

تأثیر افزایش دی‌اکسیدکربن و دما بر روی برخی عوامل همه‌گیری شناختی در قارچ *Cochliobolus sativus* عامل بیماری لکه‌برگی گندم

علی ویانی*^۱ و پاریمال سینها^۲

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- گروه بیماری‌های گیاهی، موسسه تحقیقات کشاورزی هند، دهلی نو، هند.

*مسئول مکاتبه viani@tabrizu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۴

چکیده

تأثیر مقادیر افزایش یافته‌ی دی‌اکسیدکربن و دما بر بیماری لکه‌برگی گندم ناشی از قارچ *Cochliobolus sativus* در شرایط محیطی کنترل شده بررسی گردید. بوته‌های گندم در دو سطح از غلظت CO₂ (۳۶۰ و ۵۵۰ پی‌پی‌ام) و دو سطح از دما (۲۲ و ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد) در اتاقک رشدی، پرورش یافته و در سن سی‌روزگی با اسپورهای بیمارگر تلقیح شدند. غلظت بالای CO₂ موجب افزایش مساحت برگ، اندازه‌ی لکه‌ها، درصد سطح نکروزه‌ی برگ و کاهش تعداد لکه‌ها در واحد سطح برگ و کاهش دوره‌ی نهفتگی هم برای ظهور لکه‌ها و هم برای اسپورزایی گردید. تأثیر افزایش دما نیز به صورت افزایش تعداد لکه‌ها و سطح نکروزه‌ی برگ‌ها و کاهش دوره‌ی نهفتگی برای ظهور لکه‌ها و اسپورزایی مشاهده شد ولی تأثیر آن روی مساحت برگ و میانگین اندازه‌ی لکه‌ها معنی‌دار نبود. کوتاه‌ترین زمان برای دوره‌ی نهفتگی و بیشترین درصد آلودگی برگ‌ها در تیمار ترکیبی ۵۵۰ پی‌پی‌ام غلظت CO₂ و دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد ثبت گردید. در اتاقک‌های رشدی با شیب دمایی نیز تأثیر افزایش دما به صورت افزایش معنی‌دار در شدت بیماری در تمامی ژنوتیپ‌ها و ارقام مورد بررسی گندم مشاهده شد. بنابراین اثر مستقیم افزایش دما و دی‌اکسیدکربن بر بیمارگر و میزبان، نقشی تعیین کننده در افزایش شدت بیماری لکه‌برگی گندم دارد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دمای افزایش یافته، CO₂ افزایش یافته، لکه‌برگی گندم.

مقدمه

یکی از بیماری‌های جدی و مخرب گندم در نواحی گرم و مرطوب جهان به‌ویژه در شبه‌قاره‌ی هند درآمده است (جوشی و همکاران ۲۰۰۷، آچاریا و همکاران ۲۰۱۱). خسارت اقتصادی آن در هند ۲۰-۳ درصد، در بنگلادش ۷۱ درصد، در چین ۷۵-۲۰ درصد، در نپال ۲۹-۱۶/۲ درصد و در فیلیپین ۴۰ درصد گزارش شده است (سنت هیل ۲۰۰۴، دویلر و شارما ۲۰۰۹). در ایران نیز این قارچ به عنوان عامل اصلی بیماری پوسیدگی معمولی ریشه و طوقه‌ی گندم از استان‌های آذربایجان غربی، ایلام، خراسان شمالی، زنجان، کرمانشاه، لرستان و مرکزی

قارچ *Cochliobolus sativus* (Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur در گیاهان گندم، جو و سایر غلات دانه‌ریز، بیماری‌های مختلفی چون بلایت خوشه و گیاهچه، لکه‌برگی، پوسیدگی معمولی ریشه و طوقه و نقطه سیاه دانه ایجاد می‌کند (شمیم و همکاران ۲۰۰۸، ماتوسینسکی و همکاران ۲۰۱۰). بیماری لکه‌برگی ناشی از این قارچ به صورتی گسترده در سرتاسر جهان به‌ویژه در آفریقا، آمریکای لاتین، استرالیا، کانادا و جنوب آسیا شیوع دارد و در سال‌های اخیر، به‌صورت

که در تحقیقات آنها، مساحت برگ و بیوماس در گیاهان تیمار شده به ترتیب ۲۵ و ۴۴٪ بیشتر از شرایط عادی بود. در بیماری‌های مختلف گیاهی، تغییر اقلیم می‌تواند اثر مثبت و یا منفی در شدت بیماری داشته و یا بدون تاثیر باشد (چاکروپورتی و همکاران ۲۰۰۰). مانینگ و تیدمن (۱۹۹۵) گزارش دادند که افزایش CO₂ باعث بالا رفتن تراکم و اندازه‌ی پوشش گیاهی شده و بر شدت بیماری‌های برگ‌مانند زنگ‌ها، سفیدک‌های پودری، لکه‌برگی‌ها و بلایت‌ها می‌افزاید. بنابر اظهارات لوپتن و همکاران (۱۹۹۵) افزایش غلظت CO₂ تاثیرات متفاوتی روی شدت بیماری‌های گیاهی داشته است به طوری که بررسی روی ده بیمارگر زیواپرور، نشان داد که در شش مورد از آنها شدت بیماری افزایش و در چهار مورد کاهش یافت همچنین از بین پانزده بیمارگر مرده‌پرور، شدت بیماری در غلظت بالای CO₂ در ۹ بیمارگر افزایش و در چهار بیمارگر کاهش یافته و در دو بیمارگر نیز بدون تغییر باقی ماند. دی‌اکسیدکربن افزایش یافته می‌تواند مقاومت گیاهان C₃ به بیماری‌ها همچنین نرخ رشد بیمارگرها را بعد از آلوده کردن گیاه افزایش دهد که به ترتیب موجب کاهش و افزایش شدت بیماری خواهد شد (هیبرد و همکاران ۱۹۹۶). در جنوب آسیا و به‌ویژه در شبه‌قاره‌ی هند، افزایش میانگین دما در ماه‌های زمستان گزارش شده است که افزایش شدت بیماری لکه‌برگی گندم و همه‌گیری آن در سال‌های اخیر را به دنبال داشته است (دوویلر و همکاران ۲۰۰۵، شارما و همکاران ۲۰۰۷). دمای ۲۹°C و رطوبت نسبی بالاتر از ۹۰ درصد، بهترین شرایط برای توسعه بیماری و همه‌گیری آن گزارش شده است و در ماه‌های بهمن و اسفند که زمان ظهور بیماری لکه‌برگی در مناطق گندم‌خیز هند به‌شمار می‌رود هرگونه افزایش دما در اثر تغییر اقلیم منجر به افزایش شدت بیماری خواهد شد (ویانی ۲۰۱۴). آچاریا و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که دما به مقدار

گزارش (منصوری و همکاران ۱۳۸۱، سمیعی و همکاران ۱۳۸۷، صفایی و همکاران ۱۳۸۷، عمارلو و همکاران ۱۳۸۹) و خسارت ناشی از آن ۱۲/۵-۳ درصد برآورد شده است (منصوری و همکاران ۱۳۸۱). طبق گزارش صادقی گرمارودی (۱۳۷۷) این قارچ در منطقه‌ی میناب بندرعباس ایجاد لکه‌برگی کرده و اپیدمی آن طی سال‌های ۷۵-۱۳۷۴ خسارت‌های سنگینی را به گندم این منطقه وارد نمود.

بر اساس گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیمی^۱ (۲۰۱۳) افزایش غیر معمول در میزان CO₂ اتمسفر به‌طور مستقیم و یا غیر مستقیم باعث تغییر جهانی اقلیم خواهد شد؛ به همین دلیل، انتظار می‌رود افزایش میانگین دمای کره‌ی زمین در پایان قرن بیست و یکم حدود ۲-۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد. تغییرات جهانی اقلیم به‌ویژه افزایش دما و CO₂ (پاکوری و ریسینگری ۲۰۰۷) به نظر می‌رسد که تمام عناصر مثلث بیماری‌زایی یعنی میزبان، بیمارگر، عوامل آب و هوایی و تعامل بین آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد (لگرو و دوویلر ۲۰۱۰) و همه‌گیری بیماری‌ها و توزیع جغرافیایی آنها را دگرگون می‌کند (چاکروپورتی و نیوتون ۲۰۱۱) ولی در مورد اهمیت تغییرات جزئی آب و هوایی در شرایط مزرعه‌ای و تاثیر آن در پاسخ‌های گیاهی، اطلاعات زیادی وجود ندارد. ایست‌برن و همکاران (۲۰۱۱) اظهار کرده‌اند که مقدار فتوسنتز و به‌دنبال آن رشد گیاه به‌طور مثبت تحت تاثیر افزایش CO₂ قرار می‌گیرد. افزایش مساحت برگ‌ها در غلظت بالای دی‌اکسیدکربن به مقدار ۴۶ درصد در گزارش پانگا و همکاران (۲۰۰۴) مورد اشاره قرار گرفته است. بر اساس گزارش چاکروپورتی و همکاران (۲۰۰۰) افزایش در اندازه‌ی پوشش گیاهی (به‌خصوص در رطوبت بالا) در اثر افزایش CO₂ مشاهده گردید به طوری

^۱Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

تیمارهای آزمایشی

در این تحقیق، چهار تیمار آزمایشی شامل CO₂ عادی - دمای عادی (۳۶۰ پی پی ام - ۲۲°C)، CO₂ افزایش یافته - دمای عادی (۵۵۰ پی پی ام - ۲۲°C)، CO₂ عادی - دمای افزایش یافته (۳۶۰ پی پی ام - ۲۵°C) و CO₂ افزایش یافته - دمای افزایش یافته (۵۵۰ پی پی ام - ۲۵°C) در نظر گرفته شده و هر کدام در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. هر تکرار نیز شامل سه گلدان با پنج گیاهچه در هر یک بود.

روش مایه زنی

تلقیح بوته‌ها در سن سی‌روزگی با استفاده از اتومایزر یا آبپاش کوچک دستی به صورت یکنواخت با سوسپانسیون اسپورهای بیمارگر (پنج میلی لیتر برای هر گلدان) صورت گرفت. برای تامین رطوبت کافی جهت جوانه‌زنی اسپورها و آلودگی گیاهان، گلدان‌ها بلافاصله بعد از تلقیح و به مدت ۲۴ ساعت با پوشش پلی اتیلنی پوشانده شدند.

بررسی آلودگی برگ‌ها

از هر گلدان آزمایشی سه عدد برگ مایه زنی شده (۲۷ برگ برای هر تیمار) به‌طور تصادفی انتخاب و علامت‌گذاری شده و تعداد لکه‌ها روی آنها به‌طور روزانه و تا زمان رسیدن به بیشترین تعداد لکه‌های قابل مشاهده، شمارش شد. برای اندازه‌گیری دقیق مساحت برگ، تعداد لکه‌ها و مساحت آنها، با استفاده از یک دوربین عکاسی، تصاویر دیجیتالی از برگ‌های انتخاب شده در فواصل منظم تهیه و پس از انتقال به رایانه، با استفاده از نرم‌افزار آنالیز تصویر Assess 2.0 (لخدر ۲۰۰۸) مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفتند. با شمارش حداکثر تعداد لکه‌های هر برگ در پایان دوره‌ی آلودگی و اندازه‌گیری مساحت برگ، تعداد لکه‌ها در واحد سطح

قابل توجهی توسعه‌ی بیماری لکه‌برگی گندم را تحت تاثیر قرار می‌دهد به‌طوری که با افزایش دما تعداد لکه‌ها بیشتر می‌شود. اثر مستقیم افزایش دما روی نرخ تکثیر و اسپورزایی بیمارگر در محیط آزمایشگاهی و در طبیعت نیز به خوبی شناخته شده است و دمای بالا شدت بیماری لکه‌برگی را افزایش می‌دهد (دل‌سپینی ۲۰۰۴). هدف از اجرای این تحقیق، برآورد تغییرات همه‌گیری شناختی بیماری لکه‌برگی گندم از جمله تعداد لکه‌های تولید شده در واحد سطح برگ‌ها، اندازه و مساحت لکه‌ها، شدت بیماری و دوره‌ی نهفتگی برای ظهور علائم بیماری و اسپورزایی بیمارگر در شرایط دما و CO₂ افزایش یافته بوده است.

مواد و روش‌ها

تهیه‌ی مایه‌ی تلقیح

زادمایه‌ی این قارچ به صورت سوسپانسیونی با غلظت ۳×۱۰^۴ اسپور در هر سانتی‌متر مکعب به روش شمیم و همکاران (۲۰۰۸) از کشت خالص این قارچ در محیط کشت آب آگار تهیه شد.

تهیه‌ی گیاهان گندم در اتاقک‌های رشدی^۱

برای تهیه‌ی گیاهچه‌های یکنواخت، گلدان‌های سفالی به قطر ۱۵ سانتی متر با مخلوطی از ورمیکولایت و پیت (۱:۱) پر شده و در هر کدام از آنها پنج عدد بذر گندم رقم حساس آگرا لوکال کشت گردید. بلافاصله بعد از جوانه‌زنی بذور، گلدان‌ها به اتاقک‌های رشدی (Conviron, E15, Canada) منتقل شده و در شرایط یکسان از نظر آبیاری (۱۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر گلدان و دو بار در هر هفته)، با شدت نور ۱۰-۵ کیلو لوکس، دوره‌ی نوری ۱۲ ساعته و در رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد نگهداری شدند.

¹Phytotron

ادامه یافت. از زمان تلقیح گیاهان تا اسپورزایی ۵۰ درصد از تعداد کل لکه‌ها، به عنوان دوره‌ی نهفتگی ۵۰٪ برای اسپورزایی (LP₅₀) تعیین شده و با محاسبه‌ی فراوانی جمعی و برآورد درصد مربوطه با استفاده از نرم افزار اکسل به دست آمد.

تاثیر دمای افزایش یافته بر شدت بیماری لکه‌برگی گندم در اناقک‌های رشدی با شیب دمایی

ژنوتیپ‌ها و واریته‌های زراعی گندم هندی شامل HD2967، HD2932، HD2329، HD2285، C306، Kundan، PBW343، PBW550 و WR544 در اناقک‌های رشدی دارای شیب دمایی واقع در مرکز علوم زیست‌محیطی و کشاورزی انعطاف‌پذیر در برابر اقلیم^۴ در کشور هند کشت گردید. دما در یکی از اناقک‌های رشدی، همان دمای عادی و معمول در طبیعت^۵ در همان فصل رشدی گندم در نظر گرفته شده و اناقک‌های رشدی بعدی هر کدام با یکی از دماهای افزایش یافته^۶ یعنی ۱، ۲ و ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بالاتر از دمای عادی و معمول محیط، تنظیم گردید. برای کنترل دقیق‌تر دما از یک دستگاه ثبت اطلاعات هواشناسی (4000 NV pocket weather tracker, Kestrel®, Nielsen-Kellerman Co., USA) استفاده شد. پس از آلودگی طبیعی ارقام گندم به بیماری لکه‌برگی، شدت بیماری در اواخر اسفند ماه سال ۱۳۹۲ با استفاده از مقیاس دو رقمی (ساری و پرسکات ۱۹۷۵) یادداشت گردید. درصد شدت بیماری^۷ نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید که در آن نخستین رقم (D1) بیانگر پیشرفت عمودی بیماری در گیاه (در مقیاس ۹-۰) و دومین رقم (D2) نشانگر شدت بیماری در برگ‌های آلوده بالایی گیاه (در مقیاس ۹-۰) می‌باشد (شارما و همکاران ۲۰۰۷):

برگ (cm²) محاسبه شده و میانگین آن برای کل برگ‌های مورد بررسی در هر تیمار بدست آمد. میانگین مساحت لکه‌های نکروزه نیز با انتخاب ۲۰ عدد لکه به صورت تصادفی از هر برگ آلوده در پایان دوره‌ی آلودگی و پس از رسیدن اندازه لکه‌ها به بیشترین مقدار ممکن و با استفاده از نرم‌افزار آنالیز تصویر به دست آمد. درصد آلودگی برگ‌ها (درصد لکه‌های نکروزه) با ضرب کردن میانگین تعداد لکه در هر سانتی‌متر مربع برگ در میانگین مساحت لکه‌های نکروزه محاسبه شد.

اندازه‌گیری دوره‌ی نهفتگی برای ظهور لکه‌ها^۱

دوره‌ی زمانی بین تلقیح تا ظهور ۵۰٪ لکه‌های بیماری به عنوان دوره‌ی نهفتگی ۵۰٪ برای ظهور لکه‌ها (IP₅₀) در نظر گرفته شده و براساس فراوانی جمعی^۲ لکه‌ها و با استفاده از نرم افزار اکسل محاسبه گردید.

اندازه‌گیری دوره‌ی نهفتگی برای اسپورزایی^۳

بلافاصله بعد از ظهور لکه‌ها در سطح برگ‌ها، از هر گلدان دو برگ (هجده برگ برای هر تیمار) با آلودگی شدید انتخاب شده و به چندین قطعه (هر کدام دارای تعداد کافی لکه) تقسیم شد. برای تامین رطوبت لازم برای اسپورزایی در برگ‌های آلوده، قطعات برگ در داخل تشتک‌های پتری بزرگ حاوی کاغذ صافی سترون مرطوب قرار گرفته و در داخل اناقک‌های رشدی و در همان شرایط محیطی تیمارها نگهداری گردید. به‌طور روزانه، تشتک‌های پتری در زیر میکروسکوپ تشریح (Olympus, CH20i, B1MF, Japan) بررسی شده و تعداد لکه‌هایی که شروع به تولید اسپور کرده بودند شمارش شد. این کار تا زمان تکمیل اسپورزایی در تمام لکه‌ها

⁴Centre of Environmental Science and Climate Resilient Agriculture

⁵Ambient temperatures

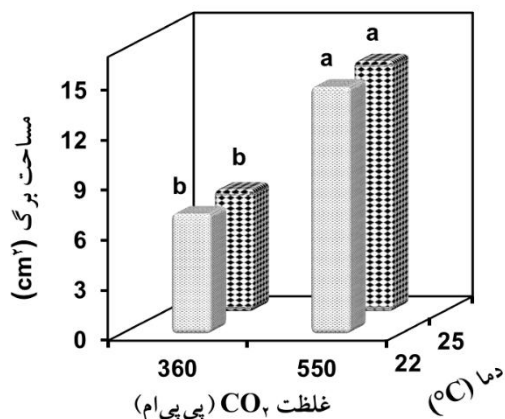
⁶Elevated temperatures

⁷Disease severity percentage

¹Incubation Period (IP)

²Cumulative frequency

³Latent Period (LP)



شکل ۱- تاثیر تیمارهای مختلف ترکیبی از CO₂ و دما بر مساحت برگ در بوته‌های گندم رقم آگرالوکال مایه‌زنی شده با قارچ *Cochliobolus sativus*

تعداد لکه‌ها در واحد سطح برگ

در شرایط دی‌اکسیدکربن افزایش یافته، تعداد لکه‌های کمتری نسبت به حالت عادی CO₂ در هر سانتی‌متر مربع از سطح برگ شمارش شد (شکل ۲). در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد بدون در نظر گرفتن سطح دی‌اکسیدکربن، تعداد لکه‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت به دمای ۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یافت. حداکثر تعداد لکه‌ها در تیمار ترکیبی CO₂ عادی- دمای افزایش یافته (۳۶۰ پی‌پی‌ام- ۲۵°C) مشاهده گردید. ظهور لکه‌ها از روز چهارم پس از مایه‌زنی شروع شده و در روز دهم به بیشترین مقدار خود رسید. روند افزایش تعداد لکه‌ها در واحد سطح برگ، در اوایل دوره‌ی آلودگی نسبتاً سریع بوده ولی با گذشت چند روز، شیب ملایمی یافته و تنها افزایش مختصری مشاهده شد. این روند در هر چهار تیمار آزمایشی، تقریباً یکسان بود (شکل ۴-الف).

$$\text{درصد شدت بیماری} = \left(\frac{D1}{9}\right) \times \left(\frac{D2}{9}\right) \times 100$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز واریانس برای میانگین تعداد لکه‌ها در سانتی‌متر مربع، میانگین مساحت لکه‌ها، درصد لکه‌های نکروزه، دوره‌ی نهفتگی برای ظهور لکه‌ها و نیز برای اسپورزایی در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. مقایسه‌ی میانگین تیمارها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. در آزمایش مربوط به اتاقک‌های رشدی با شیب دمایی، برای مقایسه‌ی میانگین تیمارها، از آزمون تی^۱ در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج

تاثیر دما و دی‌اکسیدکربن افزایش یافته بر مساحت برگ گندم

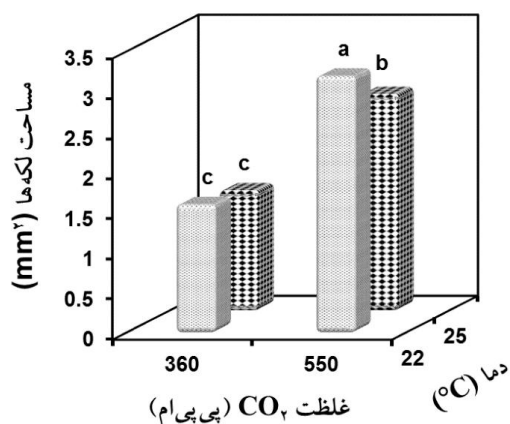
در گیاهانی که به مدت یک ماه در شرایط دی‌اکسیدکربن افزایش یافته (۵۵۰ پی‌پی‌ام) قرار گرفته بودند بدون در نظر گرفتن سطوح مختلف دمایی، میانگین مساحت برگ افزایش معنی‌داری را نسبت به حالت عادی CO₂ اتمسفری (۳۶۰ پی‌پی‌ام) نشان داد (شکل ۱). در هر دو سطح CO₂، از نظر میانگین مساحت برگ‌ها هیچ اختلاف معنی‌داری بین دو دمای ۲۲ و ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد مشاهده نگردید.

¹T-test

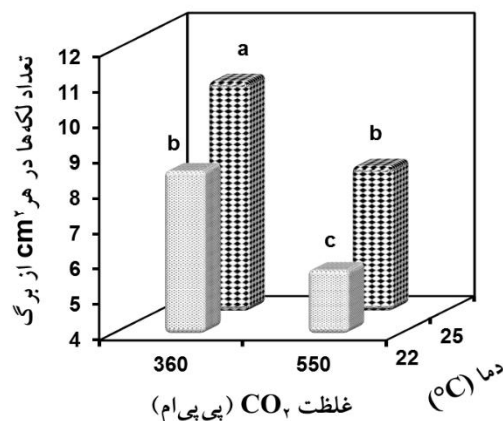
عین حال شیب افزایش مساحت لکه‌ها در تیمارهای با CO_2 افزایش یافته، بیشتر بود (شکل ۴-ب).

شدت آلودگی برگ‌ها

بر اساس نتایج به دست آمده، مساحت بخش نکروزه شده برگ‌ها، هم با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و هم با افزایش دما به طور معنی‌داری افزایش یافت با این حال، تاثیر افزایش CO_2 مشخص‌تر و بیشتر از تاثیر افزایش دما بود (شکل ۵). بیشترین درصد لکه‌های نکروزه در روز دهم بعد از مایه‌زنی گیاهان در تیمار ترکیبی ۵۵۰ پی‌پی‌ام - $25^{\circ}C$ و معادل حدود ۲۱٪ برآورد گردید. روند افزایش تدریجی درصد آلودگی برگ‌ها در طول دوره‌ی آلودگی در تیمارهای با میزان عادی CO_2 در هر دو دمای ۲۲ و ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد تقریباً یکسان بوده ولی با گذشت زمان، اختلاف تیمار ترکیبی CO_2 افزایش یافته - دمای افزایش یافته با بقیه تیمارها بیشتر از پیش نمایان شد (شکل ۶).



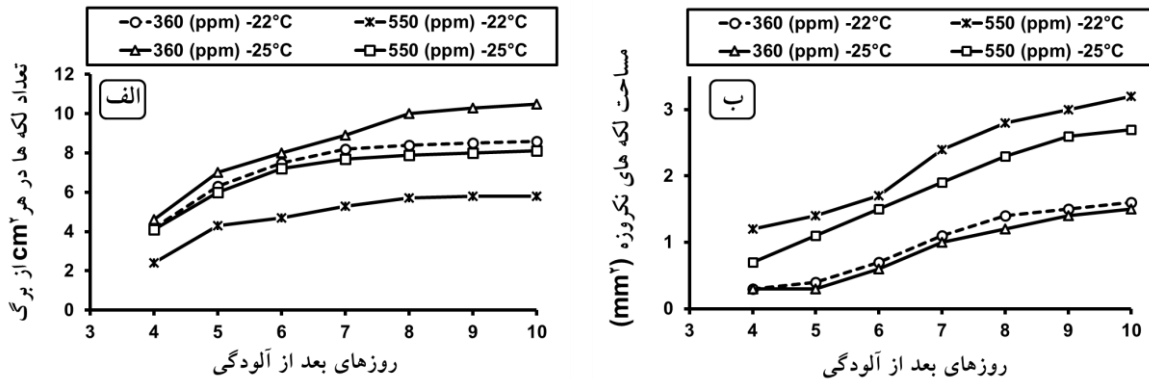
شکل ۳- تاثیر تیمارهای مختلف ترکیبی از CO_2 و دما بر مساحت لکه‌ها در برگ‌های بوته‌های گندم رقم آگرالوکال مایه‌زنی شده با قارچ *Cochliobolus sativus*



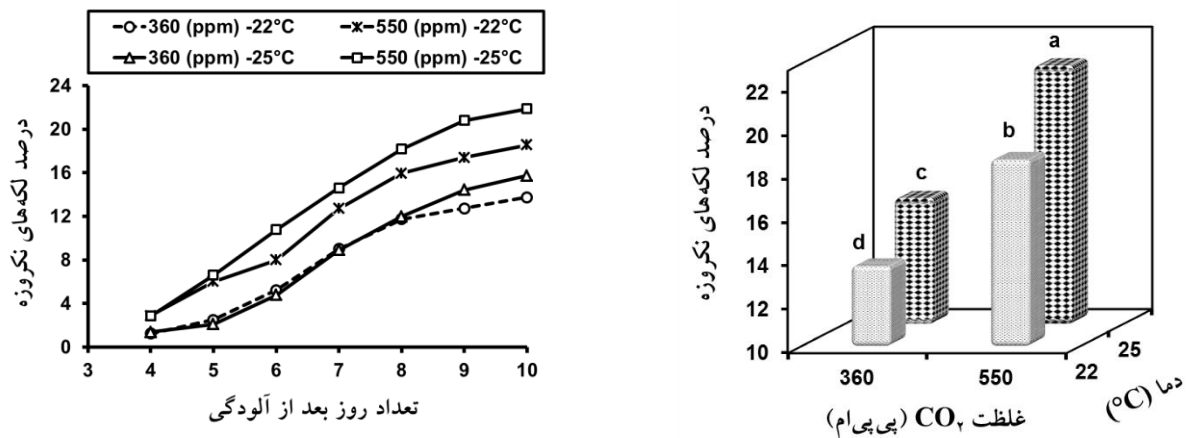
شکل ۴- تاثیر تیمارهای مختلف ترکیبی از CO_2 و دما بر تعداد لکه‌ها در برگ‌های بوته‌های گندم رقم آگرالوکال مایه‌زنی شده با قارچ *Cochliobolus sativus*

مساحت لکه‌ها

در گیاهان قرار گرفته در معرض CO_2 افزایش یافته، مساحت لکه‌ها در هر سانتی متر مربع از برگ، نسبت به گیاهان رشد کرده در شرایط عادی CO_2 عادی، به طور معنی‌داری افزایش یافت ولی بین تیمار ۳۶۰ پی‌پی‌ام - $22^{\circ}C$ و تیمار ۳۶۰ پی‌پی‌ام - $25^{\circ}C$ هیچ نوع تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود نداشت یعنی در شرایط عادی از نظر میزان دی‌اکسیدکربن، افزایش دما تاثیری در تغییر اندازه‌ی لکه‌ها نداشت (شکل ۳ و شکل ۴-ب). با افزایش سطح CO_2 از ۳۶۰ به ۵۵۰ پی‌پی‌ام اگر چه افزایش معنی‌داری در مساحت لکه‌ها وجود داشت ولی در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به دمای ۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد، کاهش مختصری در مساحت لکه‌ها مشاهده شد. بیشترین مقدار مساحت لکه‌ها در هر سانتی‌متر مربع از سطح برگ، در تیمار ۵۵۰ پی‌پی‌ام - $22^{\circ}C$ وجود داشت. روند افزایش اندازه لکه‌های بیماری در طول زمان پس از مایه‌زنی گیاهان نشان داد که مساحت لکه‌های نکروزه نیز بعد از گذشت ۱۰ روز از مایه‌زنی آنها، به بیشترین مقدار خود می‌رسد ولی در



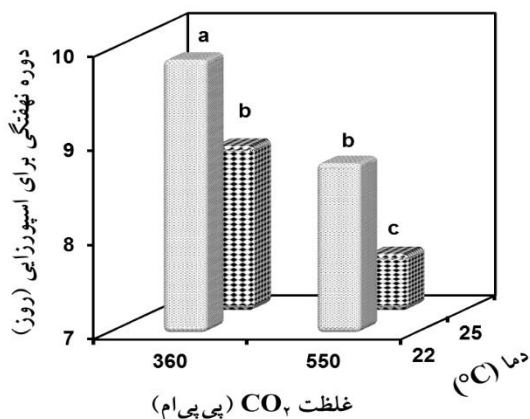
شکل ۴- تاثیر تیمارهای مختلف ترکیبی از سطوح عادی و افزایش یافته CO_2 (پی پی ام) و دما ($^{\circ}C$) بر تعداد لکه‌ها در هر سانتی متر مربع از سطح برگ (الف) و مساحت (mm²) لکه‌های نکروزه (ب) در روزهای مختلف پس از مایه‌زنی بوته‌های گندم رقم آگرالوکال با قارچ *Cochliobolus sativus*



شکل ۵- تاثیر تیمارهای مختلف ترکیبی از CO_2 و دما بر درصد مساحت لکه‌های نکروزه در برگ‌های بوته‌های گندم رقم آگرالوکال مایه‌زنی شده با قارچ *Cochliobolus sativus*.

دوره‌ی نهفتگی برای ظهور لکه‌ها

نتایج نشان داد که با افزایش دما، دوره‌ی نهفتگی ۵۰٪ برای ظهور لکه‌ها (IP_{50}) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این دوره در دمای ۲۵ درجه نسبت به دمای ۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد، کوتاه‌تر بود. در تیمارهای با دی‌اکسیدکربن افزایش یافته نیز کاهش معنی‌داری در

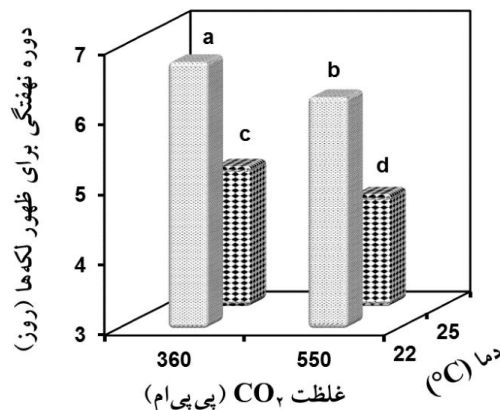


شکل ۸- تاثیر تیمارهای مختلف ترکیبی از سطوح عادی و افزایش یافته CO₂ (پی پی ام) و دما (°C) بر دوره نهفتگی بیماری لکه‌برگی گندم (برای اسپورزایی در ۵۰٪ از لکه‌ها) پس از مایه‌زنی بوته‌های گندم رقم آگرالوکال با قارچ *Cochliobolus sativus*

تاثیر دمای افزایش یافته بر شدت بیماری لکه‌برگی گندم در اتاقک‌های رشدی با شیب دمایی

تمامی ژنوتیپ‌ها و واریته‌های زراعی گندم کشت شده در اتاقک‌های رشدی با دمای کنترل شده (دمای عادی و دماهای افزایش یافته) در برابر بیماری لکه‌برگی، حساسیت نشان دادند (جدول ۱). در تمامی اتاقک‌های رشدی با دماهای افزایش یافته، شدت بیماری، افزایش آشکاری را نسبت به اتاقک رشدی با دمای عادی نشان داد. در تجزیه و تحلیل داده‌ها با آزمون تی، تفاوت معنی‌داری بین میانگین شدت بیماری در ارقام گندم مورد بررسی در دمای عادی و دماهای افزایش یافته مشاهده گردید.

دوره نهفتگی در هر دو سطح دمایی وجود داشت اما تاثیر دمای افزایش یافته در کاهش دوره نهفتگی بسیار مشخص‌تر و بیشتر از تاثیر افزایش CO₂ بود (شکل ۷). تیمار ترکیبی ۵۵۰ پی پی ام - ۲۵°C، کوتاه‌ترین دوره نهفتگی ۵۰ درصد را نشان داد (حدود ۴/۵ روز).



شکل ۷- تاثیر تیمارهای مختلف ترکیبی از سطوح عادی و افزایش یافته CO₂ (پی پی ام) و دما (°C) بر دوره نهفتگی (برای ظهور ۵۰٪ از لکه‌ها) بیماری لکه‌برگی گندم پس از مایه‌زنی بوته‌های گندم رقم آگرالوکال با قارچ *Cochliobolus sativus*

دوره نهفتگی برای اسپورزایی

با افزایش دما از ۲۲ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش CO₂ از ۳۶۰ به ۵۵۰ پی پی ام، دوره نهفتگی برای شروع اسپورزایی در ۵۰ درصد از لکه‌ها (LP₅₀) به صورت معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۸). کوتاه‌ترین زمان برای این دوره، حدود ۷/۵ روز بود که در تیمار ترکیبی ۵۵۰ پی پی ام - ۲۵°C مشاهده شد و طولانی‌ترین مدت این دوره نیز متعلق به تیمار ترکیبی ۳۶۰ پی پی ام - ۲۲°C بود که برابر حدود ۹/۵ روز تعیین شد.

جدول ۱- درصد شدت بیماری لکه‌برگی در ژنوتیپ‌ها و واریته‌های زراعی گندم در هند با آلودگی طبیعی در اتاقک‌های رشد با شیب دمایی (دمای عادی و معمول در طبیعت در طول فصل رشد و دماهای افزایش یافته) بر اساس مقیاس دو رقمی شارما و همکاران.

ژنوتیپ یا رقم گندم	شدت بیماری لکه‌برگی (%)			
	دمای عادی (°C)	دمای افزایش یافته (°C)		
		+۱ دمای عادی	+۲ دمای عادی	+۳ دمای عادی
C306	۵	۱۱	۱۱	۱۵
HD2285	۱۱	۲۰	۲۰	۲۴
HD2329	۱۱	۱۵	۱۵	۲۰
HD2932	۷	۱۱	۱۵	۱۵
HD2967	۱۱	۱۵	۱۵	۲۰
Kundan	۱۵	۲۰	۲۰	۲۴
PBW343	۱۵	۲۰	۲۴	۳۰
PBW550	۱۵	۲۰	۲۴	۲۴
WR544	۱۵	۱۵	۲۰	۲۰
میانگین	۱۱/۲	۱۶/۳*	۱۸/۲*	۲۱/۳*
P (T≤t) دو طرفه α=۰/۵		۱/۲۵ × ۱۰ ^{-۵}	۱/۳۵ × ۱۰ ^{-۵}	۱/۱ × ۱۰ ^{-۶}

علامت * نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۵ می‌باشد.

بحث

در این تحقیق، در حالت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن نسبت به غلظت معمولی آن، تعداد کمتری از لکه‌ها در واحد سطح برگ شمارش شد که نشانگر کاهش رخنه و نفوذ قارچ عامل لکه‌برگی گندم می‌باشد. گزارش‌های موجود نشان می‌دهد که سطح موم‌دار برگ و کوتیکول ضخیم که ناشی از رشد گیاه در غلظت بالای دی‌اکسیدکربن است (مورالی‌کریشنا و همکاران ۲۰۱۳) کارآیی بیمارگر را در نفوذ به میزبان کاهش می‌دهد (آچاریا و همکاران ۲۰۱۱). کاهش و یا تاخیر در تندش اسپورها و تولید اپرسوریوم و در نتیجه، کاهش نفوذ بیمارگر به درون میزبان در غلظت بالای CO₂ گزارش شده است (لوپتن و همکاران ۱۹۹۵، هیبرد و همکاران ۱۹۹۶). در بررسی اثر CO₂ بالا بر قارچ *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc که مولد بیماری آنتراکنوز در گیاه مرتعی

تغییر جهانی اقلیم به‌ویژه بالا رفتن CO₂ و دمای هوا، میزبان‌های گیاهی، بیمارگرها، تعامل بین آنها و در نتیجه، ظهور بیماری‌ها را تحت تاثیر قرار خواهد داد. تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش دی‌اکسیدکربن، میزان فتوسنتز و رشد گیاهان را افزایش داده و خصوصیات ریخت‌شناختی آنها را تغییر می‌دهد (ایست‌برن و همکاران ۲۰۱۱، چاکروورتی و نیوتون ۲۰۱۱). در این تحقیق نیز افزایش معنی‌داری در رشد بوته‌های گندم (افزایش مساحت برگ‌ها) با قرار دادن آنها در معرض غلظت بالای CO₂ مشاهده گردید که با گزارشات موجود هم‌خوانی دارد.

این تحقیق، در غلظت بالای CO_2 شدت بیماری و درصد لکه‌های نکروزه روی برگ‌ها، افزایش معنی‌داری نسبت به غلظت عادی CO_2 نشان داد که به دلیل افزایش کاملاً مشخص در اندازه‌ی لکه‌ها (در اثر رشد سریع‌تر بیمارگر در داخل گیاه) و نیز به دلیل رشد زیادتر میزبان و افزایش مساحت برگ‌ها و ایجاد میکروکلیمای مساعد برای توسعه‌ی بیمارگر بوده است. این نتیجه با اغلب گزارشات موجود مطابقت دارد. چاکروپورتی و نیوتون (۲۰۱۱) اظهار داشته‌اند که تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش سطح دی‌اکسیدکربن، خصوصیات ریخت‌شناختی گیاهان را تغییر داده و میکروکلیمای گیاه را برای آلودگی آنها با بیمارگرها مساعد می‌سازد در نتیجه، شدت بیماری‌ها افزایش خواهد یافت. مانینگ و تیدمن (۱۹۹۵) بالا رفتن تراکم و اندازه‌ی پوشش گیاهی در اثر افزایش دی‌اکسیدکربن را عامل افزایش شدت بیماری‌های برگ‌ی مانند زنگ‌ها، سفیدک‌های پودری، لکه‌برگی‌ها و بلایت‌ها ذکر کرده‌اند. گیاهان برنج رشد کرده در غلظت بالای CO_2 نیز در مقایسه با غلظت عادی آن، در برابر بیماری بلاست برگ بسیار حساس‌تر بودند همچنین بلایت غلاف برنج نیز در این شرایط از درصد وقوع بالاتری برخوردار بود (کوبایاشی و همکاران ۲۰۰۶). گیاه *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. در غلظت بالای دی‌اکسیدکربن، نسبت به سفیدک پودری خیلی حساس‌تر بود و این واکنش، به افزایش تراکم روزنه‌های هوایی و بزرگ شدن اندازه سلول‌های نگهبان روزنه نسبت داده شد (لیک و وید ۲۰۰۹). برخی گزارش‌های موجود، بیانگر کاهش شدت بیماری در غلظت افزایش یافته CO_2 هستند. بر اساس گزارش چاکروپورتی و همکاران (۲۰۰۰) شدت آنتراکنوز در گیاه علفه‌ای *S. scabra* در غلظت بالای دی‌اکسیدکربن، کاهش یافت. ایست‌برن و همکاران (۲۰۱۱) نیز اعلام کردند که دی‌اکسیدکربن زیاد، شدت

Stylosanthes scabra Vogel از تیره‌ی لگومینوز در استرالیا می‌باشد کاهش تندش کنیدیوم‌ها و رشد لوله تندشی و تولید اپرسوریوم، از علل کاهش تعداد لکه‌ها در واحد سطح برگ عنوان گردید (چاکروپورتی و همکاران ۲۰۰۰، پانگا و همکاران ۲۰۰۴). با توجه به اینکه طبق گزارشات موجود، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، استقرار اولیه‌ی بیمارگر را در گیاه میزبان تحت تاثیر قرار می‌دهد (ماتروس و همکاران ۲۰۰۶) لذا به نظر می‌رسد در بیماری لکه‌برگی گندم نیز موجب اختلالاتی در رخنه و استقرار اولیه‌ی بیمارگر شده و به تبع آن، تعداد لکه‌ها در واحد سطح برگ کاهش پیدا می‌کند.

در این تحقیق، مساحت لکه‌ها در گیاهان رشد کرده در غلظت بیشتر CO_2 در مقایسه با مقدار عادی آن، به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. همین امر باعث افزایش شدت بیماری و بالا رفتن درصد سطح نکروزه برگ‌ها گردید. گزارش شده که باروری و رشد برخی بیمارگرهای قارچی نیز در چنین شرایطی افزایش می‌یابد (چاکروپورتی و همکاران ۲۰۰۰). به نظر می‌رسد که متاثر از این شرایط، قارچ عامل لکه‌برگی گندم بعد از نفوذ در بافت برگ، رشد سریع‌تر و بیشتری کرده و لکه‌های درشت‌تری را به وجود می‌آورد. این امر، در گزارشات سایر محققین نیز مورد تاکید قرار گرفته است. بر اساس گزارش هیبرد و همکاران (۱۹۹۶) پرگنه‌های سفیدک پودری جو در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام از CO_2 نسبت به غلظت ۳۵۰ پی‌پی‌ام، رشد سریع‌تری روی برگ‌های جو نشان دادند. قارچ *C. gloeosporioides* نیز در شرایط بالا بودن غلظت دی‌اکسیدکربن محیط، علیرغم تاخیر اولیه در نفوذ به درون میزبان، رشد سریع‌تری در داخل بافت‌های گیاهی نشان داده است (لوپتن و همکاران ۱۹۹۵، چاکروپورتی و همکاران ۲۰۰۰). طبق نتایج حاصل در

از دمای عادی) و در کلیه ژنوتیپ‌ها و ارقام گندم مورد آزمایش، به‌طور معنی‌داری بیشتر از دمای عادی بود بنابراین، اثر مستقیم افزایش دما روی بیمارگر، می‌تواند گسترش بیماری لکه برگی گندم را در شرایط تغییر اقلیم توجیه و توصیف کند.

در این تحقیق، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و به‌ویژه دما، طول دوره‌ی نهفتگی برای ظهور لکه‌ها و دوره‌ی نهفتگی برای اسپورزایی کاهش یافت. این نتیجه با برخی از گزارش‌ها مطابقت داشته و در مواردی نیز مخالف با یافته‌های دیگران بود. به‌نظر می‌رسد این کاهش به‌علت رشد سریع‌تر قارچ عامل بیماری بعد از نفوذ در بافت برگ و در نتیجه، کوتاه شدن دوره‌ی آلودگی و رشد و گسترش و تکثیر بیمارگر می‌باشد. بر اساس گزارش هیبرد و همکاران (۱۹۹۶) پرگنه‌های سفیدک پودری جو در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام از دی‌اکسیدکربن نسبت به غلظت ۳۵۰ پی‌پی‌ام، رشد سریع‌تری روی برگ‌های جو نشان دادند و علائم بیماری زودتر ظاهر گردید. چاکروپورتی و همکاران (۲۰۰۰) اظهار داشته‌اند که در هر دوی موجودات زیواپرور و مرده‌پرور، تغییرات معنی‌داری در شروع چرخه‌ی زندگی و طول مدت مراحل آن در شرایط CO_2 افزایش یافته وجود دارد و دوره‌ی نهفتگی برای اسپورزایی در این حالت افزایش می‌یابد. بر اساس گزارش لویتن و همکاران (۱۹۹۵) نیز در غلظت بیشتر CO_2 ، زمان بین تلقیح تا اسپورزایی در قارچ *Colletotrichum gloeosporioides* افزایش یافت که به‌دلیل تاخیر یا کاهش در جوانه‌زنی اسپورها و کاهش در استقرار اولیه‌ی قارچ عامل بیماری بود. در دمای بالا نه تنها شدت بیماری افزایش می‌یابد بلکه سرعت رشد بیمارگر نیز افزایش یافته و در نتیجه، ظهور علائم بیماری و شروع اسپورزایی بیمارگر نیز تسریع می‌یابد. این موضوع در برخی گزارش‌ها نیز مورد

بیماری‌های سفیدک کرکی سویا، بلایت دیررس سیب زمینی و لکه‌برگی افرا را کاهش داده و شدت سفیدک پودری آرابیدوپسیس، لکه قهوه‌ای سویا، بلاست برنج، بلایت غلاف برنج و لکه‌برگی سرکوسپورایی ارغوان را افزایش می‌دهد اما شدت زنگ برگی صنوبر لرزان و لکه‌برگی توس نقره‌ای بدون تغییر باقی می‌ماند.

بر اساس نتایج این تحقیق، افزایش دما نیز نقش موثری در افزایش معنی‌دار تعداد لکه‌ها در روی برگ‌های گندم و درصد آلودگی آنها داشت. نتیجه‌ی حاصله با گزارش‌های ارائه شده در مورد نقش افزایش دما در بالا رفتن شدت بیماری‌ها مطابقت کامل دارد. اوانس و همکاران (۲۰۰۸) در انگلیس با استفاده از مدلی بر اساس عوامل آب و هوایی، پیش بینی کردند که در اثر افزایش دما، شدت بیماری شانکر ساقه‌ی گیاه خردل روغنی ناشی از قارچ *Phoma* sp. افزایش می‌یابد. آچاریا و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که دما به‌مقدار قابل توجهی توسعه‌ی بیماری لکه‌برگی گندم را تحت تاثیر قرار می‌دهد به‌طوری که با افزایش دما، تعداد لکه‌ها بیشتر می‌شود. دلسپینی (۲۰۰۴) اثر مستقیم و مثبت افزایش دما روی نرخ تکثیر و اسپورزایی بیمارگر عامل لکه‌برگی گندم را در محیط آزمایشگاهی و در طبیعت گزارش کرده و اعلام نمود که دمای بالا شدت بیماری لکه‌برگی را افزایش می‌دهد. ویانی (۲۰۱۴) در مدل‌سازی برای پیش‌بینی پراکنش بیماری لکه‌برگی در کل مناطق گندم‌خیز هند، نشان داد که $1/5$ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش در دمای محیط، موجب توسعه‌ی بیماری و افزایش شدت آن خواهد شد و این افزایش، در شمال غرب هند بیشتر از مناطق شمال شرقی و در ماه فوریه بیشتر از ماه مارس خواهد بود. در تحقیق حاضر نیز در شرایط شیب دمایی، درصد شدت بیماری لکه‌برگی در دماهای افزایش یافته (۱، ۲ و ۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر

(گینی و همکاران ۲۰۱۱). به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که شناخت تغییرات حاصله در بیماری در اثر تغییرات اقلیمی می‌تواند در پیش‌بینی وقوع بیماری و ارزیابی آسیب‌پذیری گیاهان یک منطقه در مقابل آنها نقش به‌سزایی ایفا کرده و روش‌های سازگاری در برابر آنها را مشخص نماید.

تصریح قرار گرفته است مثلاً در زنگ یونجه با افزایش دما، دوره‌ی نهفتگی کاهش می‌یابد (وب و نوتر ۱۹۹۷) همچنین در زنگ زرد گندم، افزایش دما باعث کوتاه شدن دوره‌ی نهفتگی برای اسپورزایی می‌شود (میلوس و همکاران ۲۰۰۹). در برزیل، مدل‌های شبیه‌سازی بیماری زنگ قهوه و نقشه‌های حاصل، کاهش مشخصی را در دوره‌ی نهفتگی برای ظهور علائم بیماری نشان دادند

منابع

- سمیعی ف، جوان نیکخواه م، زمانی‌زاده ح ر و رفیعی کرهرودی ن، ۱۳۸۷. واکنش تعدادی از ارقام گندم به قارچ *Bipolaris sorokiniana* عامل پوسیدگی معمولی ریشه. مجله‌ی حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۲، شماره‌ی ۲. صفحه‌های ۲۱۱ تا ۲۱۹.
- صادقی گرمارودی ح، ۱۳۷۷. ارزیابی مقاومت ارقام گندم به لکه‌برگی قارچ *Bipolaris sorokiniana*. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد بیماری شناسی گیاهی، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- صفایی د، اخوت م، حجارود ق و یونسی ح، ۱۳۸۷. شناسایی، مقایسه‌ی بیماری‌زایی و تعیین پراکنش شبه‌گونه‌های *Bipolaris* عامل پوسیدگی ریشه و طوقه‌ی گندم در استان کرمانشاه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی شماره‌ی ۴۳، صفحه‌های ۲۰۷ تا ۲۱۴.
- عمارلو ا ع، روحانی ح و مهدیخانی مقدم ع، ۱۳۸۹. شناسایی و بررسی بیماری‌زائی قارچ‌های عامل پوسیدگی ریشه و طوقه‌ی گندم در استان خراسان شمالی. نشریه‌ی حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۴، شماره‌ی ۳. صفحه‌های ۲۶۹ تا ۲۸۴.
- منصوری ب، روانلو ع، نوراللهی خ، آزادبخت ن، جعفری ح و قلندر م، ۱۳۸۱. بیماری پوسیدگی معمولی ریشه و طوقه‌ی گندم در استان‌های آذربایجان غربی، ایلام، لرستان، زنجان و مرکزی. جلد ۲-صفحه‌ی ۴۱ خلاصه مقالات پانزدهمین کنگره‌ی گیاه‌پزشکی ایران، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
- Acharya K, Dutta AK and Pradhan P, 2011. *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem.: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas. Australian Journal of Crop Science 5(9):1064-1071.
- Chakraborty S and Newton AC, 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. Plant Pathology 60: 2-14.
- Chakraborty S, Tiedemann AV, Teng PS, and Chakraborty S. 2000. Climate change: Potential impact on plant diseases. Environmental Pollution 108:317-326.
- de Lespinay A, 2004. Selection for stable resistance to *Helminthosporium* leaf blights in non-traditional warm wheat areas. M.S. Thesis. Universite' Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgium.

- Duveiller E, Kandel YR, Sharma RC and Shrestha SM, 2005. Epidemiology of foliar blights (spot blotch and tan spot) of wheat in the plains bordering the Himalayas. *Phytopathology* 95:248-256.
- Duveiller EM and Sharma RC, 2009. Genetic improvement and crop management strategies to minimise yield losses in warm non-traditional wheat growing areas due to spot blotch pathogen *Cochliobolus sativus*. *Journal of Phytopathology* 157: 521-534.
- Eastburn DM, DeGennaro MM, DeLucia EH, Dermody O and McElrone AJ, 2011. Elevated atmospheric carbon dioxide and ozone alter soybean diseases at SoyFACE . *Global Change Biology* 16: 320-330.
- Evans N, Baierl A, Semenov MA, Gladders P and Fitt BDL, 2008. Range and severity of a plant disease increased by global warming. *Journal of the Royal Society Interface* 5: 525–531.
- Ghini R, Hamada E, Pedro Júnior MJ and Gonçalves RRV, 2011. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. *Summa Phytopathologica* 37: 85-93.
- Hibberd JM, Whitbread R and Farrar JF, 1996. Effect of elevated concentrations of CO₂ on infection of barley by *Erysiphe graminis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 48:37-53.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Sciences Basis, 5th Assessment Report (AR5) Working Group I Contribution to the IPCC-Changes to the underlying Scientific Technical Assessment.
- Joshi AK, Kumari M, Singh VP, Reddy CM, Kumar S, Rane J and Chand R, 2007. Stay green trait: variation inheritance and its association with spot blotch resistance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 153:59-71.
- Kobayashi T, Ishiguro K, Nakajima T, Kim HY, Okada M, and Kobayashi K, 2006. Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on the infection of rice blast and sheath blight. *Phytopathology* 96:425-431.
- Lake JA and Wade RN, 2009. Plant-pathogen interactions and elevated CO₂: morphological changes in favour of pathogens. *Journal of Experimental Botany* 60(11):3123-3131.
- Lakhdar L, 2008. Assess 2.0. Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. APS Press. St. Paul. MN. USA.
- Legreve A and Duveiller E, 2010. Preventing potential diseases and pest epidemics under a changing climate. Pp.50-70 In: Reynolds MP(ed.) *Climate Change and Crop Production*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Lupton J, Chakraborty S, Dale M and Sutherst R, 1995. Assessment of the enhanced greenhouse effect on plant diseases - a case study of *Stylosanthes* anthracnose. *Proceedings of the 10th Biennial Australian Plant Pathology Conference, 28-30 August, Lincoln University, New Zealand*.
- Manning WJ, and Tiedermann AV, 1995. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-b (UV_B) radiation on plant diseases. *Environmental Pollution* 88:219-245.
- Matros A, Amme S, Kettig B, Buck-Sorlin GH, Sonnewald U and Mock HP, 2006. Growth at elevated CO₂ concentrations leads to modified profiles of secondary metabolites in tobacco cv. Samsun NN and to increased resistance against infection with Potato virus Y. *Plant Cell and Environment* 29:126-137.

- Matusinsky P, Frei P, Mikolasova R, Svacinova I, Tvaruzek L and Spitzer T, 2010. Species-specific detection of *Bipolaris sorokiniana* from wheat and barley tissues. *Crop Protection* 29:1325-1330.
- Milus EA, Kristensen K and Hovmoller MS, 2009. Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* causing stripe rust of wheat. *Phytopathology* 99: 89-94.
- Muralikrishna KS, Kumar SN and John Sunoj VS, 2013. Elevated CO₂ and temperature affect leaf anatomical characteristics in coconut (*Cocos nucifera* L.) Pp.141-153 In: Sundaresan J, Sreekesh S, Ramanathan A, Sonnenschien L and Boojh R (eds.) *Climate Change and Island and Coastal Vulnerability*. Springer, Netherlands.
- Pachauri RK and Reisinger A, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Pangga IB, Chakraborty S and Yates D, 2004. Canopy size and induced resistance in *Stylosanthes scabra* determine anthracnose severity at high CO₂. *Phytopathology* 94: 221-227.
- Saari EE and Prescott JM, 1975. Scale for appraising the foliar intensity of wheat disease. *Plant Disease Reporter* 59: 377-380.
- Senthil PC, 2004. Epidemiological studies on spot blotch of wheat caused by *Bipolaris sorokiniana*, Ph.D Thesis, IARI, New Delhi, India.
- Shamim I, Shahzad A, Anjum M and Iftikhar A, 2008. Selection of in vitro technique for pathogenicity and screening of wheat cultivares against *Bipolaris sorokiniana*. *Pakistan Journal of Botany* 40: 415-420.
- Sharma RC, Duveiller E and Jacquemin JM, 2007. Microsatellite markers associated with spot blotch resistance in spring wheat. *Journal of Phytopathology* 155: 316-319.
- Viani A, 2014. Forecasting potential distribution of spot blotch in wheat under climate change scenario in Indo-Gangetic plains. PhD thesis, Plant pathology, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India.
- Webb DH and Nutter FWJr, 1997. Effects of leaf wetness duration and temperature on infection efficiency, latent period, and rate of pustule appearance of rust in alfalfa. *Phytopathology* 87:946-950.

Impact of Elevated CO₂ and Temperature on Some Epidemiological Factors in *Cochliobolus sativus*, the Causal Agent of Spot Blotch in Wheat

Ali Viani^{1*} and Parimal Sinha²

¹Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

²Division of Plant Pathology, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, 110012, India.

*Corresponding author: viani@tabrizu.ac.ir

Received: 26 Jul 2015

Accepted: 7 Oct 2015

Abstract

The effects of elevated temperature and CO₂ concentration on spot blotch disease of wheat (caused by *Cochliobolus sativus*) were studied in controlled conditions. Wheat plants were grown in phytotron chambers in two levels of temperatures (22 and 25°C) and CO₂ concentrations (360 and 550 ppm) and artificially inoculated with spores of pathogen at 30 days old. Influence of elevated CO₂ was noted in terms of increased leaf area, spot size, percentage of leaf necrotic area and decrease in spot numbers cm⁻² of leaf, incubation period and latent period. Temperature rise increased spot number and necrotic area of leaves and decreased incubation and latent period but did not affect mean size of spots as well as leaf area. By increasing both CO₂ and temperature levels, significant decrease in incubation and latent period and increase in percentage of leaf infection was noted. The maximum percentage of infection and the shortest duration of incubation and latent period were observed in 550 ppm CO₂ and 25°C. The effect of temperature rise under temperature gradient chambers was also observed as significant increase in disease severity in all wheat genotypes and varieties studied. Therefore, CO₂ and temperature rise likely to contribute definitive increase in spot blotch severity in wheat.

Key words: Climate change, Elevated CO₂, Elevated temperature, Spot blotch, Wheat.