



University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research

Vol. 13, No. 1, Spring 2023 (17-29)

doi: 10.22124/CR.2023.24379.1764

pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Effect of cultivar mixture in control of four foliar diseases of wheat

Mohammad Ali Aghajani^{1*} and Mohammad Razavi²

1. Research Associate Professor, Agriculture and Natural Resources Research Center of Golestan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran (* Corresponding author: maaghajanina@yahoo.com)
2. Research Associate Professor, Department of Plant Diseases Research, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

One of the effective strategies to control wheat diseases is to use a mixture of varieties. Basically, varieties with good and similar agricultural traits, but different in diseases resistance should be used. It is common to use a mixture of cultivars, when the high-yielding cultivar is sensitive and the low-yielding cultivar is resistant, so that their mixture has an acceptable efficiency. The mixture of cultivars is defined as a mixture of different cultivars that are similar enough to grow together, but differ in many traits such as disease resistance. The mixture of cultivars does not completely stop the disease, instead it reduces the disease progression rate by eliminating a large number of pathogen spores in each reproductive cycle. The aim of this research was to investigate the effect of mixed cultivation of three cultivars, Kohdasht, Moghan and Morvarid, in controlling four diseases, powdery mildew, tan spot, stripe rust and leaf rust.

Materials and methods

To investigate the effect of the mixture of cultivars in control of wheat leaf diseases, a research was performed in a randomized complete block design with 12 treatments and four replications in the Gorgan Agricultural Research Station, Gorgan, Iran. The studied cultivars included three cultivars, Kohdasht, Moghan, and Maorvarid, and the evaluated diseases were four leaf diseases including powdery mildew, tan spot, stripe (yellow) rust, and leaf (brown) rust. Powdery mildew and tan spot were measured based on contamination rate using the Sari and Prescott scale, and atripe and leaf rusts were measured based on the disease type and severity. Final disease severity and standardized area under disease progression curve (SAUDPC) were evaluated for all four diseases.

Research findings

The results of the statistical analysis of data revealed that there was a very significant statistical difference ($P < 0.01$) between experimental treatments for the final disease severity and SAUDPC of all four diseases. The results of comparison of means for powdery mildew showed that all treatments had a final disease severity higher than 30% and lower than 45%. Therefore, none of the treatments could reduce the severity of this disease. However, in term of stripe rust, the resistance of Kohdasht and Morvarid cultivars and their mixtures was clearly observed. For tan spot, the lowest final severity of disease was recorded in Morvarid and 1:1 mixture of Kohdasht-Moghan, and the other mixtures of Kohdasht-Moghan could not significantly reduce the severity of this disease. In term of leaf rust, the lowest final severity of the disease was observed in Morvarid and Moghan cultivars with a density of 150 seeds per m^2 , and the highest final severity in Kohdasht cultivar.



Conclusion

In this research, the effect of the mixture of cultivars in the control of wheat leaf diseases was investigated. In the case of powdery mildew, all treatments had a final severity of the disease higher than 30% and lower than 45%, and therefore, there is no proper efficiency in any of the treatments to reduce the severity of this disease. For yellow rust disease, the resistance of Kohdasht (treatment No. 1) and Marwarid (treatment No. 3) cultivars and their seed mixture (treatment No. 10) was clearly observed. In term of tan spot disease, the lowest final severity of the disease was observed in two treatments, Morvarid cultivar (treatment No. 3) and 1:1 mixture of Kohdasht and Mughan cultivars treatment No. 4), and the other proportions of the seed mixture of Kohdasht and Moghan varieties could not properly control the disease. In the case of brown rust disease, the lowest final intensity of the disease was observed in two treatments, Morvarid (treatment No. 3) and Moghan (treatment No. 12) with a density of 150 seeds per m², and the highest severity of this disease was observed in the treatments belonging to Kohdasht variety.

Keywords: Disease management, Leaf rust, Stripe rust, Tan spot, Wheat rust

Received: October 25, 2022

Accepted: March 06, 2023

Cite this article:

Ali Aghajani, M. and Razavi, M. 2023. Effect of cultivar mixture in control of four foliar diseases of wheat. *Cereal Research*, 13(1), pp. 17-29.



بررسی تاثیر مخلوط ارقام در کنترل چهار بیماری برگی گندم

محمدعلی آقاجانی^{۱*} و محمد رضوی^۲

۱- دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

(* نویسنده مسئول: maaghajana@yahoo.com)

۲- دانشیار پژوهش، بازنشسته بخش تحقیقات بیماری‌های گیاهی، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده جامع

مقدمه: یکی از روش‌های موثر در کنترل بیماری‌های گندم، استفاده از مخلوط ارقام است. اصولاً باید از ارقامی استفاده شود که به لحاظ صفات زراعی خوب و مشابه، اما در مقاومت به بیماری‌ها متفاوت باشند. استفاده از مخلوط ارقام زمانی متداول است که رقم پرمحصول، حساس و رقم کم‌محصول، مقاوم به بیماری باشد و به این ترتیب، مخلوط آنها دارای راندمان قابل قبولی باشد. مخلوط ارقام به‌عنوان مخلوطی از ارقام متفاوت تعریف شده است که شباهت کافی برای رشد کردن در کنار هم دارند، اما از نظر بسیاری از صفات نظیر مقاومت در برابر بیماری‌ها، متفاوت هستند. مخلوط ارقام، بیماری را به‌طور کامل متوقف نمی‌کند، بلکه نرخ پیشرفت بیماری را از طریق محو کردن تعداد زیادی از اسپورها در هر چرخه تکثیر بیمارگر کاهش می‌دهد. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تاثیر کشت مخلوط سه رقم کوهدشت، مغان و مروارید در کنترل چهار بیماری سفیدک سطحی، لکه خرمایی، زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تاثیر مخلوط ارقام در کنترل بیماری‌های برگی گندم، تحقیقی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. رقم‌های مورد استفاده شامل سه رقم کوهدشت، مغان و مروارید بودند که از نظر چهار بیماری برگی شامل سفیدک سطحی، لکه خرمایی، زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. سفیدک سطحی و لکه خرمایی بر اساس میزان آلودگی با استفاده از مقیاس ساری و پرسکات و زنگ زرد و قهوه‌ای با استفاده از تیپ و شدت آلودگی اندازه‌گیری شدند. شدت نهایی و مقدار استاندارد شده سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (SAUDPC) برای هر چهار بیماری ارزیابی شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اختلاف آماری بسیار معنی‌داری ($P < 0.01$) بین تیمارهای آزمایش از لحاظ شدت نهایی بیماری و مقدار استاندارد شده سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (SAUDPC) هر چهار بیماری وجود داشت. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مورد سفیدک سطحی، تمام تیمارها دارای شدت نهایی بیماری بالاتر از ۳۰ درصد و پایین‌تر از ۴۵ درصد بودند و بنابراین، کارایی مناسبی در هیچ کدام از تیمارها برای کاهش شدت این بیماری مشاهده نشد، اما در مورد زنگ زرد، مقاوم بودن ارقام کوهدشت، مروارید و مخلوط بذری آنها، آشکارا قابل مشاهده بود. در مورد لکه خرمایی، پایین‌ترین شدت نهایی بیماری در رقم مروارید و مخلوط یک به یک کوهدشت و مغان مشاهده شد و سایر نسبت‌های مخلوط بذر دو رقم کوهدشت و مغان نتوانست کنترل مناسب بیماری را به‌دنبال داشته باشد. در

مورد بیماری زنگ قهوه‌ای، پایین‌ترین شدت نهایی بیماری در رقم‌های مروارید و مغان با تراکم ۱۵۰ بذر در متر مربع و بالاترین شدت بیماری در تیمارهای مربوط به رقم کوهدشت مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در این تحقیق، تاثیر مخلوط ارقام در کنترل بیماری‌های برگ‌گی گندم مورد بررسی قرار گرفت. در مورد بیماری سفیدک سطحی، تمام تیمارها دارای شدت نهایی بیماری بالاتر از ۳۰ درصد و پایین‌تر از ۴۵ درصد بودند و بنابراین، کارایی مناسبی در هیچ کدام از تیمارها برای کاهش شدت این بیماری دیده نشد، در حالی که مقاوم بودن ارقام کوهدشت (تیمار شماره ۱) و مروارید (تیمار شماره ۳) و ترکیب بذری آنها (تیمار شماره ۱۰) برای بیماری زنگ زرد، آشکارا قابل مشاهده بود. در مورد بیماری لکه خرمایی، پایین‌ترین شدت نهایی بیماری در دو تیمار شماره ۳ (رقم مروارید) و ۴ (مخلوط ۱:۱ کوهدشت و مغان) مشاهده شد و سایر نسبت‌های مخلوط بذر دو رقم کوهدشت و مغان نتوانست بیماری را کنترل کند. در مورد بیماری زنگ قهوه‌ای، پایین‌ترین شدت نهایی بیماری در دو تیمار ۳ (رقم مروارید) و ۱۲ (رقم مغان با تراکم ۱۵۰ بذر در متر مربع) و بالاترین شدت بیماری در تیمارهای مربوط به رقم کوهدشت مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: زنگ گندم، زنگ زرد، زنگ قهوه‌ای، لکه خرمایی، مدیریت بیماری‌ها

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

نحوه استناد به این مقاله:

آقاجانی، محمدعلی و رضوی، محمد. ۱۴۰۲. بررسی تاثیر مخلوط ارقام در کنترل چهار بیماری برگ‌گی گندم. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۱): ۲۹-۱۷.

مقدمه

یکی از روش‌های موثر کنترل بیماری‌های گندم، استفاده از مخلوط ارقام است. اصولاً باید از ارقامی استفاده شود که به لحاظ صفات زراعی خوب و مشابه اما در مقاومت به بیماری‌ها با هم متفاوت باشند. استفاده از مخلوط ارقام زمانی متداول است که رقم پر محصول، حساس و رقم کم محصول، مقاوم به بیماری باشد تا مخلوط آنها دارای راندمان قابل قبولی باشد. وولف (Wolfe, 1984) مخلوط ارقام را به‌عنوان مخلوطی از ارقام متفاوت از نظر بسیاری از صفات نظیر مقاومت در برابر بیماری‌ها که شباهت کافی برای رشد کردن در کنار هم دارند، تعریف کرد. مخلوط ارقام، بیماری را به‌طور کامل متوقف نمی‌کند، بلکه نرخ پیشرفت بیماری را از طریق محو کردن تعداد زیادی از اسپورها در هر چرخه تکثیر بیمارگر کاهش می‌دهد. اسپورها با فرود آمدن روی گیاهان مقاوم از فرآیند همه‌گیری حذف می‌شوند. چهار مکانیسم رقیق‌سازی، مانع‌سازی، مقاومت القایی و تغییر میکروکلیمای به‌عنوان روش‌های کاهش بیماری در مخلوط ارقام معرفی شده‌اند (Castro, 2007).

کسترگارد (Qstergaard, 1983) در پیش‌گویی همه‌گیری در مخلوط ارقام، رابطه‌ی بین میزان گسترش بیماری ناشی از یک پاتوتیپ و تعداد ژن‌های بیماری‌زایی آن و تعداد ارقام به‌کار رفته در مخلوط و وضعیت ژنتیکی و نسبت آنها در ترکیب را مورد بررسی قرار داد و معلوم شد که با تغییر هر یک از اجزای مخلوط، جمعیت بیمارگر نیز دچار تغییر می‌شود. استرزمبیکا و همکاران (Strzembika et al., 1998) گزارش کردند که استفاده از مخلوط ارقام شدت بیماری به سفیدک سطحی گندم (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) را بین ۹۴-۸۳ درصد در مقایسه با روش تک‌کشت کاهش داد، به‌ویژه در تیمارهایی که از مخلوط سه رقم استفاده شده بود، میزان کاهش بیماری حدود ۲ تا ۱۸ درصد بیش‌تر از تیمارهایی بود که از مخلوط دو رقم استفاده کرده بودند. آنها همچنین گزارش کردند که عملکرد تیمارهایی که از مخلوط چند رقم بودند، به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای تک‌کشت بیش‌تر بود. کاکس و همکاران (Cox et al., 2004) با استفاده از کشت دو رقم گندم برای مقابله با دو بیماری زنگ قهوه‌ای (با عامل *Puccinia triticina*) و بیماری لکه خرمایی (با عامل *Pyrenophora tritici repentis*) طی دو سال و در دو منطقه دریافتند که استفاده از کشت

مخلوط هر دو بیماری را کاهش داد، اما درصد کاهش بیماری زنگ زرد بیش‌تر بود. هر یک از دو رقم نسبت به یکی از بیماری‌ها مقاوم و نسبت به دیگری حساس بود و به‌دلیل استفاده از نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ بذر دو رقم و کاهش ۵۰ درصدی حساسیت، بیماری به‌میزان قابل توجهی کاهش یافت.

کاوگر و ماندت (Cowger and Mundt, 2002) اثر کشت مخلوط گندم بر روی پیشرفت همه‌گیری سپتوریوز برگ (*Zymoseptoria tritici*) را مورد بررسی قرار دادند. آنها طی سه سال با استفاده از مخلوط چهار رقم نسبتاً مقاوم و حساس گندم و مایه‌زنی با قارچ عامل بیماری شدت آلودگی و جمعیت بیمارگر را اندازه‌گیری کردند. در سال اول در همه‌گیری شدید، مخلوط ارقام شدت بیماری را ۹/۴ درصد و جمعیت بیمارگر را ۲۷ درصد کاهش داد اما در سال دوم و در همه‌گیری آرام تفاوتی در استفاده از مخلوط ارقام و کشت خالص نبود و در سال سوم در همه‌گیری متوسط شدت بیماری ۱۵/۲ درصد و جمعیت بیمارگر ۱۵۶ درصد بیش‌تر از کشت خالص بود. میزان محصول در مخلوط ارقام در دو سال آخر ۲/۴ تا ۶/۲ درصد بیش‌تر از حالت خالص بود، اما معنی‌دار نبود.

وولف (Wolfe, 1984) گزارش کرد که استفاده از مخلوط ارقام در جو به صورت عملی در بسیاری از کشورهای اروپایی از جمله آلمان، دانمارک، لهستان و انگلستان در سطح وسیع به‌کار گرفته می‌شود و نتایج بسیار خوبی داشته است. در کشور آلمان طی دهه ۱۹۸۰ با استفاده از مخلوط ارقام، میزان خسارت حاصل از سفیدک سطحی جو از ۵۰ به ۱۰ کاهش یافت و باعث تعداد مزارعی سمپاشی شده را شدیداً کاهش داد. چین و وولف (Chin and Wolf, 1984) اثر کشت خالص و مخلوط ارقام جو را بر نژادهای قارچ *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* بررسی و کاهش شدت بیماری را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص جو تایید کردند. به‌دلیل وجود ژنوتیپ‌های مختلف در کشت مخلوط، ترکیب نژادهای قارچ نیز به صورت غالب خواهند ماند و نژادهای خاصی از قارچ نمی‌توانند با میزبان اختصاصی سازش و خسارت جدی وارد کنند. پس راه حل کاهش فراوانی این گونه ژنوتیپ‌ها، استفاده از مخلوط ارقام می‌باشد. لانو (Lannou, 2001) در بررسی خود دریافت که همراه بودن پاتوتیپ‌های متنوع قارچ در هنگام استفاده از مخلوط ارقام موجب کاهش نرخ رشد پاتوتیپ‌های مرکب شد. لانو و

مقاومت از مکانیسم‌های بازدارنده بیماری گزارش گردیده است (Chin and Wolf, 1984; Wolfe, 1985; Garrett and Mundt, 1999). نیوتن و همکاران (Newton et al., 1997) در یک بررسی سه ساله، اثر کشت مخلوط ارقام زمستانه جو در کاهش آلودگی بیماری کچلی ناشی از *Rhynchosporium secalis* و افزایش عملکرد جو بدون استفاده از قارچ‌کش را گزارش کردند.

بر اساس اطلاعات موجود، هنوز تحقیقی در این زمینه در داخل کشور انجام نشده است. بر این اساس، این تحقیق اجرا شد که هدف از آن، بررسی تاثیر کشت مخلوط ارقام در کنترل بیماری‌های برگ‌گی گندم شامل سفیدک سطحی، لکه خرمایی و زنگ زرد و قهوه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر مخلوط ارقام در کاهش بیماری سفیدک سطحی گندم در استان گلستان، آزمایشی در مناطقی که سال قبل در آن گندم کشت شده و دارای سابقه آلودگی به بیماری نیز بودند، انجام شد. برای این منظور قطعه زمینی مناسب در این مناطق در نظر گرفته شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و چهار تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ با استفاده از رقم کوه‌دشت حساس به سفیدک سطحی و مقاوم به زنگ زرد، مغان مقاوم به سفیدک سطحی و حساس به زنگ زرد و مروارید مقاوم به هر دو بیماری انجام شد.

تاریخ کاشت بر اساس مناسب‌ترین زمان توصیه شده توسط بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (نیمه دوم آبان‌ماه) بود. بدین منظور ترکیبات مختلف با استفاده از ارقام مقاوم و حساس طبق نسبت‌های ذیل تهیه شد. هر کرت شامل پنج پشته به طول ۵ متر و عرض ۶۰ سانتی‌متر بود و بذر هر تیمار با تراکم ۴۵۰ عدد در متر مربع به صورت دستی کشت شد. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌ها یک متر بود و در آن تریپتیکاله کشت شد و در دو طرف آن نیز حدود نیم متر فاصله گذاشته شد. کشت‌های خالص به‌عنوان تیمار شاهد بودند. اضافه کردن کودها بر اساس آزمون تجزیه خاک انجام شد. به‌منظور استقرار و شیوع هر چه بهتر بیماری در منطقه مورد اجرای طرح، گیاهچه‌های حساس آلوده به مخلوط نژادهای قارچ عوامل بیماری در اطراف قطعات کشت شده قرار داده شدند.

همکاران (Lannou et al., 2005) با سه‌بار اندازه‌گیری شدت بیماری و فراوانی پاتوتیپ‌های عامل زنگ زرد در کشت مخلوط ارقام گندم در شرایط همه‌گیری، تفاوت فراوانی پاتوتیپ‌ها و واکنش‌های متفاوت ارقام در کشت تک رقم و مخلوط را گزارش کردند. در این بررسی شدت بیماری در کشت مخلوط کم‌تر از کشت تک رقم بوده است. دیلون و ماندت (Dileon and Mundt, 1994) در بررسی اثر مخلوط ارقام گندم بر جمعیت نژادهای *Puccinia striiformis* با استفاده از شش رقم گندم و سه نژاد زنگ به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل افزایش نژادهای بیمارگر روی مخلوط ارقام، فراوانی هر کدام از آنها کاهش می‌یابد. آنها همچنین اشاره کردند که وجود نژادهای غیربیماری‌زا و یا با توان بیماری‌زایی کم‌تر می‌تواند مقاومت القایی را در ارقام تحریک و میزان بیماری‌زایی را کم کند.

ماندت و لئونارد (Mundt and Leonard, 1986) در بررسی عوامل موثر بر افزایش و انتشار بیماری‌ها در مخلوط ارقام حساس و مقاوم دریافتند که استفاده از یک ژنوتیپ به میزان زیاد در مخلوط ارقام و بالا بودن شیب پخش بیماری به‌ویژه زمانی که در ابتدای اپیدمی مایه در منطقه پخش شده باشد، تاثیر زیادی بر کارایی مخلوط ارقام دارد و موجب به وجود آمدن همه‌گیری خواهد شد. هر چه درصد ژنوتیپ‌های حساس‌تر نیز در مخلوط ارقام بیشتر باشد، کارایی مخلوط را کمتر می‌کند. مخلوط ارقام معمولاً در کنترل اپیدمی‌های با شیب تکثیر بالا و یا خیلی پایین کمتر موفق هستند، اما در همه‌گیری‌های متوسط و حتی آرام موثرتر هستند.

گارت و ماندت (Garrett and Mundt, 2000) در بررسی اثر تراکم کشت و مخلوط ارقام گندم بر روی زنگ زرد استفاده از دو ژنوتیپ گندم با میزان مساوی را موثرتر از استفاده از یک ژنوتیپ گندم به صورت غالب در کنترل بیماری دانستند و تراکم مناسب را نیز ۲۵۰ عدد بذر در متر مربع اعلام کردند. آکاندا و ماندت (Akanda and Mundt, 1996) متوجه شدند که با افزایش استفاده از یک رقم به تنهایی و در سطح وسیع و یا به میزان زیاد در مخلوط ارقام موجب افزایش شدت بیماری می‌شود، اما اگر بعد از کشت خالص به‌طور تصادفی از مخلوط ارقام استفاده شود و یا ژنوتیپ‌ها به‌طور متناوب تغییر یابند بیماری کاهش می‌یابد. ایجاد فاصله بین گیاهان حساس، به وجود آمدن دیوار دفاعی توسط ارقام مقاوم و القای

همه‌گیری برای بیماری‌ها، یکسان نبود، مقدار استاندارد شده AUDPC (SAUDPC) برای تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف بسیار معنی‌داری ($P < 0.01$) بین تیمارهای آزمایش از نظر شدت نهایی و SAUDPC هر چهار بیماری یاد شده وجود داشت (جدول ۱). جهت آشکار ساختن اختلاف بین تیمارها، آزمون مقایسه میانگین تیمارها با روش LSD در سطح احتمال یک درصد انجام و نتایج در جدول ۲ ارایه شد. بیماری سفیدک سطحی گندم با شدت متوسطی در مزرعه ظاهر شد و مقدار این بیماری در تیمارها، تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان نداد. مقایسه میانگین شدت نهایی بیماری سفیدک سطحی نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین مقدار بیماری به ترتیب در تیمارهای شماره ۷ (با شدت بیماری ۳۳/۲ درصد) و تیمار شماره ۶ (با شدت بیماری ۴۳/۳ درصد) مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۱-۱). شدت بیماری در سایر تیمارها نیز در دامنه این دو عدد قرار داشت.

بیماری زنگ زرد گندم با شدت بالایی در مزرعه ظاهر شد و تیمارها اختلاف قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان دادند. مقایسه میانگین شدت نهایی بیماری زنگ زرد نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین شدت بیماری به ترتیب در تیمارهای شماره ۱۰ و ۱۱ (با شدت بیماری ۲/۹ درصد) و تیمار شماره ۲ (با شدت بیماری ۸۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۱-۲). تیمار شماره ۱۲ با شدت نهایی ۷۵/۹ درصد در رتبه‌ی بعدی قرار گرفت.

شدت دو بیماری لکه خرمایی و زنگ قهوه‌ای گندم، از بیماری سفیدک سطحی پایین‌تر بود، اما دامنه تفاوت تیمارها وسیع‌تر بود، به طوری که دامنه تغییرات شدت بیماری لکه خرمایی از ۸/۶ درصد در تیمار ۴ تا ۳۱/۷ درصد در تیمار ۱۱ و برای بیماری زنگ قهوه‌ای از ۷/۲ درصد در تیمار ۱۲ تا ۲۸/۸ درصد در تیمار ۱۱ (جدول ۲ و شکل‌های ۱-۱ و ۱-۲).

تغییرات متغیر SAUDPC چهار بیماری یاد شده، مشابه شدت نهایی آنها بود و واکنش تیمارها با تغییرات اندکی، از همان روند بیان شده برای شدت نهایی بیماری‌ها پیروی کرد (شکل ۲).

ارزیابی بیماری سفیدک سطحی و لکه خرمایی در مرحله تورم سنبله (Booting) و خمیری شدن دانه، انجام شد، به این ترتیب که با انتخاب دو نمونه تصادفی از هر کرت با مجموع مساحت نیم متر مربع، ۲۰ بوته تصادفی از این سطح انتخاب و سپس میزان آلودگی هر بوته با نمرات صفر تا نه بر اساس روش ساری و پرسکات (Saari and Prescott, 1975) تعیین شد. برای ارزیابی زنگ زرد و قهوه‌ای نیز همانند سفیدک سطحی، از هر تیمار در مرحله تورم سنبله، نمونه‌برداری و تیپ و شدت آلودگی چهار برگ بالای بوته بر اساس روش اصلاح شده Cobb (Peterson et al., 1948) تعیین شد. تیپ و شدت آلودگی با استفاده از روش استابز (Stubbs, 1985) به ضرایب آلودگی ($MR=0.4$, $R=0.2$, $o=0$)، تبدیل و سپس تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها انجام شد (Balasubramaniyan and Palaniappan, 2004).

نسبت ارقام در ترکیب‌های تیماری این آزمایش به صورت زیر تعیین شد: ۱- رقم اول (A)، ۲- رقم دوم (B)، ۳- رقم مقاوم به هر دو بیماری (C)، ۴- نسبت ۱:۱ برای A:B، ۵- نسبت ۲:۱ برای A:B، ۶- نسبت ۵:۱ برای A:B، ۷- نسبت ۱:۲ برای A:B، ۸- نسبت ۱:۵ برای A:B، ۹- نسبت ۱:۱:۱ برای A:B:C، ۱۰- نسبت ۱:۱ برای A:C، ۱۱- رقم A با تراکم ۱۵۰ بذر در متر مربع، ۱۲- رقم B با تراکم ۱۵۰ بذر در متر مربع.

داده‌های یادداشت‌برداری شده با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 مرتب و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار StatGraphics Centurion XV, Version 15.2.05 (شرکت StatPoint) انجام شد.

نتایج

ارزیابی شدت بیماری‌های مختلف گندم (سفیدک سطحی، زنگ زرد، لکه خرمایی و زنگ قهوه‌ای) در تیمارهای آزمایش، طی سه مرحله انجام گردید. جهت مقایسه‌ی تیمارها از لحاظ کارایی کاهش شدت بیماری‌ها، از شدت نهایی این بیماری‌ها استفاده شد. به علاوه، جهت اظهار نظر دقیق‌تر و جامع‌تر درباره‌ی وضعیت بیماری‌ها، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) هر کدام از بیماری‌ها محاسبه شد و از آنجایی که طول مدت

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس متوسط شدت بیماری‌های گندم در تیمارهای آزمایشی

Source of variation	df	Powdery mildew		Stripe rust		Tan spot		Leaf rust	
		Final severity	SAUDPC	Final severity	SAUDPC	Final severity	SAUDPC	Final severity	SAUDPC
Replication	2	20.9 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	573.6*	0.01**	62.5 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	278.2**	0.001*
Treatment	11	49.2**	0.0039**	4268.8**	0.07**	275.3**	0.003**	262.8**	0.001**
Error	22	10.7	0.001	123.5	0.002	27.2	0.0001	42.2	0.0002
CV (%)	-	10.76	12.90	2.20	15.25	16.63	15.16	18.01	12.51

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین شدت نهایی بیماری‌های مختلف گندم در تیمارهای آزمایشی

Treatment [†]	Powder mildew	Stripe rust	Tan spot	Leaf rust	
1	A	38.5 abcd	3.3 ef	15 cd	21.4 ab
2	B	33.6 de	81 a	15.8 cd	12.1 bcd
3	C	38 bcde	3.3 ef	9.3 d	8.6 cd
4	A:B (1:1)	41.3 abc	25.9 d	8.6 d	14.4 bcd
5	A:B (2:1)	42.6 ab	25.9 d	17.3 cd	17.7 bc
6	A:B (5:1)	43.3 a	30.3 d	15.6 cd	17.8 a
7	A:B (1:2)	33.2 e	60.5 bc	20.4 bc	12.3 bcd
8	A:B (1:5)	37.9 bcde	53.7 c	13 cd	14.6 bcd
9	A:B:C (1:1:1)	38.4 bcd	20.2 de	28.8 ab	11.3 cd
10	A:C (1:1)	37.4 cde	2.9 f	20.2 bc	16.5 bcd
11	A (150)	39.6 abc	2.9 f	31.7 a	18.8 a
12	B (150)	39.9 abc	75.9 ab	18.5 c	7.2 d
LSD	-	5.1	17.1	8.1	10.2

Means followed by similar letter(s) in each column are not significantly different by LSD test.

[†] The treatments A, B, and C are Kohdasht, Moghan, and Morvarid cultivars, respectively. The number 150 into parenthesis is seed density, and the proportions are seed mixtures of the cultivars.

بحث

پایین (۳/۳ درصد) بود و کاهش میزان بذر آن در تیمار ۱۱ (به‌میزان ۱۵۰ بذر در متر مربع) باعث کاهش بیش‌تر شدت بیماری (۲/۹ درصد) شد (جدول ۲ و شکل ۱-B). حساس بودن این رقم نسبت به بیماری سفیدک سطحی نیز در این تحقیق تأیید شد، به‌طوری که در هر دو تیمار ۱ و ۱۱، شدت نسبتاً بالای بیماری مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۱-A). عدم اختلاف معنی‌دار شدت بیماری در تراکم‌های مختلف بوته، توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Cao *et al.*, 2015). در مورد بیماری لکه خرمایی، اختلاف آشکاری بین دو تیمار مشاهده شد، به‌طوری که شدت بیماری در تیمار ۱۱ (۳۱/۷ درصد) دو برابر تیمار ۱ (۱۵ درصد) بود (جدول ۲ و شکل ۱-C). این نتیجه نشان می‌دهد که تراکم کم بذر باعث افزایش شدت بیماری شده است. شدت بیماری زنگ قهوه‌ای نیز در دو تیمار اندکی متفاوت بود و در تیمار با تراکم بوته کم‌تر (۲۸/۸ درصد)، بالاتر از تیمار ۱ (۲۱/۴ درصد) بود (جدول ۲ و شکل ۱-D). در مجموع، واکنش

در این تحقیق، از مخلوط سه رقم گندم کوه‌دشت (A)، مغان (B) و مروارید (C) جهت کشت مخلوط استفاده شد که به‌ترتیب در برابر بیماری‌های زنگ زرد، سفیدک سطحی و هر دو بیماری به عنوان مقاوم معرفی شده‌اند. ۱۲ تیمار مورد بررسی در این تحقیق، شامل ترکیبات مختلف این سه رقم بوده‌اند. برای تجزیه و تحلیل آسان‌تر نتایج، تیمارها به‌صورت زیر دسته‌بندی شدند و سپس نتایج آماری به‌دست آمده بر اساس این گروه‌بندی مورد تفسیر قرار گرفت:

۱- مقایسه تیمارهای ۱ و ۱۱

دو تیمار ۱ و ۱۱ به‌طور خالص شامل رقم کوه‌دشت (A) بودند که به‌عنوان رقم مقاوم به زنگ زرد و حساس به سفیدک سطحی معرفی شده است. مقاومت این رقم نسبت به زنگ زرد در تیمارهای این تحقیق کاملاً مشهود بود، به‌طوری که تیمار ۱ دارای شدت نهایی بیماری بسیار

رقم کوهدشت در برابر زنگ قهوه‌ای نسبت به سایر تیمارها، به‌صورت حساس ارزیابی شد.

۲- مقایسه تیمارهای ۲ و ۱۲

دو تیمار ۲ و ۱۲ به‌طور خالص شامل رقم مغان (B) بودند که به‌عنوان رقم حساس به زنگ زرد و مقاوم به سفیدک سطحی معرفی شده است. حساسیت این رقم نسبت به زنگ زرد در تیمارهای این تحقیق کاملاً مشهود بود، به‌طوری که این دو تیمار دارای بالاترین شدت بیماری (۸۱ و ۷۵/۹ درصد به‌ترتیب در تیمارهای ۱۲ و ۲) بودند. کاهش میزان بذر این رقم در تیمار ۱۲ به‌میزان ۱۵۰ بذر در متر مربع، منجر به افزایش حدود ۵ درصدی شدت بیماری شد (جدول ۲ و شکل ۱-B). در مورد بیماری سفیدک سطحی، این دو تیمار هیچ‌گونه واکنش مقاومتی را نشان ندادند و کاهش میزان بذر در تیمار ۱۲، افزایش ۶ درصدی شدت بیماری را به‌دنبال داشت (جدول ۲ و شکل ۱-A). در مورد لکه خرمایی، واکنش هر دو تیمار در حد متوسط بود و افزایش میزان بذر در تیمار ۱۲، موجب افزایش جزئی شدت نهایی بیماری شد (جدول ۲ و شکل ۱-C). شدت بیماری زنگ قهوه‌ای در دو تیمار کاملاً متفاوت و در تیمار ۲ (با تراکم بوته بیشتر)، بالاتر از تیمار ۱۲ بود و افزایش میزان بذر، شدت نهایی بیماری را به نصف کاهش داد (جدول ۲ و شکل ۱-D).

۳- مقایسه تیمارهای ۱، ۲ و ۳

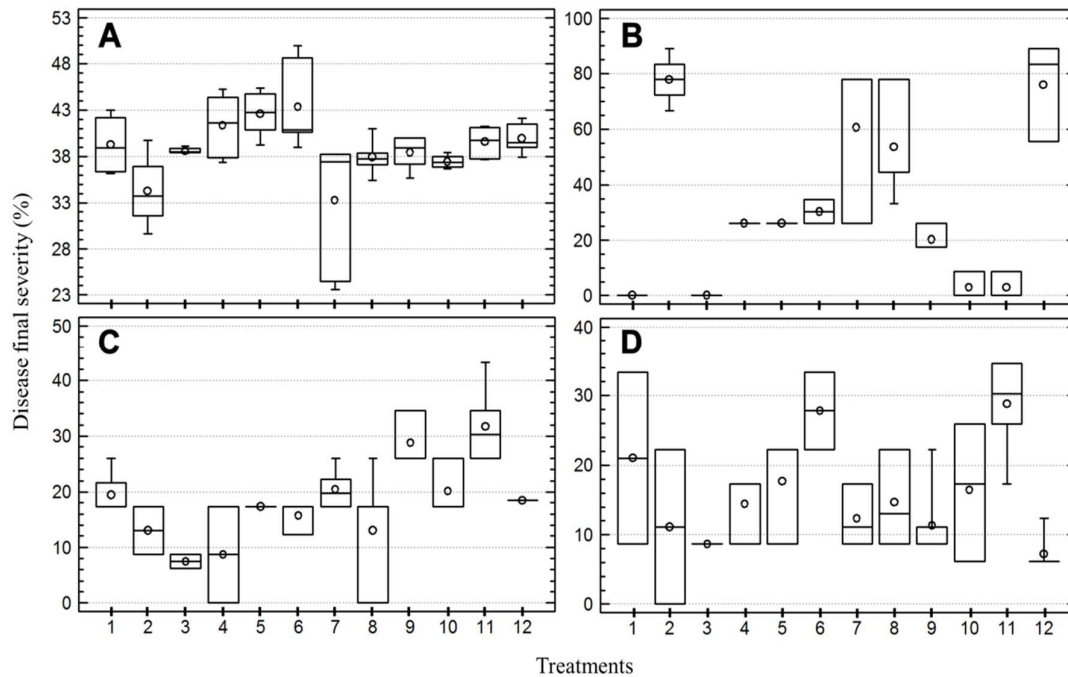
بر اساس اطلاعات قبلی، رقم مروارید (C) نسبت به هر دو بیماری سفیدک سطحی و زنگ زرد مقاوم است، در حالی که دو رقم کوهدشت (A) و مغان (B)، هر کدام به یکی از دو بیماری یاد شده مقاوم هستند. مقاوم بودن دو رقم کوهدشت و مروارید نسبت به زنگ زرد در نتایج این آزمایش نیز مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۱-B)، اما مقاومت مغان و مروارید نسبت به سفیدک سطحی، به‌طور قطع تایید نشد. در واقع، واکنش هر سه رقم در برابر سفیدک سطحی تقریباً مشابه بود. رقم مغان با داشتن شدت متوسط بیماری تقریباً ۵ درصد کم‌تر از دو رقم دیگر، توانست وضعیت مقاومت بهتری را آشکار کند (جدول ۲ و شکل ۱-A). در مورد بیماری لکه خرمایی، رقم مروارید وضعیت بهتری از کوهدشت و مغان داشت و دو رقم اخیر، حساسیت بالایی نسبت به بیماری از خود نشان دادند، اما وضعیت رقم کوهدشت اندکی بهتر از مغان بود (جدول ۲ و شکل ۱-C). در مورد بیماری زنگ قهوه‌ای

نیز رقم مروارید (با شدت نهایی ۸/۶ درصد)، پایین‌ترین شدت بیماری را نشان داد و بعد از آن رقم مغان (با شدت نهایی ۱۴/۸ درصد) قرار گرفت (جدول ۲ و شکل ۱-D). رقم کوهدشت در این مورد نیز واکنش مناسبی نشان نداد و جزو تیمارهای با حساسیت بالا قرار گرفت.

۴- مقایسه تیمارهای ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸

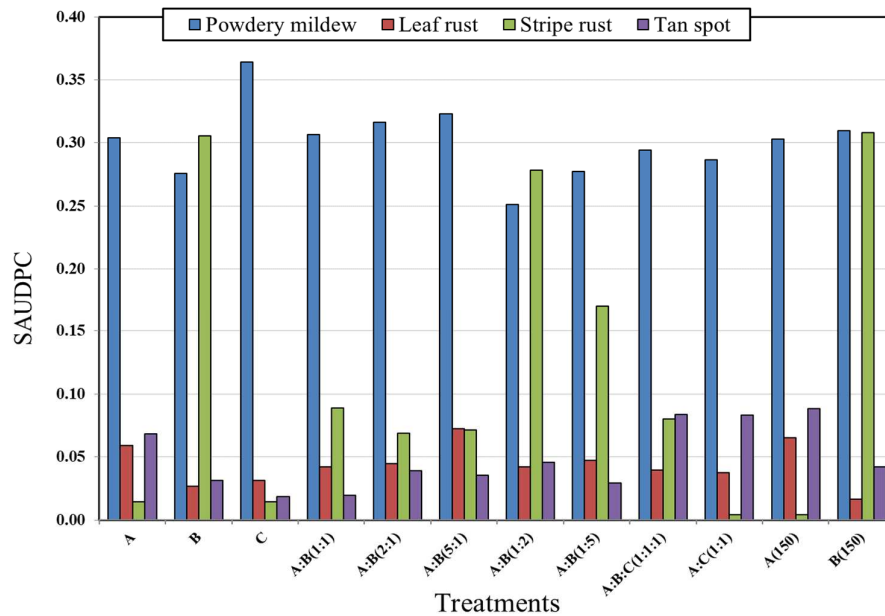
هدف از این مقایسه، شناسایی مناسب‌ترین نسبت مخلوط بذر دو رقم کوهدشت (A) و مغان (B) بود که بتواند واکنش قابل قبولی در برابر بیماری‌ها نشان دهد. در مورد سفیدک سطحی، با افزایش سهم رقم کوهدشت از ۱ (در تیمار ۴) به ۵ (در تیمار ۶)، شدت بیماری افزایش یافت که دلیل آن می‌تواند حساس‌تر بودن رقم کوهدشت نسبت به مغان باشد. افزایش سهم رقم مقاوم (مغان) باعث ایجاد مقاومت بیشتر در مخلوط بذری شد و از این لحاظ، مخلوط بذر دو رقم کوهدشت و مغان به نسبت ۱ به ۲ (با شدت نهایی ۳۳/۲ درصد)، مناسب‌ترین تیمار برای کاهش شدت بیماری سفیدک سطحی گندم بوده است (جدول ۲ و شکل ۱-A). در مورد بیماری زنگ زرد، افزایش سهم رقم مقاوم کوهدشت از ۱ (در تیمار ۴) به ۵ (در تیمار ۶)، تاثیری در افزایش مقاومت مخلوط بذری آن با رقم مغان نداشت و حتی باعث افزایش اندک شدت بیماری نیز شد. با افزایش سهم رقم حساس مغان نسبت به کوهدشت در دو تیمار ۷ و ۸، شدت بیماری بسیار بالا رفت، اما نکته جالب این بود که با افزایش سهم مغان از ۲ (در تیمار ۷) به ۵ (در تیمار ۸) شدت بیماری کاهش یافت.

در مورد بیماری لکه خرمایی، ترکیب بذر دو رقم، تاثیر چندانی در کاهش شدت بیماری نداشت و تنها در مورد تیمار ۴ (نسبت ۱:۱ دو رقم)، پایین‌ترین شدت بیماری مشاهده شد. در مورد بیماری زنگ قهوه‌ای، با افزایش سهم رقم کوهدشت از ۱ (در تیمار ۴) به ۵ (در تیمار ۶)، شدت بیماری افزایش یافت که از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که رقم کوهدشت نسبت به مغان حساس‌تر است و افزایش سهم رقم حساس، باعث حساس‌تر شدن مخلوط بذری شده است (جدول ۲ و شکل ۱-D). افزایش سهم رقم مقاوم مغان باعث ایجاد مقاومت بیشتر در مخلوط بذری شد و مخلوط بذر دو رقم کوهدشت و مغان به نسبت ۱ به ۲ (با شدت نهایی ۱۲/۳ درصد)، مناسب‌ترین تیمار برای کاهش شدت بیماری زنگ قهوه‌ای گندم بود.



شکل ۱- مقایسه شدت نهایی بیماری‌های گندم (بر حسب درصد) در تیمارهای مختلف آزمایشی در سطح احتمال یک درصد. خطوط افقی پایین، وسط و بالای داخل کادر به ترتیب صدک ۲۵، ۵۰ (میانه) و ۷۵ درصد، خطوط عمودی پایین و بالا به ترتیب صدک ۱۰ و ۹۰ درصد و دایره وسط کادر میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد. (A) سفیدک سطحی، (B) زنگ زرد، (C) لکه خرمایی و (D) زنگ قهوه‌ای.

Figure 1. Comparisons of final severity of wheat diseases (%) in the experimental treatments (P-value = 0.01). The bottom, middle and top horizontal lines within the box represent the 25th, 50th (median), and 75th percentiles, respectively, the bottom and top vertical lines represent the 10th and 90th percentiles, and the middle circle of the box shows the average data. A) Powdery mildew, B) Stripe rust, C) Tan spot, D) Leaf rust.



شکل ۲- مقایسه مقدار استاندارد شده سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری‌های گندم در تیمارهای مختلف آزمایشی (P-value=0.01)

Figure 2. Comparison of standardized area under disease progress curve (SAUDPC) of wheat diseases in experimental treatments (P-value=0.01)

۵- مقایسه تیمارهای ۴، ۱۰ و ۹

هدف از انجام این مقایسه، مشخص کردن مناسب‌ترین روش مخلوط کردن سه رقم کوهدشت (A)، مغان (B) و مروارید (C) از لحاظ واکنش در برابر بیماری‌ها بود. تیمارهای مقایسه شده در این بخش شامل تیمارهای ۴ (AB)، ۱۰ (AC) و ۹ (ABC) هستند.

در مورد شدت بیماری سفیدک سطحی، اختلاف معنی‌داری بین این سه ترکیب مختلف ارقام وجود نداشت. از نظر شدت بیماری زنگ زرد، اختلاف فاحشی بین این سه تیمار مشاهده شد. ترکیب رقم کوهدشت (مقاوم به زنگ زرد) با مغان (حساس به زنگ زرد) در تیمار ۴، باعث کاهش معنی‌دار شدت بیماری نسبت به تیمار ۲ (رقم مغان به تنهایی) شد و اضافه شدن یک رقم مقاوم دیگر در تیمار ۹ (و پایین آمدن سهم رقم حساس در مخلوط بذری)، باز هم منجر به کاهش بیش‌تری در شدت بیماری زنگ زرد شد. در تیمار ۱۰، ترکیب دو رقم کاملاً مقاوم مغان و مروارید، باعث شد تا شدت بیماری در این تیمار به پایین‌ترین حد ممکن برسد (جدول ۲ و شکل ۱-B).

در مورد لکه خرمایی، ترکیب دو رقم کوهدشت و مغان، موجب کاهش معنی‌دار شدت بیماری در مخلوط بذری (در تیمار ۴) شد، اما با اضافه شدن رقم مروارید به آنها (تیمار ۱۰) یا وقتی دو رقم مغان و مروارید با هم مخلوط شدند (تیمار ۹)، شدت بیماری بیش از هر کدام از آنها به تنهایی شد (جدول ۲ و شکل ۱-C). در مورد بیماری زنگ قهوه‌ای، ترکیب دو رقم کوهدشت و مغان، شدت بینابین بیماری را به دنبال داشت و اضافه شدن رقم تقریباً مقاوم مروارید، شدت بیماری را کاهش داد. ترکیب دو رقم کوهدشت و مروارید نیز به شدت بینابین بیماری منجر شد (جدول ۲ و شکل ۱-D). کاو و همکاران (Cao *et al.*, 2015) با مطالعه تاثیر مخلوط ارقام در کنترل بیماری‌های گندم، تاثیر این روش را در کاهش بیماری زنگ قهوه‌ای بیش از بیماری لکه خرمایی گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، تاثیر مخلوط ارقام در کنترل بیماری‌های برگی گندم مورد بررسی قرار گرفت. در مورد سفیدک سطحی، شدت نهایی بیماری در تمامی تیمارها بالاتر از ۳۰ درصد و پایین‌تر از ۴۵ درصد بود و بنابراین، کارایی مناسبی در هیچ‌یک از تیمارها برای کاهش شدت این بیماری دیده نشد. کم‌ترین شدت بیماری در تیمار ۲

(رقم مغان) و تیمار ۷ (نسبت ۲ به ۱ مغان:کوهدشت) مشاهده شد که به دلیل سهم بیش‌تر رقم مقاوم‌تر مغان بود. در مورد بیماری زنگ زرد، مقاوم بودن ارقام کوهدشت (تیمار ۱) و مروارید (تیمار ۳) و ترکیب بذری آنها (تیمار ۱۰)، آشکارا قابل مشاهده بود. این در حالی بود که در برخی تیمارها (مثل مغان)، شدت نهایی بیماری تا بیش از ۸۰ درصد رسید. بررسی فراوانی شدت بیماری در تیمارهای آزمایشی (شکل ۳)، پایین بودن فراوانی شدت بیماری در تیمارهای مقاوم را نشان داد. در مورد بیماری لکه خرمایی، پایین‌ترین شدت نهایی بیماری در دو تیمار ۳ (رقم مروارید) و ۴ (مخلوط ۱:۱ کوهدشت:مغان) مشاهده شد و سایر نسبت‌های مخلوط بذری این دو رقم نتوانست کنترل مناسب بیماری را به دنبال داشته باشد. نکته جالب توجه، شدت پایین‌تر بیماری در تیمار ۴ بود، که ترکیبی از دو رقم با مقاومت کم‌تر از رقم مروارید بود و در تیمار ۸ نیز این نتیجه تکرار شد. در مورد بیماری زنگ قهوه‌ای، پایین‌ترین شدت نهایی بیماری در دو تیمار ۳ (رقم مروارید) و ۱۲ (رقم مغان با تراکم ۱۵۰ بذر در متر مربع) و بالاترین شدت بیماری در تیمارهای مربوط به رقم کوهدشت مشاهده شد.

تضاد منافع

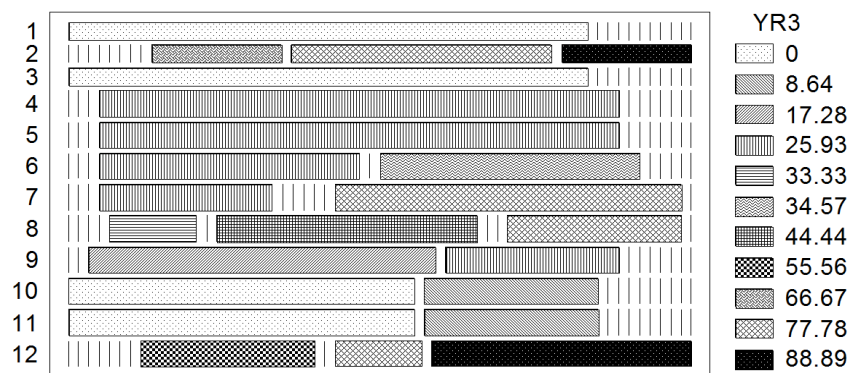
نویسنده (گان) تایید می‌کند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.



شکل ۳- نمودار موزاییکی شدت نهایی بیماری زنگ زرد گندم در تیمارهای آزمایشی. عرض هر کادر، فراوانی شدت بیماری زنگ زرد (نشان داده شده در قسمت راهنمای نمودار) را در هر یک از ۱۲ تیمار مورد مطالعه در این آزمایش نشان می‌دهد.

Figure 3. Mosaic plot of final severity of wheat stripe rust in the experimental treatments. The width of each box shows the frequency of yellow rust disease severity (shown in the guide section) in each of the 12 studied treatments in this experiment.

References

- Akanda, S.I. and Mundt, C.C. 1996.** Effects of two-component wheat cultivar mixtures on strip rust severity. *Phytopathology*, 86(4), pp. 347-353. <https://doi.org/10.1094/Phyto-86-347>.
- Balasubramaniyan, P. and Palaniappan, S.P. 2004.** Principles and Practices of Agronomy. Second Edition. Agrobios, Jodhpur, India. 576 p.
- Cao, X., Luo, Y., Zhou, Y., Fan, J., Xu, X., West, J.S., Duan, X. and Cheng, D. 2015.** Detection of powdery mildew in two winter wheat plant densities and prediction of grain yield using canopy hyperspectral reflectance. *PLoS One*, 27, e0121462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121462>.
- Castro, A. 2007.** Cultivar Mixtures. The Plant Health Instructor. <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2001-1230-01>.
- Chin, K.M. and Wolf, M.S. 1984.** Selection on *Erysiphe graminis* in pure and mixed stands of barley. *Plant Pathology*, 33, pp. 535-546. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1984.tb02878.x>.
- Cowger, C. and Mundt, C.C. 2002.** Effects of wheat cultivar mixtures on epidemic progression of *Septoria tritici* Blotch and pathogenicity of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology*, 92, pp. 617-623. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.6.617>.
- Cox, C.M., Garrett, K.A., Bowden, R.L., Fritz, A.K., Dendy, S.P. and Heer, W.F. 2004.** Cultivar mixtures for the simultaneous management of multiple diseases: Tan spot and leaf rust of wheat. *Phytopathology*, 94, pp. 961-969. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.9.961>.
- Dileon, J.A. and Mundt, C.C. 1994.** Effect of wheat cultivar mixtures on populations of *Puccinia striiformis* races. *Plant Pathology*, 43, pp. 917-930. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01637.x>.
- Garrett, K.A. and Mundt, C.C. 1999.** Epidemiology in mixed host populations. *Phytopathology*, 89(11), pp. 984-990. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.11.984>.
- Garrett, K.A. and Mundt, C.C. 2000.** Effects of planting density and the composition of wheat cultivar mixtures on strip rust: An analysis taking into account limits to the replication of controls. *Phytopathology*, 90(12), pp. 1313-1321. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.12.1313>.
- Lannou, C. 2001.** Interpathotype diversity for aggressiveness and pathogen evolution in cultivar mixtures. *Phytopathology*, 91(5), pp. 500-510. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2001.91.5.500>.
- Lannou, C., Hubert, P. and Gimeno, C. 2005.** Competition and interactions among stripe rust pathotypes in wheat-cultivar mixtures. *Plant Pathology*, 54(5), pp. 699-712. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01251.x>.
- Mundt, C.C. and Leonard, K.J. 1986.** Analysis of factors affecting disease increase and spread in mixtures of immune and susceptible plants in computer-simulated epidemics. *Phytopathology*, 76(8), pp. 832-840. <https://doi.org/10.1094/Phyto-76-832>.

- Newton, A.C., Ellis, R.P., Hackett, C.A. and Guy, D.C. 1997.** The effect of component number on *Rhynchosporium secalis* infection and yield in mixtures of winter barley cultivars. *Plant Pathology*, 46(6), pp. 930-938. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1997.d01-83.x>.
- Peterson, R.F., Campbell, A.B. and Hannah, A.E. 1948.** A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereal. *Canadian Journal of Research*, 26c(5), pp. 496-500. <https://doi.org/10.1139/cjr48c-033>.
- Qstergaard, H. 1983.** Predicting development of epidemics on cultivar mixtures. *Phytopathology*, 73, pp. 166-172. <https://doi.org/10.1094/Phyto-73-166>.
- Saari, E.E. and Prescott, J.M. 1975.** A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Disease Reporter*, 59(5), pp. 377-380.
- Strzembika, A., Gacek, E. and Nadziak, J. 1998.** Powdery mildew intensity, grain yield and its stability of mixtures of spring wheat cultivars. *Plant Breeding and Seed Science*, 42, pp. 47- 55.
- Stubbs, R.W. 1985.** Stripe Rust. In: Roelfs, A.P. and Bushnell, W.R. (Eds.). *The Cereal Rust. Vol. II. Diseases, Distribution, Epidemiology and Control*. Academic Press. Orlando, USA. pp. 61-110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-148402-6.50011-0>.
- Wolfe, M. S. 1984.** Trying to understand and control powdery mildew. *Plant Pathology*, 33(4), pp. 451-466. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1984.tb02868.x>.
- Wolfe, M.S. 1985.** The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease control. *Annual Review of Phytopathology*, 23, pp. 251-273. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.001343>.