یافته‌های تحقیقاتی در بهبود
تولیدات گیاهان زراعی
جلد دوم، شماره اول، سال 1395
http://raicp.areo.ir

مروری بر الگوهای پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم

محمدعلی آقاجانی[1*]

[1]استادیار پژوهشی بخش تحقیقات گیاهپزشکی،مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

چکیده

بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله، ناشی از گونه‌های مختلف قارچ فوزاریوم، یکی از عوامل محدود کننده‌ی تولید گندم می‌باشد که از نقاط مختلف جهان، از جمله استان‌های شمالی ایران، گزارش شده است. آلودگی بیماری در دوره‌ی گلدهی اتفاق می‌افتد، اما نشانه‌هایبیماری پس از آن ظاهر می‌شود؛ بنابراین زمان مناسب سمپاشی در دوره‌ی گلدهی، یعنی پیش از پیدایشنشانه‌ها است. با توجه به این ضرورت و دوره زمانی کوتاهی که برای آلوده‌شدن گیاه وجود دارد، پیش‌آگاهی این بیماری امکان‌پذیر می‌باشد. تلاش برای پیش‌آگاهی بیماری، در نقاط مختلف دنیا انجام شده و در برخی از کشورها مانند آرژانتین، بلژیک، کانادا، ایتالیا، برزیل و آمریکا به نتیجه رسیده و به‌صورت نقشه‌های پیش‌بینی آن‌لاین در پایگاه‌های اینترنتی ارایه شده است. در ایران،الگویی برای پیش‌آگاهی بیماری به‌صورت نظری تهیه شده ولی کارایی آن در عمل مشخص نشده است. هم‌اکنون تحقیقی در زمینه رابطه‌ی آماری میان بیماری و متغیرهای آب و هوایی در دست اجرا می‌باشد. توصیه کاربردی برای پیشگیری از بیماری، سمپاشی مزرعه در مرحله گلدهی با استفاده از قارچکش‌های موثر است.

واژه‌های کلیدی:الگوی پیش‌آگاهی، بادزدگی فوزاریومی سنبله، گندم، *Fusariumgraminearum*

*مسئول مکاتبه:maaghajanina@yahoo.com

مقدمه

گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی جهان می‌باشد که بیش از 20 درصد پروتئین و40 درصد انرژی را در تغذیه انسان تأمین می‌کند. افزایش تولید گندم با افزایش سطح زیر کشت و نیز بهبود عملکرد محصول در هکتار امکان‌پذیر است. در عمل افزایش سطح زیر کشت به دلیل محدود بودن اراضی قابل کشت میسر نمی‌باشد، پس تنها راه پیش‌رو،بهبود عملکرد در واحد سطح است (براونز، 2004).

بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله[1]یکی از عوامل محدودکننده‌ی تولید گندم می‌باشد که از نقاط مختلف جهان گزارش شده است. این بیماری می‌تواند به‌طور چشمگیری باعث کاهش پنجه، تولید سنبله‌های کوچک‌تر و در نتیجه، عملکرد وکیفیت پایین‌تر شود که در این بین، مساله‌ی تولید توکسین توسط عامل بیماری نیز قابل توجه است. بسیاری از گونه‌های فوزاریوم قادر به تولید مایکوتوکسین در دانه‌های گندم می‌باشند(چستر، 1980). تاکنون بیش از 16 نوع توکسین تولید شده به وسیله‌ی دو گونه‌ی *Fusariumgraminearum*و *Fusariumculmorum*توسط میلر (1994) گزارش شده است که مهم‌ترین آن‌ها مایکوتوکسین‌های گروه تریکوتسین مانند نیوالنول[2]، دی اکسی نیوالنولو زرالنون[3]بوده است. در بررسی‌های انجام شده به وسیله‌ی زارع نصرآبادی (1374) غلظت‌های بالایی از توکسین‌های یادشده در برخی نمونه‌های جمع‌آوری شده از استان مازندران شناسایی شده است. این توکسین‌ها از نظر بهداشتی حایز اهمیت هستند.

با توجه به میزان اهمیت این بیماری در تخریب این محصول راهبردی و قابل توجه بودن آن به لحاظ دارا بودن میزبان‌های متعدد و امکان زیست در شرایط اقلیمی گوناگون، مبارزه با این بیماری در محصولات زراعی چون گندم و حرکت در جهت کاهش آلودگی محیط به لحاظ مصرف سموم شیمیایی (آقاجانی، 1387 الف؛ آقاجانی، 1394؛ زحمتکش و همکاران، 1388؛ لشکربلوکی و همکاران، 1394) ، زمان سمپاشی (آقاجانی، 1387 ب؛ کوک‌چلی و همکاران، 1392)، انتخاب بهترین روش مدیریت ومهار بیماری از راه مدیریت تلفیقی و تمرکز بیشتر بر روش‌های بیولوژیکی (باغانی و همکاران، 1389؛ ملوندی و همکاران، 1393)، امری اجتناب‌ناپذیر و حیاتی محسوب می‌شود. از این‌رو هدف از تدوین این نوشتار، مروری بر الگوهای پیش‌آگاهی ساخته‌شده در کشورهای مختلف دنیا و آشنایی با عوامل مهم و تاثیرگذار در اپیدمی بیماری است تا بتوان با انجام تحقیقات مشابه در ایران، راه دست‌یابی به چنین الگوهایی را در جهت مهار مناسب بیماری هموار نمود.

1.Fusarium head blight (FHB)
2. NIV
3.ZEN

بیان موضوع

فوزاریوزاز مخرب‌ترین بیماری‌های گندم در مناطقی با آب و هوای مرطوب، نیمه‌گرم با بارندگی بالا است. این بیماری در مناطق مختلف به اسامی متفاوت از جمله اسکب گندم، کپک صورتی، بلایت سنبله و سفید شدن سنبله مشهور است. این بیماری برای اولین بار از انگلستان گزارش شد و نخستین بار آرتور از آمریکا میزان خسارت بیماری در سال 1891 در مناطقی از آمریکا را نزدیک به 80 درصد گزارش کرد. چستر (1980) نیز میزان خسارت این بیماری را در یک ایالت آمریکا بیش از 25 درصد گزارش کرده است. ضمن این‌که اذعان نمود این بیماری موجب خسارت به محصول گندم می‌شود به‌طوری که در سال 1919 خسارت آن نزدیک به 2/88 میلیون تن برآورد شده است. در سال 1993 در پی اپیدمی بیماری در سه ایالت آمریکا حدود یک میلیارد دلار خسارت به محصول گندم وارد آمد.

در ایران برای اولین بار در سال1356 این بیماری توسط ارشاد از مزارع دشت ناز ساری گزارش شد و در سال زراعی 72-1371 میزان خسارت این بیماری در بعضی مزارع استان گلستان بیش از 80 درصد محصول برآورد گردید. در سال 1375 مزارع گندم‌کاری استان‌های جنوبی کشور شامل استان‌های بوشهر، هرمزگان و فارس نیز به این بیماری آلوده شدند که میزان خسارت وارده به محصول بسیار چشمگیر بوده است (گلزار، 1368).با توجه به رقم‌های تجاری حساس که سطح وسیعی را در مناطق انتشار بیماری به خود اختصاص داده بود، خسارت بیماری در سال‌های طغیانی قابل توجه بوده است. بر پایه بررسی‌های به‌عمل آمده در منطقه‌ی گرگان، میانگین درصد آلودگی سنبله برای رقم‌های فلات، گلستان و خزر1 به ترتیب 61/5، 76 و 28/8 درصد و میزان کاهش عملکرد در مزارع به شدت آلوده تا 50 درصد روی رقم فلات برآورد شده است. همچنین این شرایط در سال زراعی 75-74 به دلیل شرایط استثنایی از نظر میزان بارندگی و پراکندگی آن در استان هرمزگان، خسارت قابل توجه‌ای در برخی از مزارع حاجی‌آباد و همچنین در جنوب فارس ایجاد کرد (دهقان، 1385).

بادزدگی فوزاریومی سنبله به وسیله‌ی چندین گونه از قارچ فوزاریوم یا آنامورف‌های شبیه به فوزاریوم ایجاد می‌شود (روسی و همکاران، 2003). اگرچه فوزاریوز می‌تواند یک بیماری ویران‌گر باشد، اما شدت آن از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه‌ی دیگر تفاوت زیادی دارد، زیرا بیماری وابستگی شدیدی به شرایط اپیدمیولوژیکی مساعد دارد (روسی و همکاران، 2004).آلودگی ناشی از گونه‌های فوزاریوم روی گندم در دوره‌ی گلدهی رخ می‌دهد. علاوه بر کاهش عملکرد، این قارچ‌ها می‌توانند در شرایط مساعد ترکیبات سمی (مایکوتوکسین) تولید کنند، بنابراین تهدیدی برای سلامت انسان و دام می‌باشند (دتریکسه و همکاران، 2003).

ضرورت پیش‌آگاهی: طبیعت بیماری به گونه‌ای است که آلودگی تنها در دوره‌ی گلدهی، مدت زمانی که گل‌های گندم برای انجام گرده‌افشانی باز شده است، امکان‌پذیر است. علامت شروع گلدهی، خروج بساک‌های پرچم سفیدرنگی است که از گل‌ها آویزان می‌شود و پس از مدتی که به‌طور معمول حدود 7-10 روز طول می‌کشد، بساک‌ها چروکیده شده، به‌رنگ زرد در می‌آید و سپس می‌ریزد و این نشانه‌ی پایان دوره‌ی گلدهی است (شمال و برگستروم، 2010). بنابراین تنها زمان مناسب سمپاشی برای مقابله با بیماری، دوره‌ی گلدهی است؛ به عبارت دیگر مناسب‌ترین زمان سمپاشی مزرعه اوایل گلدهی است، یعنی زمانی که حدود 25 درصد سنبله‌های گندم وارد مرحله گلدهی شده است (آقاجانی، 1387 ب؛ آقاجانی، 1394؛ کوک‌چلی و همکاران، 1392).نشانه‌های بیماری، پس از مرحله‌ی گلدهی در سنبله‌های گندم ظاهر می‌شود، یعنی زمانی که دیگر برای سمپاشی دیر شده است؛ بنابراین زمان مناسب سمپاشی، هنگامی است که هنوز نشانه‌های بیماری ظاهر نشده و اطلاعاتی درباره‌ی ظهور یا فقدان بیماری وجود ندارد. این مساله، ضرورت پیش‌آگاهی در مورد این بیماری را دوچندان می‌کند.

الگوهای پیش‌آگاهی: فوزاریوز، به‌واسطه‌ی شدت اپیدمی‌ها، خسارت‌های ناشی از آلودگی مایکوتوکسین و دوره‌ی زمانی کوتاه مربوط به اسپورزایی بیمارگر، انتشار زادمایه و آلودگی میزبان یک بیماری بسیار مناسب برای الگوسازی ارزیابی احتمال خطر است (دی وولف و همکاران، 2003).تلاش‌هایی برای پیش‌بینی فوزاریوز با تاکید بر اهمیت زادمایه و عوامل محیطی برای اپیدمی بیماری انجام شده است (پری و همکاران، 1995). به منظور پیش‌بینی وقوع بیماری و مدیریت مناسب آن، چندین الگوی آلودگی فوزاریوز یا ارزیابی احتمال خطر مایکوتوکسین ساخته شده است (دتریکسه و همکاران، 2003؛ دی وولف و همکاران، 2003؛ دی وولف و همکاران، 2004؛ مدن و همکاران، 2004؛ شافسما و همکاران، 2006).الگوهای کامپیوتری برای پیش‌بینی وقوع فوزاریوز و آلودگی دی‌اکسی نیوالنول[1] در گندم در زمان برداشت، بر اساس متغیرهای آب و هوایی (دما، باران و رطوبت) پایه‌ریزی شده است (مدن و همکاران، 2004؛ هوکر و همکاران، 2002؛ مدن و همکاران، 2004؛ موشینی و همکاران، 2001). در ذیل، به برخی الگوهای پیش‌آگاهی ساخته‌شده برای بیماری فوزاریوزدر مناطق مختلف جهان اشاره شده است.

1.DON

آرژانتین

در آرژانتین، موشینی و فورتاگنو (1996) معادله‌های تجربی برای پیش‌بینی وقوع فوزاریوز(PI%: شاخص پیش‌بینی) در ارتباط با وقوع متوسط بادزدگی سنبله رقم‌های مختلف گندم با متغیرهای دما و رطوبت ساختند. بعدها، دو معادله مورد اعتبار سنجی قرار گرفت (موشینی و همکاران، 2001):

$$PI\% = 20.37 + 8.63 \cdot NP_2 - 0.49 \cdot DD_{926} \quad (1)$$

$$PI\% = 18.34 + 4.12 \cdot NP_{12} - 0.45 \cdot DD_{1026} \quad (2)$$

که در آن‌ها NP2 تعداد دوره‌های دو روزه‌ی بارش (P0.2 mm) و رطوبت نسبی بالاتر از 81 درصد در روز اول و 80 درصد در روز دوم، NP12 جمع تعداد دوره‌های NP2 به علاوه‌ی تعداد روزهای بارش P0.2 mm و رطوبت نسبی بالاتر از 83 درصد بود. DD926 و DD1026 نیز بیان‌گر 926 و 1026 درجه‌ی روز تجمعی بودند که به صورت روابط زیر محاسبه شدند:

$$DD_{926} = \sigma[(MaxT) - 26) + (9 - MinT)] \quad (3)$$

$$DD_{1026} = \sigma[(MaxT - 26) + (10 - MinT)] \quad (4)$$

که در آن MaxT دمای بیشینه‌ی روزانه بالاتر از 26 درجه، MinT دمای کمینه‌ی روزانه کمتر از 9 یا 10 درجه بوده، جمع روزهای مساعد به عنوان طول دوره‌ی بحرانی[1] محاسبه می‌شد. طول دوره بحرانی، دوره‌ی زمانی بود که از 8 روز قبل از تاریخ سنبله آغاز و بعد از جمع شدن 530 درجه‌ی روز (با دمای پایه‌ی صفر درجه) پایان می‌یافت. این مطالعه نشان داد که معادله‌ی تجربی مبتنی بر هواشناسی ساخته شده برای منطقه‌ی پرگامینو می‌تواند با تغییرات اندکی در آستانه‌های دما، برای پیش‌بینی مقدار بیماری در بسیاری از مناطق شمالی در منطقه‌ی پامپاس مفید باشد. فرناندز (2004) از یک الگوی مبتنی بر فرآیند برای ارزیابی احتمال خطر فوزاریوزدر سه نقطه در آمریکای جنوبی استفاده کرد و اظهار داشت که بالاترین شاخص احتمال خطر فوزاریوزاحتمالاً به واسطه‌ی وجود روزهای بارانی بیشتر طی پاییز در یک سناریوی اقلیمی خاص بوده است.

فوزاریوزغالباً در مناطق گرم و مرطوب، به ویژه در مناطقی که ریزش باران زیاد و دوره‌ی خیسی سنبله بیش از 48 ساعت است، اتفاق می‌افتد. چنین دوره‌ی رطوبتی، در اثر بارندگی ایجاد می‌شود. بنابراین باران منبع خیس کننده سنبله‌هاست. بر اساس نتایج موشینی و فورتاگنو (1996)، فوزاریوزبه دو روز متوالی بارانی نیاز دارد که در روز اول، باران باید بیش از 0/2 میلی‌متر و رطوبت نسبی بیش از 81 درصد و در روز دوم باید بیش از 78 درصد باشد. در صورت فقدان بارندگی، خیسی سنبله‌ها اتفاق نخواهد افتاد و آلودگی نیز ایجاد نخواهد شد.

1. Critical period length (CPL)

زولدان (2008) با ترکیب دمای هوا و مدت خیس بودن سنبله[1] توانست ارزش روزانه‌ی مساعد بودن برای آلودگی[2] را برای هر روز تعریف کند. براستولین و همکاران (2013) با تحقیق بیشتر بر روی الگوی زولدان (2008)، شاخص جدیدی به عنوان «جمع ارزش‌های روزانه‌ی شرایط مساعد برای بیماری»[3] را پیشنهاد نمودند. بر پایهیافته‌های آنها، آلودگی در گندم به دنبال بارندگی در صورتی ایجاد می‌شود که بیش از 61/4 ساعت خیس بودن سنبله‌ها اتفاق بیفتد. بنابراین پیش‌بینی وقوع باران می‌تواند به تعیین زمان سمپاشی برای مهار بیماری کمک کند. آنها نظام پیش‌آگاهی خود را UPF-scab alert نام نهادند.

بلژیک

در بلژیک، به‌منظور ارزیابی احتمال خطر آلودگی فوزاریوزدر گندم زمستانی، یک الگوی هواشناسی کشاورزی بر پایه درون‌یابی داده‌های راداری آب و هوایی (بالاتر از همه‌ی وقوع بارش) برای شبیه‌سازی دوره‌ی خیسی برگ در یک شبکه به ابعاد یک کیلومتر ساخته شد (دتریکسه و همکاران، 2003). دوره‌ی خیسی برگ، رابطه‌ی قوی با توسعه و شیوع بیماری‌های گیاهی دارد زیرا بسیاری از بیمارگرهای مهم به یک لایه آب آزاد برای حرکت روی سطح اندام‌های گیاه و شروع مراحل آلودگی خود نیاز دارند (دالا مارتا و همکاران، 2005). این الگو به دو دلیل جالب است: نخست درون‌یابی داده‌های هواشناسی در یک محدوده‌ی مورد نظر و به‌ویژهکاربست داده‌های رادار آب و هوایی برای مکانی کردن وقوع ریزش در این محدوده؛ دوم استفاده از برآورد دوره‌ی خیسی برگ به جای رطوبت نسبی به منظور به‌دست آوردن تمایز بهتر احتمال خطر آلودگی فوزاریوز در گندم زمستانی بود. آزمون‌های کالیبره‌کردن و اعتبارسنجی نیز برای بهینه‌سازی الگوی ساخته شده صورت پذیرفت (دتریکسه و همکاران، 2003).

کانادا

در کانادا، هوکر و همکاران (2002)، برپایه داده‌های بارش و دما و زمان‌بندی آن دو، سه معادله را برای پیش‌بینی دی‌اکسی نیوالنول در دانه‌ی رسیده در مرحله‌ی سنبله‌ی گندم ارایه کردند. آنها غلظت دی‌اکسی نیوالنول را در 399 مزرعه در جنوب اونتاریو در کانادا از 1996 تا 2000 اندازه گرفتند.

1.Head wetness duration(HWD)
2.Daily values of infection favorability (DVIF)
3.Sum of daily values forinfection favorability (SDVIF)

معادله‌ی 5، مقدار دی‌اکسی نیوالنول را با استفاده از اطلاعات آب و هوایی از 4 تا 7 روز قبل از مرحله‌ی سنبله پیش‌بینی می‌کند:

$$DON = \exp[-0.30 + 1.84RAINA - 0.43(RAINA)^2 - 0,56TMIN] - 0.1 \quad (R^2 = 0.55) \qquad (5)$$

که در آن، DON غلظت دی‌اکسی نیوالنول (لگاریتم بر گرم)، RAINA تعداد روزهای با باران بیش از 5 میلی‌متر در دوره‌ی 7-4 روزه‌ی پیش از سنبله و TMIN تعداد روزهای با دمای کمتر از 10 درجه در 7-4 روز پیش از سنبله است.معادله‌های 6 و 7 نیز، غلظت دی‌اکسی نیوالنول را با استفاده از اطلاعات آب و هوایی از 7 روز پیش از سنبله تا 10 روز بعد از سنبله پیش‌بینی می‌کنند چنانچه RAINB مثبت باشد، رابطه (6) و در غیر این صورت (RAINB = 0) رابطه (7) به شرح زیر برای پیش‌بینی مورد استفاده قرا می‌گیرد

$$DON = \exp[-2.15 + 2.21RAINA - 0.61(RAINA)^2 + 0.85RAINB + 0.52RAINC - 0.30TMIN - 1.10TMAX] - 0.1 \quad (R^2 = 0.79) \qquad (6)$$

$$DON = \exp(-0.84 + 0.78RAINA + 0.40RAINC - 0.42TMIN) - 0.1 \quad (R^2 = 0.56) \qquad (7)$$

که در آنDON غلظت دی‌اکسی نیوالنول (لگاریتم بر گرم)،RAINA تعداد روزهای با باران بیش از 5 میلی‌متر در روز در دوره‌ی 7-4 روزه‌ی پیش از سنبله، RAINB تعداد روزهای با باران بیش از 3 میلی‌متر در روز در دوره‌ی 6-3 روزه‌یپیش از سنبله، RAINC تعداد روزهای با باران بیش از 3 میلی‌متر در روز در دوره‌ی 10-7 روز بعد از سنبله، TMIN تعداد روزهای با دمای کمتر از 10 درجه در 7-4 روز پیش از سنبله و TMAX تعداد روزهای با دمای بیش از 32 درجه در 7-4 روز پیش از سنبله است.

DONcastبه‌عنوان یک پیش‌بینی‌کننده قوی و اختصاصیدی‌اکسی نیوالنول برای گندم به‌صورت تجاری معرفی شد (هوکر و شافسما، 2004) و تا 5 سال به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفت (شافسما و هوکر، 2006). برای نخستین بار در سال 2004، یک مدل تعاملی مبتنی بر شبکه، که امکان ورود متغیرهای آب و هوایی و زراعی مخصوص مزرعه را فراهم می‌کرد، برای صنعت ساخته شد. پیش‌بینی‌ها 76 درصد تنوع موجود در دی‌اکسی نیوالنول را با استفاده از یک بانک اطلاعاتی از 1996 تا 2003 بیان نمود (هوکر و همکاران، 2004).

ایتالیا

در ایتالیا، یک الگوی پیش‌بینی با توجه به احتمال خطر فوزاریوز و آلودگی مایکوتوکسین (دی‌اکسی نیوالنول و زرالنون) در گندم مبتنی بر داده‌های هواشناسی و اطلاعاتی درباره‌ی مراحل رشدی گندم ساخته شد. روسی و همکاران (2003) بر پایه تحلیل سیستم، یک الگوی شبیه‌سازی ایستا برای احتمال خطر فوزاریوز گندم ساختند (شکل 1). بر پایه اسپورزایی، انتشار اسپورها و آلودگی بافت میزبان برای چهار گونه‌ی عامل بیماری (*Gibberellazeae*، *Fusariumculmorum*، *Giberellaavenacea* و *Monographellanivalis*)، الگو احتمال خطر آلودگی روزانه را محاسبه می‌کرد. در سال 2002، الگو برای بیش از 22 منطقه‌ی تولید گندم در شمال ایتالیا اعتبارسنجی شد. در هر منطقه، یک شاخص احتمال خطر (TOX-risk) به‌طور روزانه برای *F. graminearum* و *F. culmorum* محاسبه شد و در طول فصل رشد تا زمان برداشت با کاربست رابطه زیر جمع‌سازی شد.

$$\text{TOX-risk} = \text{SPO} \cdot \text{DIS} \cdot \text{INF} \cdot \text{GS} \cdot \text{INV} \qquad (8)$$

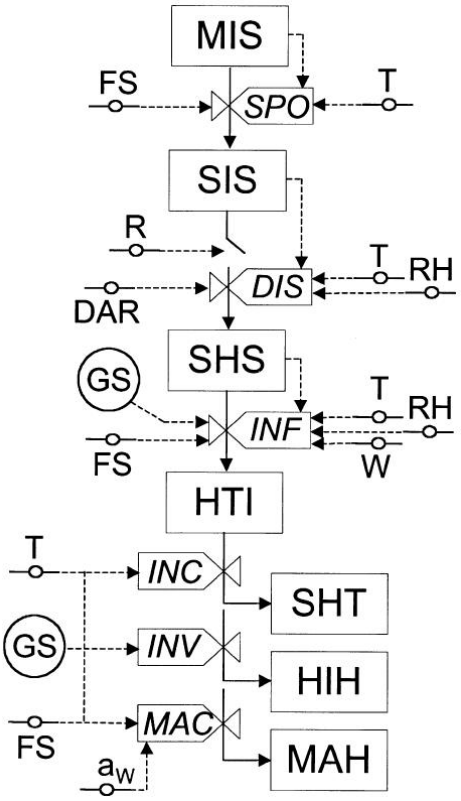
که در آن SPO نرخ اسپورزایی، DIS نرخ انتشار، INF نرخ آلودگی، GS مرحله‌ی رشدی میزبان و INV نرخ تهاجم است (روسی و همکاران، 2003). نرخ‌ها تحت تاثیر دمای هوا، رطوبت نسبی، باران، توالی‌های روزهای بارانی، دوره‌ی خیسی و آب آزاد در بافت میزبان[1] قرار می‌گیرند. گونه‌ی قارچی و مرحله‌ی رشد میزبان نیز در نظر گرفته شد. تولید دی‌اکسی نیوالنول و زرالنوندر دانه‌ها، به وسیله‌ی دو معادله‌ی رگرسیونی برآورد شد کهبا استفاده از داده‌های آزمایش‌های مایه‌زنی مصنوعی ساخته شده بود:

$$\ln \text{DON} = 3.0894 \cdot \ln(\text{TOX-risk}) - 3.5231 \qquad (9)$$

$$\ln \text{ZEA} = 0.2113 \cdot \exp(0.054 \cdot \text{TOX-risk}) \qquad (10)$$

الگو دو شاخص تولید می‌کند: یکی برای احتمال خطر فوزاریوز روی گندم و دیگری برای مقدار مایکوتوکسین دانه‌ها. مقایسه‌ی میان مقدار واقعی دو مایکوتوکسین و مقدار برآورد شده، مطابقت خوبی نشان داد (روسی و همکاران، 2003).

1. aw



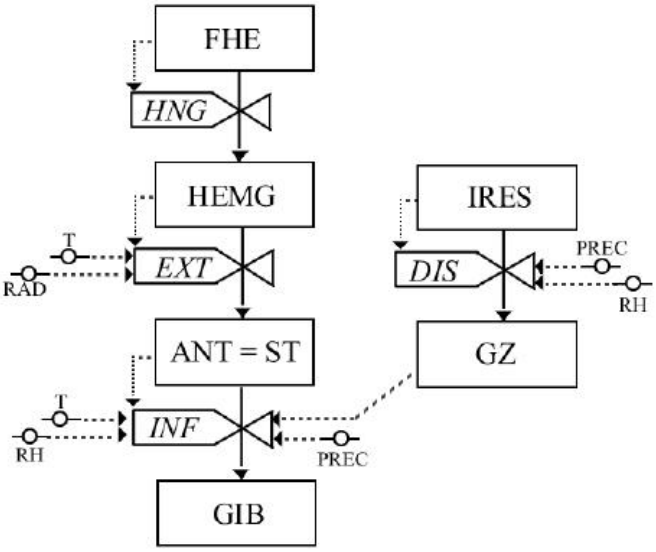
شکل 1- نمودار رابطه مدل آلودگی فوزاریوز و آلودگی مایکوتوکسین گندم (روسی و همکاران، 2003).

برزیل

برای برآورد احتمال خطر آلودگی فوزاریوز در برزیل، یک الگوی مکانیستیکی توسعه یافته است (شکل 2) که فرآیندمحور بوده، و بر پایه نرخ‌ها، قوانین و ضرایبی برای برآوردپویای گلدهی، تراکم زادمایه‌ی هوازاد و بسامد آلودگی اداره می‌شود. بسامد آلودگی تابعی از دما طی یک رخداد آلودگی[1] است که بر مبنای ترکیبی از داده‌های روزانه‌ی بارش و میانگین رطوبت نسبی تعریف می‌شود. شاخص آلودگی روزانه، حاصل نسبت روزانه‌ی بافت حساس در دسترس، بسامد آلودگی و تراکم ابر اسپور است. الگو با یک سری داده‌ی مستقل از اپیدمی‌های ثبت شده در کرت‌های آزمایشی (پنج سال و سه تاریخ کاشت) در پاسو فاندوی برزیل تعیین اعتبار شده است. چهار الگو که از عوامل مختلف استفاده

1.IE

می‌کنند، مورد آزمون قرار گرفتند و نتایج به‌دست آمده نشان داد که همه‌ی آنها قادر به بیان تنوع موجود در میزان وقوع و شدت بیماری بودند. الگویی که از یک عامل تصحیح برای حساسیت بافت موجود و تراکم روزانه‌ی ابر اسپور برای محاسبه در آلودگی‌های پس از گلدهی استفاده می‌کرد، با بیان 93 درصد تنوع مشاهده‌شده در شدت بیماری و 69 درصد تنوع در میزان وقوع بیماری بر پایه تحلیل رگرسیونی، مناسب‌ترینالگو بودند (دل‌پونته و همکارارن، 2005).



شکل 2- نمودار رابطه‌ی GIBSIM، مدل مکانیستیکی برای تخمین احتمال خطر شاخص آلودگی فوزاریوز گندم (دل‌پونته و همکارارن، 2005).

فرناندز و پاوان (2002) با استفاده از متغیرهای آب و هوایی، زراعی و خاک توانستند مراحل فنولوژیکی گندم (نظیر تاریخ ظهور سنبله، تعداد و زمان خروج بساک از سنبلچه، مدت زمان حضور بساک روی سنبله) را پیش‌بینی کنند و سپس با تلفیق این الگو با داده‌های مربوط به زادمایه، توانستند احتمال وقوع بیماری را در مزرعه پیش‌بینی کنند.دل‌پونته و همکاران (2004) با مطالعه‌ی جنبه‌های متفاوت اپیدمیولوژیکی بیماری در برزیل (به‌ویژه در مناطق جنوبی)، یکی از عوامل اصلی مرتبط با نوسانات شدت بیماری در سال‌های مختلف را بارندگی از مرحله‌ی گلدهی تا پرشدن دانه اعلام کردند. مطالعه‌ی زیست‌شناسی هوایی، اهمیت انواع اسپورها و الگوهای مکانی و زمانی بیماری نشان داد که منابع محلی زادمایه از اهمیت و ارتباط بیشتری با توسعه‌ی بیماری برخوردارند.

الگوهای پیش‌آگاهی فوزاریوز غالباً تنها بر پایه شرایط محیطی ساخته شده‌اند، در حالی که باید تراکم زادمایه و مراحل رشد میزبان را نیز شامل شوند. دل‌پونته و همکاران (2004) با استفاده از الگوهای ریاضی به شبیه‌سازی پویای گلدهی گندم برای محاسبه‌ی طبیعت غیر هم‌زمان خروج سنبله‌ها در مزرعه و تاثیر دما بر نرخ خرج بساک‌ها پرداختند. آنها توانستند دو معادله‌ی ویبل را برای تعداد نسبی سنبله‌های خارج شده در هر روز در گندم زمستانی برزیل و آمریکا میزان نمایند. یک‌سوم به عنوان تعداد نسبی بساک‌های خارج شده در هر روز، بر مبنایبرآورد انجام شده با استفاده از یک تابع درجه‌ی دو و تحت تاثیر دمای متوسط ورزانه اعلام شد.

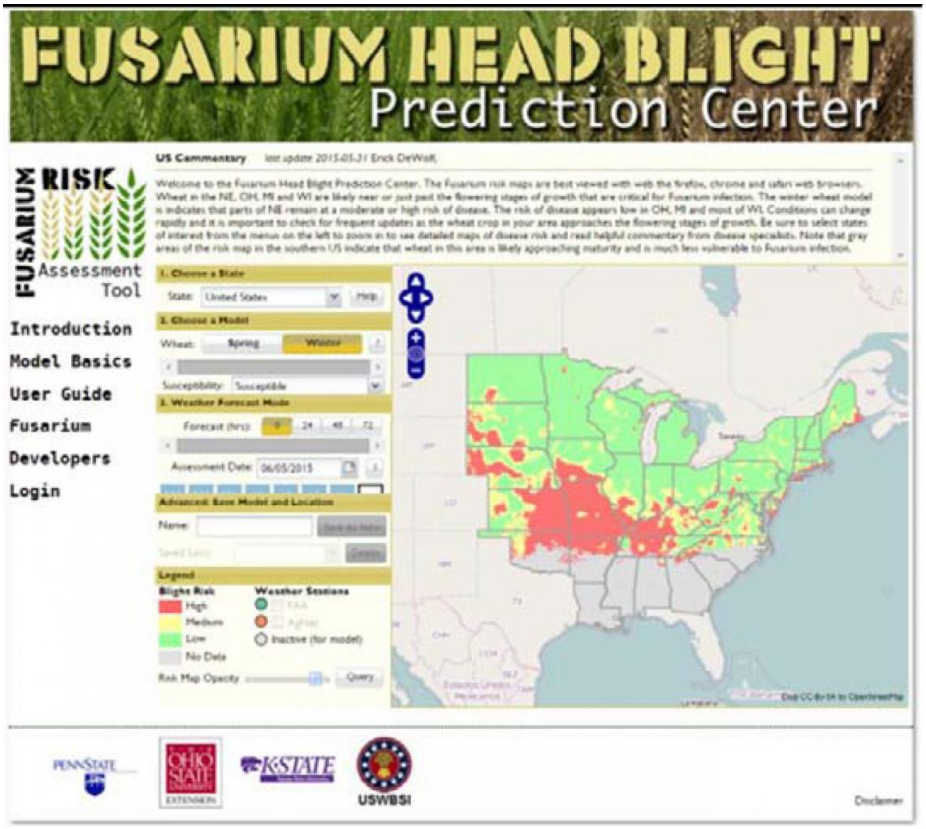
دل‌پونته و همکاران (2007) با مطالعه‌ی زمان‌های مختلف مایه‌زنی (از گلدهی تا خمیری سخت) سوسپانسیون اسپورهای قارچ*F. graminearum* بر سنبله‌های گندم در شرایط آبیاری میست، نشان دادند که گندم در تمام مراحل یادشده نسبت به بیماری حساس است، اما بیش‌ترین کاهش وزن دانه و تجمع دی‌اکسی نیوالنول در گیاهان مایه‌زنی شده پس از گلدهی تا اواخر شیری دیده شد. نتایج این تحقیق ثابت کرد که آلودگی دیرهنگام و تجمع دی‌اکسی نیوالنول در دانه‌ها باید به عنوان موضوع بررسی‌های اصلاح نباتاتی و مدیریت بیماری مورد توجه قرار گیرد.

ایالات متحده آمریکا

مطالعه‌ی اپیدمی‌های فوزاریوز تجربه‌شده در ایالات متحده آمریکا به پروژه‌ای برای ساختن یک الگوی پیش‌آگاهی منتهی گردید. با استفاده از داده‌های هواشناسی، مرحله‌ی رشدی گیاه و مشاهدات بیماری از مناطق تولید گندم بهاره و زمستانه در هفت ایالت، الگوهای پیش‌بینی فوزاریوز گندم ساخته شد (دی‌وولف و همکاران، 2004؛ وان مان و ژو، 2003). الگوهای نهایی از دمای ساعتی، رطوبت و بارش باران برای پیش‌بینی احتمال خطر شدت بیماری بالاتر از 10 درصد استفاده کردند. الگوهای ساخته‌شده در سال 2004 شامل متغیرهایی بود که برای کاربران امکان مشخص کردن نوع گندم (زمستانه و بهاره) و این که آیا گندم زمستانه در بقایای ذرت کاشته شده یا نه را فراهم می‌کرد. بر پایه داده‌های مورد استفاده برای اعتبارسنجی الگوی توسعه‌یافته در 23 ایالت در سال 2004 به عنوان جزیی از مرکز ملی پیش‌بینی فوزاریوز (www.wheatscab.psu.edu)، قدرت برازش الگو نزدیک به 80 درصد برآورد شد (شکل 3). الگوسازی این داده‌ها نشان داد که شرایط محیطی پیش از گلدهی، اهمیت بیشتری از شرایط دوره‌ی گلدهی دارند (ژو، 2003). اعتبارسنجی الگو و توسعه‌ی یک نسخه‌ی به‌روز شده برای پیش‌بینی احتمال خطر فوزاریوز، بر پایه مشاهدات بیشتر، داده‌های آب و هوایی از پنجره‌های زمانی مختلف و تلفیق مشاهدات تجربی اپیدمی‌ها با نتایجی از مطالعات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی روی

اسکب مبتنی می‌باشد. قدرت برازش الگو در آزمون‌های مزرعه‌ای، معمولاً بالا بود، اما بهبود آن هنوز هم لازم است (مدن و همکاران، 2004).

کوگر و همکاران (2009) با بررسی شرایط محیطی پس از گلدهی دریافتند که دوره‌های طولانی رطوبت سنبله پس از گلدهی، تاثیر معنی‌داری بر میزان فوزاریوز، دانه‌های آسیب دیده از فوزاریوم[1] و دی‌اکسی نیوالنول دارد. بنابراین، بررسی شرایط آب و هوایی پس از گلدهی نیز افزون بر پیش و طی دوره‌ی گلدهی، برای پیش‌آگاهی درست میزان آلودگی حایز اهمیت است.



شکل 3- تصویری از صفحه‌ی اصلی وب‌سایت مرکز ملی پیش‌بینی فوزاریوز برای ایالات متحده آمریکا که در نشانی http://www.wheatscab.psu.edu قابل دسترسی است.

1. *Fusarium*-damaged kernels (FDK)

کریس و همکاران (2010) با استفاده از روش قاب پنجره[1] و داده‌های مربوط به نوسانات سالانه‌ی شدت بیماری از ایالت‌های اوهایو (44 سال)، ایندیانا (36 سال)، کانزاس (28 سال) و داکوتای شمالی (23 سال) و آزمودن پنجره‌های با طول 10 تا 280 روزه دریافتند که متغیرهای وابسته به رطوبت یا خیسی (نظیر رطوبت نسبی متوسط روزانه و مقدار بارندگی روزانه)، ارتباط مثبتی با مقدار بیماری دارند. البته بالاترین ضریب همبستگی برای پنجره‌های 15 و 30 روزه در فاصله‌ی 60 روز آخر فصل رویشی، به ویژه نزدیک زمان گلدهی، به دست آمد. این دوره شامل فرآیندهایی نظیر تولید و انتشار اسپور و کلنیزه شدن قارچی سنبله‌های گندم بود. رابطه‌ی میان مقدار بیماری و دمای هوا، تقریباً پایین بود؛ اما ترکیب دما با رطوبت (مثلاً به صورت دوره‌های زمانی دارای دمای 15 تا 30 درجه و رطوبت نسبی بالاتر از 80 درصد) رابطه‌ی مثبتی با بیماری داشت.این الگوی کاربردی، در سال‌های اخیر با استفاده از روش‌های آماری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و برای افزایش کارایی آن، جزییاتی بدان افزوده شده است (شاه و همکاران، 2013؛ شاه و همکاران، 2014).

ایران

در ایران، صفایی و علیزاده (1385) با اقتباس از مدل دی وولف و همکاران (2004) و داده‌های جمع‌آوری شده از مزارع گندم استان گلستان، الگویی را برای پیش‌بینی مقدار بیماری در استان پیشنهاد کردند که میزان اعتبار آن به صورت کاربردی، تعیین نشده است. این تنها تحقیق انجام‌شده در این زمینه در کشور بوده است. در زمینه‌ی الگوهای آماری برای نحوه‌ی تاثیر دما بر رشد میسلیومی قارچ عامل بیماری نیز تحقیقی صورت پذیرفت که بر پایهالگوهای انتخاب شده، دمای کمینه، بهینه و بیشینه برای رشد میسیلیومی قارچ *F.graminearum*به ترتیب معادل 10/3، 31 و 36/2 درجه سانتیگراد اعلان گردید (مظهری و همکاران، 1394).

در حال حاضر، تحقیقی در زمینه‌ی رابطه‌ی آماری میان شدت و وقوع بیماری فوزاریوز و متغیرهای آب و هوایی در سه منطقه‌ی کشور (استان گلستان، مازندران و منطقه‌ی مغان در استان اردبیل) در دست اجراست تا بتواند با شناسایی عوامل کلیدی موثر در ظهور و طغیان بیماری، راه‌گشای ساختن یک الگوی پیش‌آگاهی بر پایه داده‌های بومی و منطقه‌ای باشد.

جمع‌بندی

بادزدگی فوزاریومی سنبله یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در استان‌های دارای آب و هوای گرم و مرطوب است و بیماری توان خسارت‌زایی کمّی و کیفی بالایی در شرایط مساعد دارد. از آن‌جایی‌که

1. Window-pane

زمان مناسب سمپاشی، قبل از پیدایشنشانه‌های بیماری است، یعنی زمانی که اطلاعاتی درباره‌ی پیدایش یا عدم پیدایش بیماری وجود ندارد، ساختن الگوی پیش‌آگاهی این بیماری از ضرورت بالایی برخوردار است. ترکیبی از دما، رطوبت نسبی و بارندگی، موثرترین عوامل مورد استفاده در ساختن الگوهای پیش‌آگاهی در دنیا بوده است. در بسیاری از کشورهای دنیا مانند آرژانتین، بلژیک، کانادا، ایتالیا، برزیل و آمریکا، الگوهای پیش‌آگاهی برای بیماری ساخته شده و برخی از آن‌ها مشغول به فعالیت و به‌صورت آن‌لاین در دسترس می‌باشند. در کشور ما، تاکنون الگویی برای پیش‌آگاهی بیماری به‌صورت کاربردی تهیه نشده و تحقیقی برای این منظور، در حال اجرا می‌باشد.

توصیه ترویجی

بادزدگی فوزاریومی سنبله، یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در دنیاست و در کشور ما نیز در استان‌های شمالی و منطقه‌ی مغان از اهمیت بیشتری برخوردار است. چرخه‌ی بیماری به‌صورتی است که آلودگی تنها در دوره‌ی گلدهی گندم اتفاق می‌افتد و پیش یا پس از این دوره، امکان آغاز آلودگی وجود ندارد.در بسیاری از کشورهای دنیا که این بیماری در آن‌ها مشکل‌ساز شده، الگوهای پیش‌آگاهی برای پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری ساخته شده و مشغول به فعالیت می‌باشد. با کاربست این الگوها، می‌توان آمادگی لازم برای مواجه با خطر بیماری را در کشاورزان ایجاد نمود. از آن‌جایی‌که در کشور ما هنوز الگویی برای پیش‌آگاهی بیماری معرفی نشده است، بنابراین برای مهار بیماری، باید با توجه به عوامل کلیدی تاثیرگذار بر بیماری، در اوایل گلدهی مزرعه، یعنی زمانی که حدود 25 درصد سنبله‌های گندم وارد مرحله‌ی گلدهی شده‌اند، مزرعه را با استفاده از قارچکش‌ها سمپاشی نمود.این عمل موجب می‌شود تا بساک پرچم‌ها آغشته به قارچکش شده، قارچ بیمارگر نتواند از آن برای تغذیه و آغاز آلودگی سنبلچه‌ها استفاده نماید (آقاجانی و فروتن، 1395).

منابع

1- آقاجانی، م.ع. 1387 الف. دستوالعمل مبارزه شیمیایی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم. ترویج گیاهپزشکی 3: 67-65.

2- آقاجانی، م.ع. 1387ب. سمپاشی مزرعه گندم بعد از مرحله گلدهی؟ ترویج گیاهپزشکی 3: 69-68.

3- آقاجانی، م.ع. 1394. راهنمای مزرعه‌ای شناسایی و مدیریت بیماری‌های گندم. مدیریت هماهنگی ترویج سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان، گرگان. 102 ص.

4- آقاجانی، م.ع.، و فروتن، ع. 1395. مدیریت بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم. دستورالعمل اجرایی. موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور. 14 ص.

5- باغانی، ف.، رهنما، ک.، آقاجانی، م.ع.، و دهقان، م.ع. 1389. کنترل بیولوژیک بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم با استفاده از گونه های تریکودرما در شرایط گلخانه و مزرعه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

6- دهقان، م. ع. 1385. بیماری فوزاریوم سنبله گندم. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، واحد برنامه‌ریزی رسانه‌های ترویجی، موسسه فرهنگی هنری قایم رشاد.20 صفحه.

7- زارع نصرآبادی، ر. 1374. بررسی تاکسونومیک فوزاریوم‌های جدا شده از غلات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیماری‌های گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

8- زحمتکش، م.، رهنما، ک.، و آقاجانی، م.ع. 1388. بررسی تاثیر چند قارچکش در کنترل بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.

9- صفایی، ن.، و علیزاده، ع. 1385. ارزیابی مدل‌های زمانی پیشرفت بیماری بلایت فوزاریومی سنبله گندم و ارائه یک مدل پیش‌آگاهی برای آن در استان گلستان. بیماری‌های گیاهی 42: 597-617.

10- کوک‌چلی، ه.، آقاجانی، م.ع.، و دهقان، م.ع. 1392. تأثیر قارچکش‌های مختلف و زمان‌های سمپاشی در کنترل بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.

11- گلزار، ح. 1368. بیماری بلایت سنبله گندم: بررسی عامل بیماری، نحوه آلودگی و انتقال به وسیله بذر. بیماری‌های گیاهی10:15-25.

12- لشکربلوکی، م.، آقاجانی، م.ع.، و محمدی مقدم، م. 1394. مطالعه تاثیر چند قارچکش بر رشد میسیلیومی قارچ *Fusariumgraminearum*و سرعت رشد این قارچ در دماهای مختلف. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.

13- مظهری، م.، تاجیک قنبری، م.ع.، آقاجانی، م.ع.، و رحیمیان، ح. 1394. بررسی تاثیر دما بر رشد میسلیومی قارچ عامل بیماری بادزدگی فوزاریومی گندم با استفاده از مدل‌های آماری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

14- ملوندی، م.، آقاجانی، م.ع.، طلیعی، ف.، و محمدی مقدم، م. 1393. بررسی تاثیر عصاره‌های گیاهی در کنترل قارچ عامل بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله‌ی گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.

15- Browns, R. 2004. Developing Fusarium head blight resistant wheat. Crop protection: 32-35.

16- Brustolin, R., Zoldan, S.M., Reis, E. M., Zanatta, T. and Carmona, M. 2013. Weather requirements and rain forecast to time fungicide application for Fusarium head blight control in wheat. Summa Phytopathologica 39:248-251.

17- Chester, F.D. 1980. The scab of wheat. Del Agric.Exp.Stn.3rd Ann. Rpt. 89-90.

18- Cowger, C., Patton-Özkurt, J., Brown-Guedira, G., and Perugini, L. 2009. Post-anthesis moisture increased Fusarium head blight and deoxynivalenol levels in North Carolina winter wheat. Phytopathology 99:320-327.

19- Dalla Marta, A., Magarey, R.D. and Orlandini, S., 2005. Modelling leaf wetness duration and downy mildew simulation on grapevine in Italy. Agri. For. Meteorology 132, 84-95.
20- Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C., and Bergstrom, G.C. 2007. Influence of growth stage on fusarium head blight and deoxynivalenol production in wheat. Journal of Phytopathology 155:577–581.
21- Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C. and Pierobom, C.R. 2005. Factors affecting density of airborne Gibberellazeae inoculum. FitopatologiaBrasileira, 30:55-60.
22- Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C., Pierobom, C.R. and Bergstrom, G.C. 2004. Fusarium head blight of wheat: epidemiological aspects and forecast models. FitopatologiaBrasileira 29:587-605.
23- De Wolf, E.D., Madden, L.V. and Lipps, P. E. 2003. Risk assessment models for wheat Fusarium head blight epidemics based on within-season weather data. Phytopathology 93:428-435.
24- De Wolf, E., Lipps, P., Miller, D., Knight, P., Molineros, J., Francl, L., and Madden, L. V. 2004. Evaluation of prediction models for wheat Fusarium head blight in the US, 2004. Pages 439. in: Second International Symposium on Fusarium Head Blight; incorporating the Eighth European Fusarium Seminar S. M. Canty, T. Boring, J. Wardwell, and R.W. Ward, eds. East Lansing, MI, Michigan State University, Orlando, FL, USA.
25- Detrixhe, P., Chandelier, A., Cavelier, M., Buffet, D. and Oger, R. 2003. Development of an agro-meteorological model integrating leaf wetness duration estimation to assess the risk of head blight infection in wheat. Asp. Applied Biol. 68:199–204.
26- Fernandes, J.M.C. 2004. Modelling Fusarium Head Blight in wheat under climate change using linked process-based models. Pages 441-444 in: 2nd International Symposium on Fusarium Head Blight; incorporating the 8th European Fusarium Seminar, S.M.,Canty, T., Boring, J., Wardwell and R.W. Ward, eds. Michigan State University, East Lansing, MI., Orlando, FL, USA.
27- Fernandes, J.M.C., and Pavan, W. 2002. A phenology-based predictive model for Fusarium head blight of wheat. Pages 154-158 in: National Fusarium Head Blight Forum U.S. Wheat & Barley Scab Initiative, Erlanger, KY.
28- Hooker, D. C., and Schaafsma, A. W. 2004. Modeling Fusarium head blight in wheat under climate change using linked process-based models. Page 458 in: Second International Symposium on Fusarium Head Blight; incorporating the Eighth European Fusarium Seminar, S.M.,Canty, T., Boring, J., Wardwell and R.W. Ward, eds. East Lansing, MI, Michigan State University, Orlando, FL, USA.
29- Hooker, D.C., Schaafsma, A.W. and Tamburic-Ilincic, L. 2002. Using weather variables pre- and post-heading to predict deoxynivalenol content in winter wheat. Plant Disease 86:611–619.
30- Kriss, A.B., Paul, P.A. and Madden, L.V. 2010. Relationship between yearly fluctuations in Fusarium head blight intensity and environmental variables: A window-pane analysis. Phytopathology, 100:784-797.
31- Madden, L.V., Lipps, P.E. and Wolf, E.D. 2004. Developing forecasting systems for Fusarium head blight. Pages 471. in: 2nd International Symposium on Fusarium Head Blight incorporating the 8th European Fusarium Seminar S.M. Canty, T. Boring, K.

Versdahl, J. Wardwell, and R. W. Ward, eds. Michigan State University, Orlando, FL, USA.
32- Miller, J.D. 1994. Epidemiology of Fusarium diseases of cereals. In: Miller, J. D. and Trenholm, H. L. (eds) Mycotoxins in Grain: Compounds other than Aflatoxins (pp 19–36) Eagon Press, St. Paul, MN, USA.
33- Moschini R.C., and Fortugno, C. 1996. Predicting wheat head blight incidence using models based on meteorological factors in Pergamino, Argentina. European Journal of Plant Pathology 102: 211-218.
34- Moschini, R.C., Pioli, R., Carmona, M. and Sacchi, O. 2001. Empirical prediction of wheat head blight in the northern Argentinean pampas region. Crop Science 41:1541–1545.
35- Parry D.W., Jenkinson P., McLeod L. 1995. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals - a review. Plant Pathology 44: 207-238.
36- Paul, P.A., Lipps, P.E. and Madden, L.V. 2005. Relationship between visual estimates of Fusarium head blight intensity and deoxynivalenol content in harvest what grain: a meta-analysis. Phytopathology 95:1225–1236
37- Rossi, V., Giosuè, S., Pattori, E., Spanna, F. and Vecchio, A. D. 2003. A model estimating the risk of Fusarium head blight on wheat. EPPO Bulletin 33:421–425.
38- Rossi, V., Giosuè, S., Girometta, B. and Cigolini, M. 2004. Dynamic simulation of Fusarium head blight epidemics. Pages 494-497 in: 2nd International Symposium on Fusarium Head Blight incorporating the 8th European Fusarium Seminar, S. M. Canty, T. Boring, K. Versdahl, J. Wardwell and R. W. Ward, eds. Michigan State University, Orlando, FL, USA.
39- Schaafsma, A.W. and Hooker, D.C. 2006. Forecasting Fusarium epidemics using mycotoxins as outcome. Page 120 in: IX European Fusarium Seminar, Wageningen, The Netherlands.
40- Schmale, D.G., and Bergstrom, G.C. 2010. Fusarium head blight in wheat. The Plant Health Instructor. DOI:10.1094/PHI-I-2003-0612-01.
41- Shah, D.A., De Wolf, E.D., Paul, P.A. and Madden, L.V. 2014. Predicting Fusarium head blight epidemics with boosted regression trees. 104:702-714.
42- Shah, D.A., Molineros, J. E., Paul, P.A., Willyerd, K.T., Madden, L.V., and De Wolf, E.D. 2013. Predicting Fusarium head blight epidemics with weather-driven pre- and post-anthesis logistic regression models. Phytopathology 103:906-919.
43- vanMaanen, A. and Xu, X.M. 2003. Modelling plant disease epidemics. European Journal of Plant Pathology 109:669–682.
44- Xu, X. 2003. Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. European Journal of Plant Pathology 109:683–689.
45- Zoldan, S.M. 2008. Risk areas, anthesis characterization in winter cereals and warning system to head blight in wheat. Doutoradoemfitopatologia. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo.