار هستند. از سایر مزیت‌های کاشت قارچ صدفی که نسبتاً ارزان و کم هزینه است عدم نیاز به کمپوست مخصوص و خشک کردن قارچ پس از برداشت می‌باشد که امکان صادرات قارچ خشک یا قارچ برش یافته را فراهم می‌کند (Barua et al., 2024; Törös et al., 2022). در مطالعه‌ای گزارش شده است که هیبریداسیون بر اساس تلاقی لاین‌های هوموکاریوتی غیر بارور، هیبریدهای بین سویه‌ای توسعه یافته را برای بهبود ژنتیکی گونه‌های مختلف ارائه داد. در مطالعه آنها، هیبریداسیون بین سویه‌ای با استفاده از جداسازی تک اسپور بین *P. eous* و *P. sajor-caju* منجر به کوتاه شدن دوره رشد اسپان ۱۷ و ۱۸ روز پس از مایه‌زنی در مقایسه با دوره طبیعی یک دوره رشد اسپان شد که حدود ۳۰-۲۵ روز بود (Gupta et al., 2011).

با توجه به اهمیت قارچ‌های صدفی در دنیا و به‌خصوص در ایران باید دیدگاه‌های اساسی در اصلاح این محصول با ارزش به‌وجود آید و معایبی چون تولید اسپور زیاد، کم محصولی، حساسیت به بیماری‌ها و آفات را با روش‌های اصلاحی برطرف نمود. یکی از روش‌های اصلاحی مورد استفاده نیز تلاقی برگشتی می‌باشد (Berne et al., 2007). در طول چند دهه گذشته، تعدادی از روش‌های اصلاح قارچ خوراکی وجود داشته است که برای بهبود ویژگی‌های مفید گونه‌های قارچ استفاده می‌شود. جهش‌زایی تصادفی^۱ همراه با غربالگری‌های گسترده (Kang LinZhi et al., 2013; Lee et al., 2011)، جفت‌گیری مونو-مونو (تلاقی بین مونوکاریون سویه‌ها)^۲ (Ha et al., 2015; Kim et al., 2013)، هم‌جوشی پروتوپلاست^۳ (Mallick et al., 2017)، هم‌جوشی آناستوموز هیفی دی‌کاریون‌ها^۴ (Adebayo et

3. Protoplast fusion

4. Hyphal anastomosis fusion of dikaryons

1. Random mutagenesis

2. Mono-mono mating

2013, *al.*), تغییر ژنتیکی⁵ (Zhao *et al.*, 2010) و اختلاط ژنوم⁶ (Zhu *et al.*, 2016) در حال حاضر هستند. از بین روش‌های اصلاحی موجود، جفت‌گیری سازگار مونوکاریوتیک سوبیه‌ها بیشترین کاربرد را برای اصلاح قارچ‌های خوراکی داشته است که منجر به ایجاد انواعی از سوبیه‌های جدید، از جمله سوبیه‌های *P. ostreatus* با بهبود مقاومت به دمای بالا، سوبیه‌های *P. eryngii* با ماندگاری طولانی، و هیبریدهای قارچ شی‌تاکه (*Lentinula edodes*) با تولید میوه در زمان کوتاه‌تر شده است (Gaitán-Hernández and Salmones, 2008).

بسیاری از گونه‌های جنس *Pleurotus* را می‌توان در محیط آزمایشگاهی به طور موفقیت‌آمیزی تلاقی داد، و از این رو می‌توان از این رویکرد برای گسترش پایه ژنتیکی استفاده کرد (Barh *et al.*, 2019). هیبریداسیون بین مونوکاریون‌های دو گونه مختلف سازگار به راحتی انجام می‌شود. دو میسلیم مونوکاریوتی تنها در صورتی سازگار هستند که در هر دو جایگاه (*matA* و *matB*) آلل‌های متفاوتی داشته باشند. این سیستم سازگاری از طریق آلل‌های متعدد در میان هیمنومیسیت‌ها⁷، گاسترومیسیت‌ها⁸ و آنژیوسپرم‌ها⁹ گسترده است (Barh *et al.*, 2019; Im *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای تعداد نه سوبیه هیبرید از تلاقی گونه *P. tuoliensis* با *P. eryngii* تولید شد که در میان آن‌ها شش هیبرید زمان میوه‌دهی سریع‌تری نسبت به والدین داشتند و دو هیبرید با بدنه میوه سفید رنگ همراه با کارایی بیولوژیکی بهبود یافته تشکیل دادند (Liu *et al.*, 2020). همچنین به منظور افزایش زمان نگهداری قارچ صدفی *P. eryngii* سوبیه جدیدی از تلاقی هیبریدهای تولید شده در این گونه به‌دست آمد که به‌رغم اینکه تغییری در عملکرد و کیفیت سوبیه جدید نسبت به والد وجود نداشت ولی عمر پس از برداشت آن در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد به ۵۹ روز رسید (Kim *et al.*, 2013). افزایش تولید قارچ‌های خوراکی منوط به اصلاح سوبیه‌هایی است که از ویژگی‌های مطلوبی برخوردار باشند. تلاقی بین تعداد محدودی از

گونه‌های جنس *Pleurotus* با موفقیت انجام شده است (Abdulgani *et al.*, 2017). بنابراین با توجه به اهمیت تلاقی برگشتی در ادامه پروژه اصلاح قارچ صدفی فلوریدا از نظر کاهش تولید اسپور و بهبود صفات زراعی، در این تحقیق کشت‌های مونوکاریون از کشت تک اسپور هیبرید *H1* (*Pleurotus* × *Pleurotus ostreatus* var. Florida) به‌دست آمد و تلاقی بین مونوکاریون‌ها جهت تولید دی‌کاریون‌های هیبرید انجام شد. اسپان فلوریدا، ارنجی، هیبرید *H1* و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی تهیه و با کشت آنها در بستر کلس گندم، خصوصیات مورفولوژیکی آنها، مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق با هدف رسیدن به نتاج حاصل از تلاقی برگشتی با خصوصیات مطلوب همچون ژنوتیپ‌های کم اسپور با مشخصات ظاهری برتر و عملکرد مطلوب از اهداف این آزمایش بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه اسپور و انتخاب هیبرید مناسب

با توجه به تلاقی انجام یافته بین قارچ‌های صدفی فلوریدا با ارنجی در مطالعات قبلی (Tagavi *et al.*, 2016) و بررسی نتایج حاصل مشخص شد که از بین چهار هیبرید حاصل، هیبرید *H1* به‌خاطر داشتن اسپورزایی کم و قطر بزرگ کلاهک یکی از هیبریدهای مفید بوده و می‌تواند با انجام تلاقی برگشتی با قارچ صدفی فلوریدا صفات ممتاز خود را به قارچ صدفی فلوریدا منتقل نماید، در همین راستا اقدام به تهیه مونوکاریون از قارچ‌های صدفی فلوریدا و هیبرید *H1* شد.

۲-۲- تهیه سوسپانسیون برای تولید

مونوکاریون‌ها

پس از شمارش تعداد اسپور توسط دستگاه هموسایتومتر در محلول سوسپانسیون، غلظت اسپور در محلول سوسپانسیون حاصل روی ۱۰^۴ اسپور در هر میلی‌لیتر تنظیم شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر سوسپانسیون به دقت (اندازه ۱۰ سانتی‌متر) پخش شدند و پس از این که این کار

8. Gasteromycetes

9. Angiosperms

5. Genetic transformation

6. Genome shuffling

7. Hymenomycetes

۲-۶- مرحله تکثیر

پس از اینکه دی کاربون‌های کشت شده به شعاع دو سانتی‌متر رسیدند، آنها را قطعه قطعه کرده و در پتری‌دیش‌هایی با محیط کشت جدید بازکشت گردیدند. پس از اینکه از هر کدام از نتایج حاصل از تلاقی برگشتی نمونه کافی به دست آمد، از آنها اسپان تهیه گردید.

۲-۷- مرحله تولید کلاهک از هیبریدها

در این مرحله برای هر کدام از ژنوتیپ‌ها به طور جداگانه اسپان تهیه شد و در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد با فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت سه و نیم ساعت استریل شدند. پس از استریل کردن دمای بسترها به ۲۴ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. سپس یک قطعه از آگار میسلیم دار از پلیت قارچ صدفی فلوریدا، ارنجی و هیبرید H1 و نتایج حاصل از تلاقی برگشتی به پتری‌های حاوی بستر انتقال داده شد و در شرایط تاریکی و دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا کل محتوی شیشه سفید رنگ شود. برای تهیه بستر کشت نیز از کاه و کلش گندم استفاده شد. در نهایت وزن تر هر بستر سه کیلوگرم گردید که این بسترها پس از استریل شدن و رسیدن به دمای حدود ۲۴ درجه سانتی‌گراد بوسیله ۳۵ گرم از اسپان تهیه شده به حالت لایه‌ای مایه‌زنی شدند و از این زمان تا پنجه دوانی اندام خوراکی به عنوان یک صفت مهم ثبت گردید. برای خشک کردن اندام خوراکی از دستگاه آون دمای با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲۴ ساعت استفاده گردید (Chakravarty, 2011). معیار صفت پنجه دوانی در این آزمایش با سفید شدن ۵۰ درصد سطح بستر مشخص و داده‌برداری انجام گرفت.

داده‌های این پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ و به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مطالعه قرار گرفتند. برای رسم نمودارهای این تحقیق از نرم افزار Excel استفاده گردید.

۳- نتایج

۳-۱- تعداد روز تا پنجه‌دوانی

از لحاظ تعداد روز تا پنجه‌دوانی در بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی داری وجود داشت ($p < 0.01$). به طوری که ژنوتیپ FH711 با ۲۰ روز از کاشت تا پنجه‌دوانی سریع‌ترین

برای تمامی گونه‌ها انجام گرفت، پتری‌دیش‌ها در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (Wibowo and Damanhuri, 2019).

۲-۳- تهیه محیط کشت برای رشد مونوکاریون و

دی‌کاریون

برای رشد مونوکاریون‌ها و دی‌کاریون‌ها از محیط کشت با فرمول زیر استفاده شد. ۱۰ گرم در لیتر آگار، ۱۰ گرم در لیتر دکستروز، یک درصد استروپتومایسن، ۰/۲۵ گرم در لیتر پپتون، ۰/۲۵ گرم در لیتر KH_2PO_4 ، ۰/۲۵ گرم در لیتر $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ، یک میلی‌لیتر محلول یک درصد کلرید آهن III، ۰/۵ گرم در لیتر عصاره مخمر و عصاره سیب‌زمینی استفاده شد (Chakravarty, 2011).

۲-۴- جدا نمودن مونوکاریون‌ها و کنترل آن‌ها

در این مرحله پتری‌دیش‌های تهیه شده در مرحله قبل هر روز به دقت زیر میکروسکوپ کنترل شدند وقتی که اسپورها جوله‌زنی کردند به محیط کشت جدید، منتقل شدند. پس از مشاهده قوس اتصال در هر پتری‌دیش آن نمونه حذف شده و بقیه پتری‌دیش‌های فاقد قوس اتصال نگهداری شدند. در نهایت برای قارچ صدفی فلوریدا شش مونوکاریون و برای هیبرید H1، سه مونوکاریون به دست آمد (Chakravarty, 2011).

۲-۵- آماده نمودن مونوکاریون‌ها برای تلاقی

در این مرحله یک قطعه بسیار کوچک (۵ میلی‌متر) از هر دو نوع مونوکاریون قارچ‌های صدفی فلوریدا و هیبرید H1 برش داده و در داخل پتری‌دیش‌های ۶ سانتی‌متری به فاصله ۲۰ میلی‌متر از همدیگر قرار داده شدند تا مونوکاریون‌ها به طرف هم رشد کرده و با انجام تلاقی بین دو مونوکاریون، دی‌کاریون‌ها به دست آیند. زمانی که فاصله بین مونوکاریون‌ها بسیار کم شد، نمونه‌هایی از آنها برداشته و زیر میکروسکوپ به دقت مورد بررسی قرار گرفتند تا تشکیل یا عدم تشکیل هیبریدها مشخص شود. در صورت مشاهده قوس اتصال در ناحیه حد واسط بین دو مونوکاریون که بیانگر انجام یافتن تلاقی و تشکیل دی‌کاریون بود، از دی‌کاریون‌های حاصل نمونه برداری شده و در محیط کشت استریل از قبل آماده شده، کشت گردیدند (Wibowo and Damanhuri, 2019).

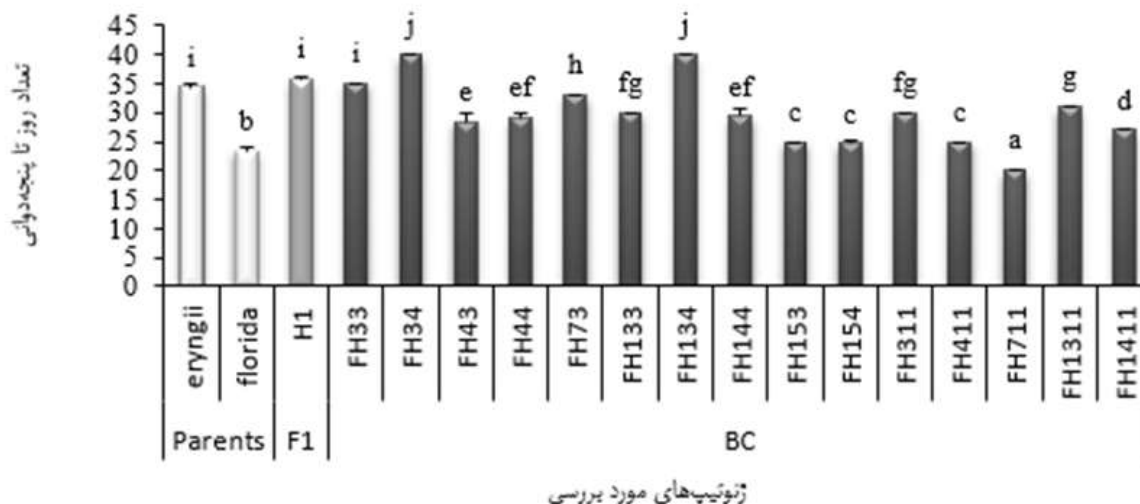
ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی نتاج حاصل از تلاقی برگشتی قارچ صدفی فلوریدا با هیبرید فلوریدا × ارنجی

کمتری برخوردار بودند که این نیز به دلیل سرعت رشد پایین H1 به عنوان یکی از والدین، قابل پیش بینی بود که سرعت نتاج حاصل از تلاقی برگشتی از سرعت رشد پایین تری نسبت به فلوریدا برخوردار باشد. کم بودن مدت زمان لازم برای پنجه دوانی یک صفت مطلوب به حساب می آید و ژنوتیپ FH711 از این نظر هیبرید رضایت بخشی به نظر می آید (شکل ۲).

زمان را تا پنجه دوانی به خود اختصاص داد و از قارچ های صدفی فلوریدا، ارنجی، H1 و بقیه نتاج حاصل از تلاقی برگشتی سرعت رشد سریع تری داشت و دارای هتروزیس والد برتر بود. ژنوتیپ های FH34 و FH134 به دلیل کندی رشد میسلیم با ۴۰ روز از زمان کاشت تا پنجه دوانی، کندترین سرعت رشد را در بین ژنوتیپ ها داشتند. این در حالی است که بقیه ژنوتیپ ها رشد کندتری نسبت به فلوریدا داشتند ولی نسبت به H1 از تعداد روز تا پنجه دوانی



شکل ۱- نحوه انجام تلاقی، قوس اتصال، میسلیم هیبرید و کلاهک در هیبرید حاصل (از راست به چپ).



شکل ۲- تعداد روز تا پنجه دوانی در فلوریدا، H1، ارنجی و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می باشد و علامت بار روی هر ستون نشان دهنده انحراف معیار).

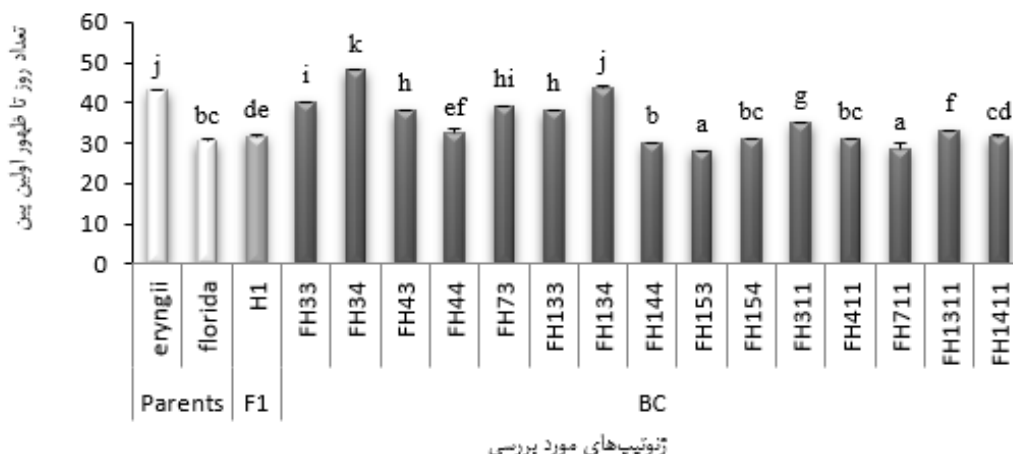
به طوری که ارنجی بطور معنی داری، دارای متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین بیشتری نسبت به فلوریدا و H1 بود. متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین در FH711 و FH153

۲-۳- تعداد روز تا ظهور اولین پین

اختلاف معنی داری بین ژنوتیپ های مورد مطالعه در متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین وجود داشت ($p < 0.01$).

تلاقی برگشتی بیشتر بود. بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌داری با فلوریدا و H1 نشان دادند ولی به فلوریدا بیشتر از ارنجی و H1 شبیه بودند (شکل ۳).

کمتر از فلوریدا، ارنجی، H1 و بقیه نتاج حاصل از تلاقی برگشتی بود. بیشترین تعداد روز تا ظهور اولین پین نیز در FH34 بود که از فلوریدا، ارنجی، H1 و بقیه نتاج حاصل از



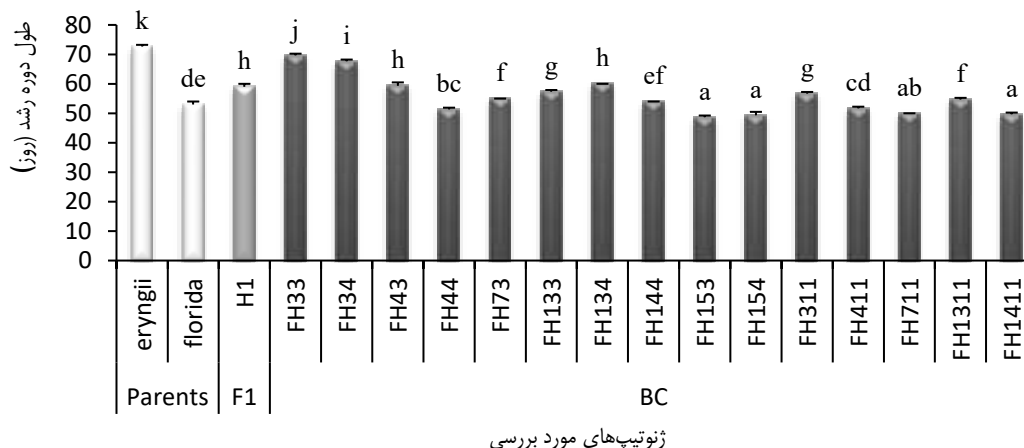
شکل ۳- تعداد روز تا ظهور اولین پین در فلوریدا، H1، ارنجی و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان دهنده انحراف معیار).

بود و دارای هتروزیس والد برتر بودند و نشان می‌داد که ژن‌های کنترل‌کننده این صفت در این سه ژنوتیپ از زمینه ژنتیکی فلوریدا به ارث رسیده‌اند. متوسط طول دوره رشد ارنجی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود. این در حالی است که در بین فلوریدا و H1 متوسط طول دوره رشد فلوریدا کمتر از ژنوتیپ هیبرید H1 بود. در بین نتاج حاصل از تلاقی برگشتی نیز FH153 دارای کمترین دوره رشدی و FH33 دارای طولانی‌ترین دوره رشدی بود (شکل ۴).

۳-۳- متوسط طول دوره رشد از کاشت تا برداشت

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ طول دوره رشد از مرحله کاشت تا برداشت با هم اختلاف معنی‌داری داشتند ($p < 0.01$). به‌طوری‌که طول دوره رشد از کاشت تا برداشت در FH153، FH711، FH154 و FH1411 به‌علت قدرت تجزیه‌کنندگی بستر و در نتیجه سرعت بالای رشد میسلیم‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کوتاه‌تر از بقیه ژنوتیپ‌ها

ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی نتاج حاصل از تلاقی برگشتی قارچ صدفی فلوریدا با هیبرید فلوریدا × ارنجی



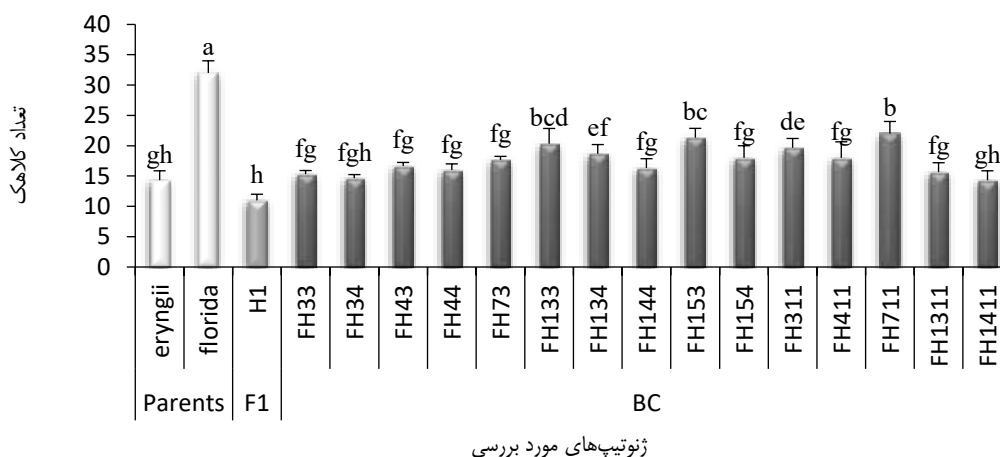
ژنوتیپ‌های مورد بررسی

شکل ۴- طول دوره رشد در فلوریدا، H1، ارنجی و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان دهنده انحراف معیار).

همه نتاج حاصل از تلاقی برگشتی برخوردار بود که این امر به دلیل تشکیل تعداد گره‌های اولیه بیشتر و در نتیجه پین‌های تولیدی زیاد فلوریدا نسبت به ارنجی و بقیه هیبریدها می‌باشد. در بین نتاج حاصل از تلاقی برگشتی نیز FH153 و FH711 نسبت به بقیه نتاج از تعداد کلاهک بیشتری برخوردار بودند (شکل ۵).

۳-۴- تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر مشاهده شد ($p < 0.01$). ژنوتیپ فلوریدا از بیشترین متوسط تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر نسبت به ارنجی، فلوریدا، H1 و



ژنوتیپ‌های مورد بررسی

شکل ۵- تعداد کلاهک تولیدی در فلوریدا، H1، ارنجی و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان دهنده انحراف معیار).

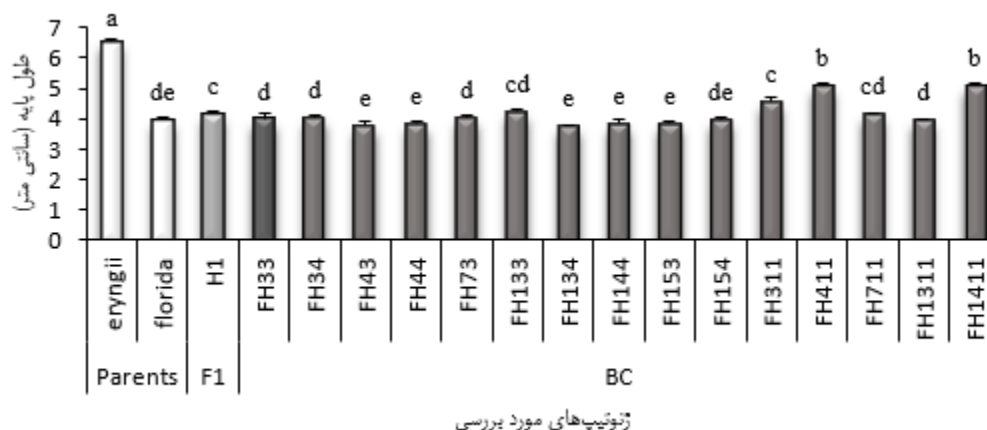
طول پایه ۶/۵۳ سانتی متر اختلاف معنی‌داری با فلوریدا، H1 و بقیه نتاج حاصل از تلاقی برگشتی داشت. از طرف دیگر FH43 و FH134 با ۳/۸۰ سانتی‌متر دارای کوتاه‌ترین طول

۳-۵- طول پایه

از لحاظ طول پایه بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). ارنجی با متوسط

حاصل از تلاقی برگشتی نیز اختلاف معنی‌داری وجود داشت و FH411 و FH1411 با ۵/۱۳ سانتی‌متر بیشترین مقدار را دارا بودند (شکل ۶).

پایه در بین همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند که این خود بیانگر این مطلب است که ژن‌های کنترل‌کننده طول پایه در این ژنوتیپ‌ها از والد فلوریدا به ارث رسیده است. در بین نتایج

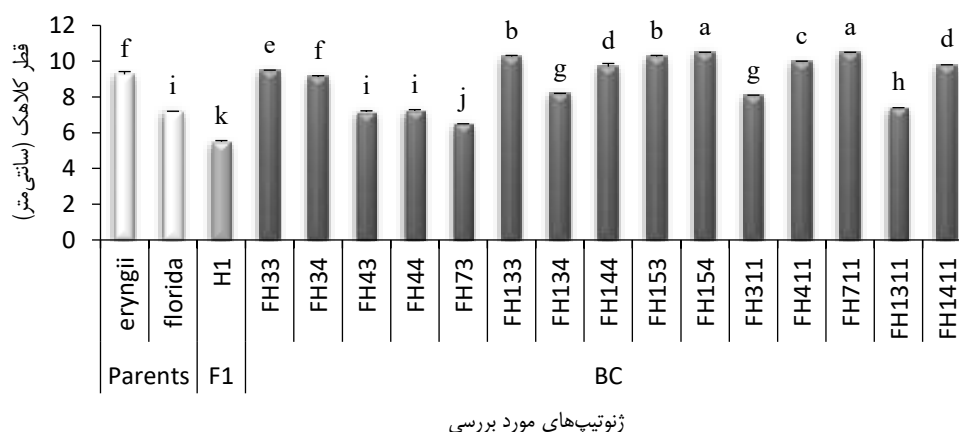


شکل ۶- طول پایه در فلوریدا، H1، ارنجی و نتایج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف معیار).

فلوریدا دارای اندازه قطر کلاهک بیشتری بود و اختلاف معنی‌داری بین آن دو وجود داشت. با توجه به شباهت ارنجی با FH154 و FH711 می‌توان نتیجه گرفت که در FH154 و FH711 افزایش قطر کلاهک ناشی از زمینه ژنتیکی ارنجی می‌باشد که سبب ایجاد هتروزیس والد برتر در آنها شده است (شکل ۷).

۳-۶- قطر کلاهک

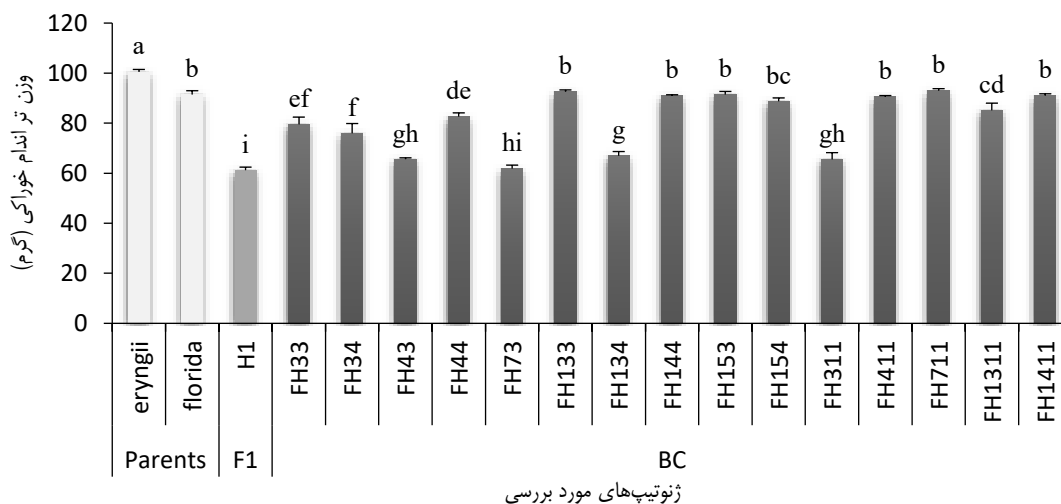
در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در متوسط قطر کلاهک اندازه‌گیری شده وجود داشت ($p < 0.01$). به‌طوری‌که FH711 و FH154 دارای بیشترین مقدار و H1 دارای کمترین مقدار بود. در بین فلوریدا و H1 نیز



شکل ۷- قطر کلاهک در فلوریدا، H1، ارنجی و نتایج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف معیار).

۳-۷- وزن تر اندام خوراکی

اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط وزن تر اندام خوراکی در بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت ($p < 0.01$) به‌طوری‌که ارنجی با داشتن متوسط وزن تر اندام خوراکی ۱۰۰/۴۶ گرم، بیشترین مقدار را در بین کل ژنوتیپ‌ها دارا بود و از این لحاظ با بقیه ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری



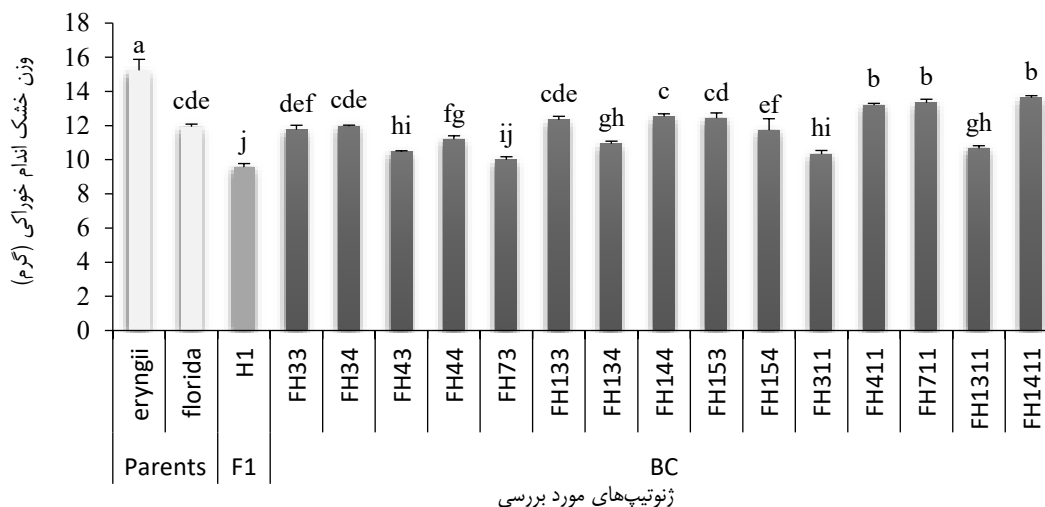
شکل ۸- وزن تر اندام خوراکی در فلوریدا، H1، ارنجی و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان دهنده انحراف معیار).

۳-۸- وزن خشک اندام خوراکی

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در متوسط وزن خشک اندام خوراکی داشتند ($p < 0.01$). ارنجی با دارا بودن ۱۵/۲۳ گرم بیشترین وزن خشک اندام خوراکی را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بود و از این لحاظ اختلاف معنی‌داری با بقیه ژنوتیپ‌ها داشت. در بین فلوریدا و H1 نیز فلوریدا دارای اختلاف معنی‌داری با H1 بود و وزن

داشت. در بین فلوریدا و H1 نیز فلوریدا دارای اختلاف معنی‌داری با H1 بود و وزن‌تر بالایی داشت. در بین نتاج حاصل از تلاقی برگشتی نیز FH153، FH144، FH133، FH411، FH711 و FH1411 وزن‌تر بیشتری داشتند و مشابه فلوریدا ولی ژنوتیپ‌های FH43، FH73، FH134 و FH311 مشابه H1 هستند (شکل ۸).

خشک بالایی نسبت به H1 داشت. H1 نیز با داشتن ۹/۵۶ گرم دارای کمترین میزان وزن خشک در بین همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. در بین نتاج حاصل از تلاقی برگشتی ژنوتیپ‌های FH411، FH711 و FH1411 دارای بیشترین وزن خشک اندام خوراکی بودند و از این لحاظ اختلاف معنی‌داری با فلوریدا، H1 و سایر نتاج حاصل از تلاقی برگشتی داشتند و دارای هتروزیس در جهت مثبت بودند (شکل ۹).

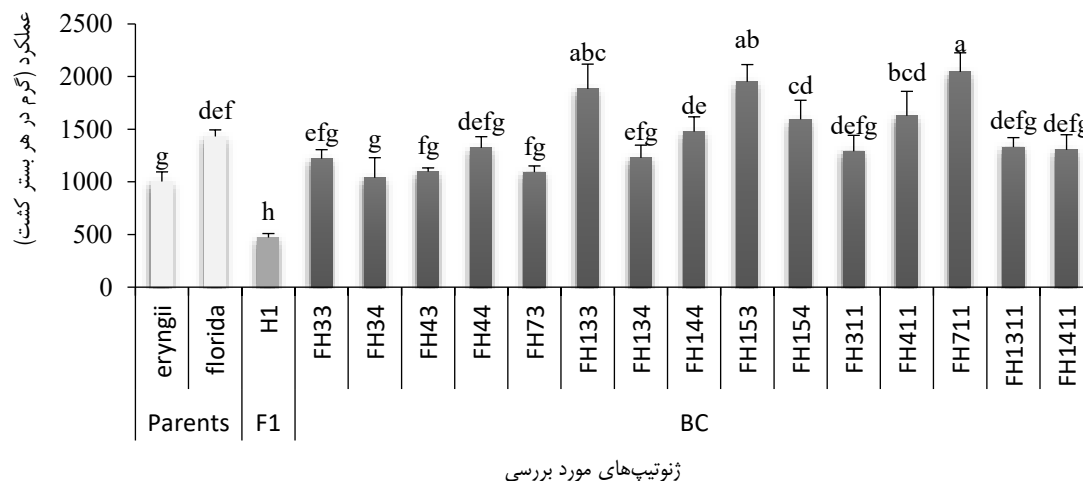


شکل ۹- وزن خشک اندام خوراکی در فلوریدا، H1، ارنجی و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان دهنده انحراف معیار).

آن‌ها بود که باعث افزایش عملکرد نیز شده بود. در بین فلوریدا و H1 نیز عملکرد فلوریدا به صورت معنی‌داری بیشتر از H1 بود. تمام نتاج حاصل از تلاقی برگشتی، عملکرد بیشتری از H1 و ارنجی داشتند ولی فقط FH711، FH411، FH153 و FH133 عملکرد بیشتری از فلوریدا داشتند و هتروزیس والد برتر را نشان می‌دادند (شکل ۱۰).

۹-۳- متوسط عملکرد

از لحاظ عملکرد نیز اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وجود داشت ($p < 0.01$). از این لحاظ H1 با ۴۷۲/۰۶ گرم کمترین عملکرد را در بین تمام ژنوتیپ‌ها دارا بود. ژنوتیپ‌های FH153، FH711 و FH133 نیز دارای حداکثر عملکرد در بین همه ژنوتیپ‌ها بوده و هتروزیس والد برتر را نشان می‌دادند. این افزایش عملکرد در این ژنوتیپ‌ها به دلیل افزایش قطر کلاهک در



شکل ۱۰- عملکرد (گرم به ازای هر بوته) در فلوریدا، H1، ارنجی و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی (حروف مشابه روی ستون‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد و علامت بار روی هر ستون نشان دهنده انحراف معیار).

۳-۱۰- میزان اسپورزایی

بررسی میزان نسبی اسپورزایی والدین، هیبرید H1 و نتاج حاصل از تلاقی برگشتی نشان داد که ژنوتیپ‌های FH44، FH73 و FH311 از اسپورزایی خیلی کم برخوردار بودند و مشابه با هیبرید H1 اسپورزایی داشتند.

همچنین ژنوتیپ‌های FH133، FH711 و FH1311 از اسپورزایی کم برخوردار بودند. این در حالی است که سایر نتاج دارای اسپورزایی متوسط و حتی زیاد برخوردار بودند (جدول ۱).

جدول ۱- اسپورزایی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در قارچ خوراکی صدفی .

ژنوتیپ‌ها	<i>eryngii</i>	florida	H1	FH33	FH34	FH44	FH73	FH133	FH134
اسپورزایی	متوسط	خیلی زیاد	خیلی کم	متوسط	متوسط	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط

ادامه جدول شماره ۱

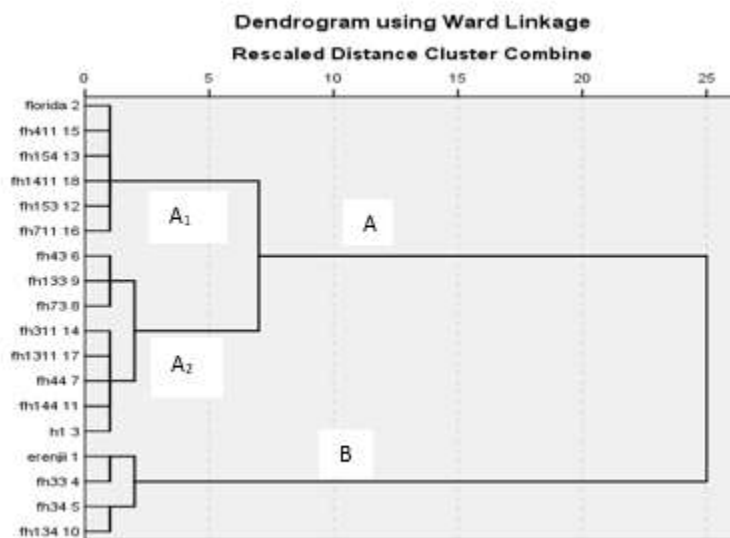
ژنوتیپ‌ها	FH144	FH153	FH154	FH311	FH411	FH711	FH1311	FH1411
اسپورزایی	زیاد	متوسط	متوسط	خیلی کم	متوسط	متوسط	کم	زیاد

۳-۱۱- دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس مدت زمان

پنجه‌دوانی، تولید پین و طول دوره کاشت

ژنوتیپ‌ها را بر اساس مدت زمان پنجه‌دوانی، تولید پین و طول دوره کاشت می‌توان به دو گروه A و B طبقه‌بندی کرد. گروه A را نیز به دو زیر گروه می‌توان تقسیم کرد که زیرگروه اول (زیرگروه A₁) شامل ژنوتیپ‌های مشابه فلوریدا بوده و زیر گروه دوم (زیرگروه A₂) ژنوتیپ‌های شبیه H1 را شامل می‌شود. اما در گروه دوم (گروه B) نیز ژنوتیپ‌هایی که مشابه ارنجی هستند قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های FH1411، FH154، FH711، FH411 و FH153 از نظر مدت زمان پنجه‌دوانی و تولید پین و همچنین طول دوره کاشت مشابه

فلوریدا بودند و در یک گروه قرار داشتند (زیرگروه A₁). ژنوتیپ‌های FH33، FH34 و FH134 هم مشابه ارنجی بوده و با هم در یک گروه قرار داشتند (گروه B). می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً خصوصیات مربوط به سرعت رشد بالای فلوریدا به ژنوتیپ‌های FH1411، FH154، FH711، FH411 و FH153 انتقال پیدا کرده است (شکل ۱۱). همچنین مشخص می‌شود که خصوصیت بارز ژنوتیپ‌های گروه A₁ کوتاه بودن مدت زمان پنجه‌دوانی و تولید پین و طول دوره رشدی آنها می‌باشد که به علت شباهت آنها به فلوریدا می‌باشد اما ژنوتیپ‌های گروه B به علت شباهت به ژنوتیپ ارنجی از سرعت رشد پایینی برخوردار هستند.



شکل ۱۱- دسته بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس مدت زمان پنجه دوانی، تولید پین و طول دوره کاشت.

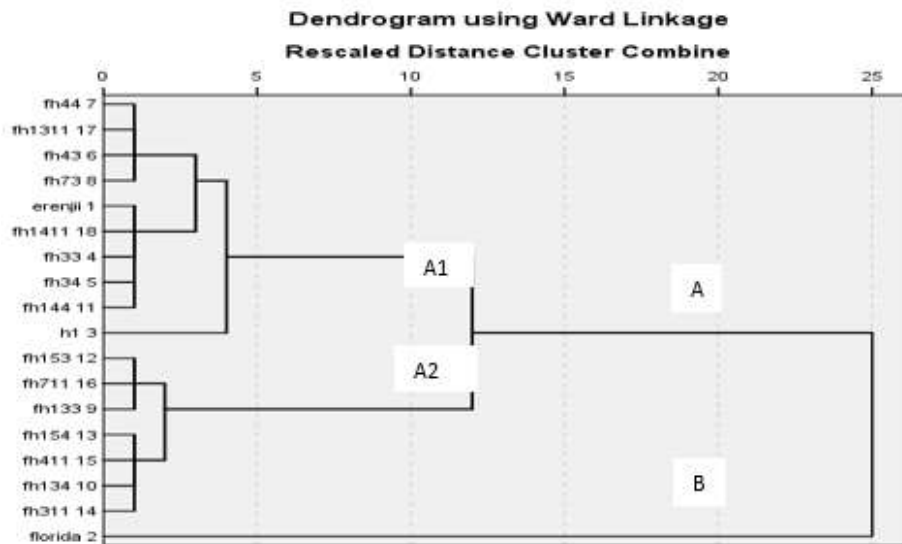
۳-۱۲- دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس طول پایه،

قطر کلاهک و تعداد کلاهک تولیدی

ژنوتیپ‌ها را بر اساس طول پایه، قطر کلاهک و تعداد کلاهک تولیدی می‌توان در دو گروه A و B طبقه‌بندی کرد. گروه A نیز به دو زیر گروه تقسیم می‌شود. از لحاظ دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس طول پایه، قطر کلاهک و تعداد کلاهک تولیدی ژنوتیپ‌های FH154, FH153, FH134, FH133, FH411, FH311 و FH711 شباهت زیادی به هم داشته و در یک گروه (زیرگروه A2) قرار داشتند. در کل فلوریدا از

لحاظ طول پایه، قطر کلاهک و تعداد کلاهک تولیدی با همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی متفاوت بود و در یک گروه مجزا قرار گرفت (گروه B) و بقیه نتایج تلاقی برگشتی همراه ارنجی و H1 باهم در یک گروه (زیرگروه A2) قرار می‌گیرند. می‌توان چنین نتیجه گرفت که از لحاظ این صفات مورد بررسی نتایج تلاقی برگشتی به ارنجی بیشتر از فلوریدا شبیه هستند (شکل ۱۲). همچنین مشخص می‌شود که خصوصیت بارز ژنوتیپ‌های گروه A به دلیل شباهت به ارنجی، قطر بزرگ کلاهک و ژنوتیپ‌های گروه B به دلیل شباهت به فلوریدا، تعداد زیاد کلاهک آن‌ها می‌باشد.

ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی نتاج حاصل از تلاقی برگشتی قارچ صدفی فلوریدا با هیبرید فلوریدا × ارنجی



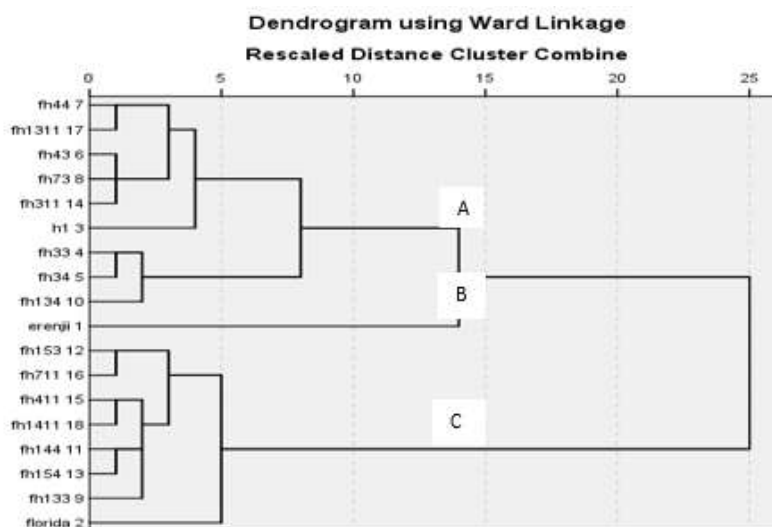
شکل ۱۲- دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس طول پایه، قطر کلاهک و تعداد کلاهک تولیدی.

۳-۱۳- دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تمامی

صفات

بر اساس تمامی صفات می‌توان ژنوتیپ‌ها را به سه خوشه طبقه‌بندی کرد. در یک خوشه ژنوتیپ‌های شبیه به H1 قرار می‌گیرند (گروه A) و در خوشه دوم (گروه B) ژنوتیپ ارنجی به صورت مجزا قرار گرفته و در سومین خوشه (گروه

C) ژنوتیپ‌های شبیه به فلوریدا قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های FH711, FH411, FH154, FH153, FH144, FH133 و FH1411 فلوریدا از لحاظ همه صفات شباهت زیادی به هم داشته و در یک گروه قرار می‌گیرند. پس نتیجه گرفته می‌شود که احتمالاً تمامی این صفات از فلوریدا به این ژنوتیپ‌ها به ارث رسیده است. در کل ژنوتیپ‌هایی که در گروه H1 قرار می‌گیرند به ارنجی بیشتر از فلوریدا شبیه هستند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تمامی صفات.

۴- بحث

Pleurotus یک جنس مهم از قارچ است که شامل چندین گونه خوراکی با اهمیت تجاری است. این گونه‌ها در سراسر جهان رشد می‌کنند. مناطق تولید *Pleurotus* عمدتاً به بخش آسیایی تعلق دارند و به دلیل دستاوردهای تغذیه‌ای امیدوارکننده در سراسر جهان محبوبیت زیادی را دارد. تقاضا برای سویه‌های بهبود یافته با بهره‌وری بالا نیز در حال افزایش است. بهبود ژنتیکی در *Pleurotus* با یک روش ساده گزینش شروع شد که بعداً از هیبریداسیون (درون گونه‌ای، بین گونه‌ای و بین جنس) و اصلاح جهش استفاده شده است. ویژگی‌هایی مانند عملکرد بالا، تولید بدون اسپور^{۱۰} و بهبود کیفیت از اهداف مهمی هستند که تاکنون بیشتر کارهای اصلاحی بر روی آن‌ها انجام شده است. در مطالعه تلاقی هیبرید بین گونه‌ای بین گونه‌های *P. sajor-caju* و *P. flabellatus* تعداد دو هیبرید تولید شد که در یکی از هیبریدها مدت زمان تولید قارچ به دلیل کاهش زمان پنجه‌دوانی کاهش یافت و هیبرید دیگر از عملکرد بالاتری برخوردار بود (Baral et al., 2017). برای اصلاح سویه‌ها و هیبریدهای زودبازده، درک سازوکار تبدیل از مرحله رویشی به زایشی از طریق پروتئین کدکننده مورد نیاز است. اگرچه برخی از گونه‌ها مانند *P. djamor* و *P. membranaceus* سریع‌تر تولید قارچ می‌کنند، قابلیت انتقال این صفت زودرس به شناسایی صحیح ژن مسئول آن بستگی دارد. برن و همکاران در سال ۲۰۰۷ پروتئینی به نام استرولیسین^{۱۱} پیدا کردند که ممکن است مسئول تشکیل اولیه و اسپورزایی باشد. مشابه این پروتئین، پروتئین‌های دیگری از آگرولیسینز^{۱۲} مانند ارینگولیسین^{۱۳} و پروتولیسین^{۱۴} در گونه‌های جنس *Pleurotus* وجود دارند. نمو کلاهک قارچ در *Pleurotus* با تجمع میسلیوم شروع می‌شود که به کلاهک تبدیل می‌شود (Borgognone et al., 2018). در تلاقی انجام شده بین دو گونه *P. pulmonarius*

و *P. citrinopileatus* تعداد پنج هیبرید تولید شد که یکی از هیبریدها از سرعت رشد میسلیوم بالاتری برخوردار بود و در نتیجه عملکرد بالاتری را نشان داد. همچنین یکی دیگر از هیبریدها نسبت به بقیه هیبریدها و والدین، کلاهک بیشتری را تولید نمود (Abdulgani et al., 2017). با توجه به اینکه هیبرید H1 از اسپورزایی خیلی کم برخوردار بود، در نتایج حاصل از تلاقی برگشتی سه ژنوتیپ FH44، FH73 و FH311 از اسپورزایی خیلی کم برخوردار بودند و این امر نشان می‌دهد که صفت کم اسپورزایی از هیبرید H1 از طریق تلاقی برگشتی به برخی نتایج انتقال یافته است و این نتایج به عنوان منبع ژنتیکی می‌توانند در آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار گیرند. ژنوتیپ FH133 با دارا بودن اسپورزایی کم و عملکرد بالا و ژنوتیپ FH711 با اسپورزایی متوسط و عملکرد بالا می‌توانند به عنوان ژنوتیپ امید بخش محسوب شود و بررسی‌های اضافی روی آن‌ها انجام شود.

هیبریدهای تولید شده از تلاقی گونه‌های *P. var. florida* و *P. sajor-caju* دو هیبرید با با افزایش عملکرد ۸۸ و ۸۲ درصد تولید شد که علاوه بر افزایش عملکرد حجم تولید اسپور نسبت به والدین کاهش چشم‌گیر داشت (Loveleen Kaur and Kapoor, 2014). یکی از معایب قارچ صدفی تولید تعداد زیادی اسپور است که ممکن است در حین کشت باعث واکنش آلرژیک به افراد مشغول در سالن قارچ شود. آلرژی‌های تنفسی مرتبط با اسپور در افرادی که با آن کار می‌کردند گزارش شده است. گزارش شده است که صفات بدون اسپور اغلب با صفاتی مانند کیفیت پایین و عملکرد مرتبط است. در نتیجه اصلاح قارچ‌های صدفی علاوه بر تولید با عملکرد بالا، کاهش میزان اسپور نیز می‌تواند جزء اهداف اصلاحی برای قارچ صدفی باشد.

هتروزیس برتری F1ها نسبت به والدین است. فرضیه اصلی برای هتروزیس را غالبیت و فوق غالبیت عنوان نموده‌اند. فرضیه غالبیت حذف اثرات نامطلوب آلل‌های مغلوب به دلیل

13. eryngeolysin

14. pleurotolysin

10. sporelessness

11. ostreolysin

12. aegerolysins

برتری آل‌های غالب است، در حالی که فرضیه فوق غالبیت، تجمع آل‌های مختلف باعث ایجاد هتروزیگوسیتی ژنتیکی می‌شود که مسئول هتروزیس است. مطالعات QTL انجام شده در *Pleurotus ostreatus* نشان داد که QTL‌های صفات مرتبط با عملکرد در کروموزوم VII قرار دارند. به نظر می‌رسد QTL‌های مرتبط با کیفیت در سراسر ژنوم با تنوع کمتری پراکنده شده‌اند (Larrraya et al., 2003). در بررسی تلاقی درون گونه‌ای ارنجی مشخص شد که بین هیبریدهای تولید شده در زمان پنجه‌دوانی اسپان تفاوت معنی‌دار وجود داشت و این زمان از ۲۷ تا ۳۵ روز بود (Liu et al., 2020) که این زمان در آزمایش ما بین ۲۰ تا ۴۰ روز بود که در ژنوتیپ FH711 کمترین زمان لازم برای پنجه‌دوانی اسپان بود و می‌تواند یکی از ژنوتیپ‌های مناسب برای این صفت باشد که در صورت لزوم برای تلاقی‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

۵- نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق ژنوتیپ FH711 با ۲۰ روز از کاشت تا پنجه‌دوانی، سریع‌ترین زمان را تا پنجه‌دوانی به خود اختصاص داد و از قارچ‌های صدفی فلوریدا، ارنجی، H1 و بقیه نتاج حاصل از تلاقی برگشتی سرعت رشد سریع‌تری داشت و دارای

هتروزیس والد برتر بود. از لحاظ صفت قطر کلاهک از بین ۱۵ ژنوتیپ حاصل از تلاقی برگشتی تعداد هفت ژنوتیپ نسبت به والدین و هیبرید H1 از قطر کلاهک بالاتری برخوردار بودند. یکی از دلایل طرح‌ریزی برای تلاقی برگشتی هیبرید حاصل با والد قارچ صدفی رقم فلوریدا پایین بودن عملکرد هیبرید تولید شده بود و نتایج تلاقی برگشتی تولید ژنوتیپ‌های برتر نسبت به والدین بودند که از این لحاظ H1 با ۴۷۲/۰۶ گرم کمترین عملکرد را در بین تمام ژنوتیپ‌ها دارا بود. ژنوتیپ‌های FH711، FH153 و FH133 نیز دارای حداکثر عملکرد در بین همه ژنوتیپ‌ها بوده و هتروزیس والد برتر را نشان می‌دادند. این افزایش عملکرد در این ژنوتیپ‌ها به دلیل افزایش قطر کلاهک در آن‌ها بود که باعث افزایش عملکرد نیز شده بود. از طرف دیگر با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های FH711 و FH133 از اسپورزایی کمی برخوردار بوده و عملکرد بالایی نیز از خود نشان دادند لذا این ژنوتیپ‌ها را می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های امید بخش معرفی کرد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش پیشنهاد می‌شود که تلاقی بین گونه‌های درگیر قارچ‌های صدفی انجام شود و صفات ارزش تغذیه‌ای، کیفیت قارچ‌های خوراکی و مقاومت به بیماری‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد.

تضاد و تعارض منافع - نویسندگان این مقاله هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با اثر منتشر شده است رد می‌نمایند.

تشکر و قدردانی - نویسندگان این پژوهش از معاونت تحصیلات تحصیلی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز کمال تشکر و قدردانی را بابت همکاری‌های لازم دارد. همچنین بر خود لازم می‌دانیم مراتب سپاسگزاری را از مسئولان آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز داشته باشیم.

فهرست منابع

- Abdulgani, R., Lau, C. C., Abdullah, N., & Vikineswary, S. (2017). Morphological and molecular characterization of *Pleurotus pulmonarius* hybrids with improved sporophore features and higher biological efficacy. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(4), 707–712.
- Adebayo, E. A., Oloke, J. K., Yadav, A., Barooah, M., & Bora, T. C. (2013). Improving yield performance of *Pleurotus pulmonarius* through hyphal anastomosis fusion of dikaryons. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, 1029–1037.
- Assemie, A., & Abaya, G. (2022). The effect of edible mushroom on health and their biochemistry. *International*

journal of microbiology, 2022(1), 8744788.

- Atila, F. (2019a). A useful way to dispose of phenolic-rich agro-industrial wastes: Mushroom cultivation. *European Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3(2), 32–41.
- Atila, F. (2019b). Compositional changes in lignocellulosic content of some agro-wastes during the production cycle of shiitake mushroom. *Scientia Horticulturae*, 245, 263–268.
- Ayimbila, F., & Keawsompong, S. (2023). Nutritional quality and biological application of mushroom protein as a novel protein alternative. *Current Nutrition Reports*, 12(2), 290–307.
- Baral, D., Roy, A., Thapa, S., & Chewang Bhutia, K. (2017). Development of intraspecific hybridization of *Pleurotus flabellatus* for better yield and nutrition. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 6, 735–742.
- Barh, A., Sharma, V. P., Annepu, S. K., Kamal, S., Sharma, S., & Bhatt, P. (2019). Genetic improvement in *Pleurotus* (oyster mushroom): a review. *3 Biotech*, 9(9), 322.
- Barua, B. S., Nigaki, A., & Kataoka, R. (2024). A New Recycling Method through Mushroom Cultivation Using Food Waste: Optimization of Mushroom Bed Medium Using Food Waste and Agricultural Use of Spent Mushroom Substrates. *Recycling*, 9(4), 58.
- Bassi, F. M., Sanchez-Garcia, M., & Ortiz, R. (2024). What plant breeding may (and may not) look like in 2050? *The Plant Genome*, 17(1), e20368.
- Berne, S., Pohleven, J., Vidic, I., Rebolj, K., Pohleven, F., Turk, T., Maček, P., Sonnenberg, A., & Sepčić, K. (2007). Ostreolysin enhances fruiting initiation in the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *mycological research*, 111(12), 1431–1436.
- Borgognone, A., Castanera, R., Morselli, M., Lopez-Varas, L., Rubbi, L., Pisabarro, A. G., Pellegrini, M., & Ramírez, L. (2018). Transposon-associated epigenetic silencing during *Pleurotus ostreatus* life cycle. *DNA Research*, 25(5), 451–464.
- Chakravarty, B. (2011). Trends in mushroom cultivation and breeding. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 2(4), 102–109.
- Gaitán-Hernández, R., & Salmones, D. (2008). Obtaining and characterizing *Pleurotus ostreatus* strains for commercial cultivation under warm environmental conditions. *Scientia Horticulturae*, 118(2), 106–110.
- Gupta, B., Niranjan Reddy, B. P., & Kotasthane, A. S. (2011). Molecular characterization and mating type analysis of oyster mushroom (*Pleurotus* spp.) using single basidiospores for strain improvement. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27, 1–9.
- Ha, B. S., Kim, S., & Ro, H. S. (2015). Isolation and characterization of monokaryotic strains of *Lentinula edodes* showing higher fruiting rate and better fruiting body production. *Mycobiology*, 43(1), 24–30.
- Im, C.-H., Kim, M.-K., Je, H.-J., Kim, K.-H., Kim, S.-Y., Kim, K.-J., Park, S.-J., Ha, Y.-A., Kim, M.-J., & Kim, S.-H. (2012). Breeding of king oyster mushroom, *Pleurotus eryngii* carrying good traits of cap. *The Korean Journal of Mycology*, 40(3), 145–151.
- Kang LinZhi, K. L., Han Fei, H. F., Lin JunFang, L. J., Guo LiQiong, G. L., & Bai WeiFang, B. W. (2013). *Breeding of new high-temperature-tolerant strains of Flammulina velutipes*.
- Kim, M. K., Ryu, J.-S., Lee, Y.-H., & Kim, H.-R. (2013). Breeding of a long shelf-life strain for commercial cultivation by mono-mono crossing in *Pleurotus eryngii*. *Scientia horticulturae*, 162, 265–270.
- Larraya, L. M., Alfonso, M., Pisabarro, A. G., & Ramírez, L. (2003). Mapping of genomic regions (quantitative trait loci) controlling production and quality in industrial cultures of the edible basidiomycete *Pleurotus ostreatus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(6), 3617–3625.

- Lee, J., Kang, H.-W., Kim, S.-W., Lee, C.-Y., & Ro, H.-S. (2011). Breeding of new strains of mushroom by basidiospore chemical mutagenesis. *Mycobiology*, 39(4), 272–277.
- Liu, X.-R., Liu, S.-R., Ye, L.-Y., & Wu, X.-P. (2020). Breeding and fruiting evaluation of new strains by the interspecific mating of the high commercial potential mushroom *Pleurotus tuoliensis* with its closely related *P. eryngii*. *Scientia Horticulturae*, 271, 109489.
- Loveleen Kaur, L. K., & Kapoor, S. (2014). *Protoplast electrofusion for development of somatic hybrids between Pleurotus florida and Pleurotus sajor-caju*.
- Luo, J., & Chen, L. (2024). Status and development of spent mushroom substrate recycling: A review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 74(12), 843–860.
- Mallick, P., Chattaraj, S., & Sikdar, S. R. (2017). Molecular characterizations of somatic hybrids developed between *Pleurotus florida* and *Lentinus squarrosulus* through inter-simple sequence repeat markers and sequencing of ribosomal RNA-ITS gene. *3 Biotech*, 7, 1–7.
- Salse, J., Barnard, R. L., Veneault-Fourrey, C., & Rouached, H. (2024). Strategies for breeding crops for future environments. *Trends in plant science*, 29(3), 303–318.
- Taagepera, R., & Nemčok, M. (2024). World population growth over millennia: Ancient and present phases with a temporary halt in-between. *The Anthropocene Review*, 11(1), 163–183.
- Tagavi, G., Motallebi-Azar, A., & Panahandeh, J. (2016). Characteristics of interspecific hybrids between *Pleurotus ostreatus* and *P. eryngii*. *Russian agricultural sciences*, 42, 230–235.
- Törös, G. H. R. H., El-Ramady, H., & Prokisch, J. (2022). Edible mushroom of *Pleurotus* spp.: a case study of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.). *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 51–59.
- Umar, N. A., Ismail, S., Abdullah, S., Huzaifah, M. H. R., Huzir, N. M., Mahmood, N. A. N., & Zahrim, A. Y. (2021). Zero waste management of spent mushroom compost. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(5), 1726–1736.
- Wibowo, T. N. C., & Damanhuri, D. (2019). Studi Perbandingan Kualitas Bibit F1 Beberapa Jenis Jamur Tiram (*Pleurotus* Spp) Melalui Metode Persilangan Fusi Miselium Monokarion Dan Metode Pembibitan Spora. *PLANTROPICA: Journal of Agricultural Science*, 4(2), 132–140.
- Zhao, F.-Y., Lin, J.-F., Zeng, X.-L., Guo, L.-Q., Wang, Y.-H., & You, L.-R. (2010). Improvement in fruiting body yield by introduction of the *Ampullaria crosseana* multi-functional cellulase gene into *Volvariella volvacea*. *Bioresource Technology*, 101(16), 6482–6486.
- Zhu, Z., Wu, X., Lv, B., Wu, G., Wang, J., Jiang, W., Li, P., He, J., Chen, J., & Chen, M. (2016). A new approach for breeding low-temperature-resistant *Volvariella volvacea* strains: Genome shuffling in edible fungi. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 63(5), 605–615.