اثر سطوح فسفر و بور بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه دو رقم کلزا در شرایط کشت گلخانه‌ای

منصوره توجه[1*]، نجف‌علی کریمیان[1]، عبدالمجید رونقی[1]، جعفر یثربی[2]، رضا حمیدی[1] و ویدا علما[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۴)

چکیده

به منظور ارزیابی اثر سطوح مختلف فسفر و بور بر عملکرد، اجزای عملکرد، کیفیت دانه (پروتئین و روغن) و مقدار فسفر و بور کلزا (*Brassica napus* L.)، آزمایشی گلخانه‌ای (با هدف حذف سایر عوامل محیطی مؤثر بر پارامترهای رشد، که در مزرعه قابل کنترل نیستند) مرکب از دو رقم کلزا (طلایه و زرفام)، سه سطح فسفر (صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سه سطح بور (صفر، ۲ و ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که ارقام مورد آزمایش کلزا از نظر عملکرد دانه، ارتفاع ساقه، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و مقدار نیتروژن، فسفر، بور و روغن دانه تفاوت معنی‌داری داشتند. افزایش سطح فسفر به طور معنی‌داری وزن خشک دانه، کاه و کلش، ریشه و عملکرد زیستی و نیز ارتفاع ساقه، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد پروتئین و عملکرد و درصد روغن دانه را افزایش داد ($P\leq 0/05$). اما غلظت نیتروژن دانه در اثر کاربرد فسفر کم شد. کاربرد بور تنها غلظت و جذب کل بور و درصد روغن دانه را در هر دو رقم کلزا به صورت معنی‌داری افزایش داد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با عملکرد پروتئین، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه وجود داشت. کاربرد فسفر و بور، غلظت و جذب کل فسفر و بور را در دانه‌ی هر دو رقم کلزا افزایش داد. اثر برهمکنش فسفر و بور بر بیشتر متغیرهای مورد مطالعه مثبت بود؛ ولی معنی‌دار بودن این اثر در دو رقم متفاوت بود. انجام آزمایش مزرعه‌ای با سطوح بیشتری از فسفر و بور و ارقام متنوع کلزا توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دانه روغنی، پروتئین

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از گیاهان روغنی مهم، با محتوای روغن دانه زیاد (۴۰ تا ۴۵ درصد) است. روغن کلزا، مکمل غذایی بسیار با ارزشی برای انسان است؛ زیرا اسیدهای چرب اشباع آن کم، ولی اسیدهای چرب غیراشباع آن زیاد است. کلزا از نظر پروتئین نیز گیاه با ارزشی است و در تغذیه انسان اهمیت دارد (۸). این گیاه در سال‌های اخیر، به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی اغلب نقاط کشور ایران، در جهت افزایش تولید روغن خوراکی مورد توجه واقع شده و سطح زیر کشت آن روند رو به رشدی داشته است. از ویژگی‌های با ارزش زراعت پاییزه کلزا که در کشور ما نیز حائز اهمیت است، همزمانی دوره زراعی آن با فصل بارندگی و فراوانی آب است. این موضوع، با توجه به محدودیت منابع آب برای کشت بهاره و تابستانه کشور، مزیت زیادی برای زراعت کلزا نسبت به سایر دانه‌های روغنی، حتی نسبت به محصولات زراعی بهاره و تابستانه، محسوب می‌شود (۳). بر اساس آخرین آمار (۲) سطح زیر کشت کلزا در ایران در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ به بیش از ۸۷ هزار هکتار رسید که ۷۲/۹ درصد این سطح مربوط به مزارع

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mtavajjoh@gmail.com

فاریاب کلزا می‌باشد. میانگین عملکرد کلزا در مزارع فاریاب و دیم کشور به ترتیب ۲۲۰۵ و ۱۸۲۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. همچنین، سطح زیر کشت کلزا در استان فارس در این سال زراعی ۴۰۰۳ هکتار به‌صورت فاریاب، با عملکرد ۲۱۴۲ کیلوگرم در هکتار است که ۴/۵ درصد از سطح زیر کشت کل کلزا در کشور را به خود اختصاص داده است.

مقدار روغن و پروتئین بیشتر، مقدار کمتر اروسیک اسید و گلوکزاینولات‌ها و ترکیبات مناسب اسید چرب به عنوان شاخص‌های مهم برای کیفیت دانه کلزا مورد توجه قرار گرفته‌اند (۳۲).

ریشه‌های خوشه‌ای (Proteoid roots or cluster roots) کلزا سبب مقاومت این گیاه به کمبود فسفر و آهن می‌شود (۴۷). نیاز کلزا به فسفر و پتاسیم بیشتر از گندم بوده و بخش اعظم فسفر دانه‌های آن در اندوسپرم قرار دارد (۲۲).

ضرورت تأمین فسفر برای گیاهان از دیرباز معلوم بوده است. با این وجود، زیادی آن نیز می‌تواند برای گیاه زیان‌آور باشد. گزارش‌های رسیده از آزمایشگاه‌های آزمون خاک حاکی از تجمع مقادیر زیاد فسفر در افق‌های سطحی برخی از زمین‌های کشاورزی ایران می‌باشد و این موضوع نشان دهنده زیاده‌روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفره است (۴).

کاربرد متوازن کودها یکی از راه‌های مهم برای رسیدن به عملکرد بهینه است. در بین عناصر غذایی کم‌مصرف، بور نقش مهمی در عملکرد دانه کلزا دارد (۳۸). کمبود بور در جهان یک مشکل فراگیر است و گیاهان روغنی، مثل کلزا، به این کمبود بسیار حساس هستند (۴۸). کمبود بور به‌طور معمول در خاک‌های آهکی رخ داده (۱۹)، سبب توسعه نامتعارف اندام‌های تولید مثلی (مولد) شده (۲۴) و در نتیجه، عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (۱۳ و ۳۸). گیاه کلزا به سطوح زیاد بور در خاک نیازمند است (۴۹). نتایج پژوهش‌های خادمی و همکاران (۱) نشان داد که نیاز کلزا به بور نسبتا زیاد می‌باشد. بیش‌بود این عنصر کم‌مصرف می‌تواند برای گیاه کلزا سمی بوده و مانع از جوانه‌زنی بهینه و استقرار جوانه شود (۱۵). ژنوتیپ‌های کلزا از لحاظ تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در واحد سطح، وزن دانه، تعداد شاخه در بوته، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن با یکدیگر تفاوت دارند (۲۵، ۲۷ و ۳۲). از راه‌های مقابله با سمیت بور، گزینش ارقام و ژنوتیپ‌هایی است که از تحمل نسبی مطلوبی در برابر غلظت زیاد بور در خاک برخوردار باشند (۳۸).

با توجه به اهمیت کلزا در تولید روغن گیاهی در کشور، آهکی بودن خاک‌های ایران، کمبود بور در خاک‌های آهکی و کاربرد بیش از نیاز کودهای فسفره در خاک‌ها، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف فسفر و بور بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزای پاییزه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه از سری چیتگر با نام علمی Fine-loamy, carbonatic,thermic, Typic Calcixerepts از منطقه سروستان استان فارس، گردآوری و جهت بررسی تأثیر فسفر و بور بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم بذر کلزا (طلایه و زرفام)، سه سطح فسفر (صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به‌صورت مونوکلسیم فسفات، ($Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$)) و سه سطح بور (صفر، ۲ و ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک به‌صورت اسید بوریک (H_3BO_3)، در گلخانه و در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل ۲×۳×۳ (سه سطح بور، سه سطح فسفر و دو رقم کلزا) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عناصر غذایی، به‌غیر از فسفر و بور، بر اساس نتایج آزمون خاک، به‌طور یکنواخت به خاک کلیه گلدان‌ها افزوده شد. عناصر افزوده شده شامل نیتروژن (۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، آهن (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، منگنز (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، روی (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و مس (۵

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

ویژگی	مقدار
کلاس بافت خاک	لوم سیلتی
پ- هاش	۷/۷
کربنات کلسیم معادل (٪)	۶۳
قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	۰/۶
ماده آلی (٪)	۱/۲
نیتروژن کل (٪)	۰/۰۵
ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_{(+)}$/kg)	۸/۴
فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (mg/kg)	۱۱/۴
پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	۲۹۳
بور محلول در آب داغ (mg/kg)	۰/۲۷
مس قابل استخراج با دی.تی.پی.ا (mg/kg)	۰/۵
روی قابل استخراج با دی.تی.پی.ا (mg/kg)	۰/۶
منگنز قابل استخراج با دی.تی.پی.ا (mg/kg)	۴/۷
آهن قابل استخراج با دی.تی.پی.ا (mg/kg)	۲/۱

میلی‌گرم در کیلوگرم) به صورت محلول به ترتیب از منابع اوره، کلات آهن (Fe-EDDHA) و سولفات‌های منگنز، روی و مس به تمام گلدان‌ها افزوده شد. کود نیتروژنه مورد نیاز گیاه در سه قسط به صورت یک‌سوم پیش از کاشت و مخلوط با خاک به همراه سایر عناصر غذایی، یک‌سوم در مرحله روزت و یک‌سوم در آغاز گل‌دهی به خاک گلدان‌ها افزوده شد.

ابتدا ۵ کیلوگرم از خاک مورد نظر در کیسه‌های پلاستیکی ۶ کیلوگرمی ریخته و پس از مخلوط نمودن با کود بر اساس تیمارهای کودی مورد نظر، داخل گلدان‌ها برگردانده شد. در هر گلدان ۱۲ عدد بذر کلزا (ارقام طلایه و زرفام) در عمق حدود ۲ سانتی‌متری خاک کاشته و تعداد بوته‌ها پس از استقرار در مرحله ۲ تا ۴ برگی به ۴ بوته در هر گلدان کاهش داده شد. باید توجه داشت که رقم طلایه زمستانه و زرفام بینابین (بین زمستانه و بهاره) است.

رطوبت خاک در طول مدت آزمایش با وزن کردن مرتب روزانه گلدان‌ها و افزودن آب مقطر، در حد ظرفیت زراعی نگهداری شد. گیاهان تا مرحله تولید دانه در گلدان‌ها نگهداری شدند. خورجین‌های گیاهان هر گلدان، پس از مشاهده زردی کامل، از ساقه جدا و در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند. آنگاه کل گیاه از محل طوقه قطع و ریشه‌ها نیز از خاک جدا و پس از شستشو با آب مقطر در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون تا رسیدن به وزن ثابت خشک نگهداری شدند. ارتفاع نهایی بوته، تعداد خورجین در بوته و گلدان، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کاه و کلش، عملکرد زیستی (شامل وزن خشک اندام‌های هوایی هر بوته) و نیز درصد و عملکرد روغن به روش سوکسله (۴۱) نیز اندازه‌گیری شد. پس از توزین، نمونه‌های رویشی، دانه و ریشه هر گیاه به‌وسیله آسیاب پودر شدند. یک گرم از دانه پودر شده (به روش خشک‌سوزانی در کوره) را به صورت محلول درآورده و غلظت و جذب (حاصل‌ضرب غلظت در عملکرد) فسفر به روش مورفی و رایلی (۳۵)، بور به روش آزومتین-H (۱۸) و پروتئین دانه و نیتروژن کل به روش میکروکلدال (۱۱) اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS تجزیه و تحلیل شدند. برای مقایسه میانگین تیمارهای مختلف، از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید.

نتایج و بحث

اثر کاربرد فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج مربوط به اثر کاربرد فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزای مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. در رقم طلایه، کاربرد فسفر سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، کاه و کلش، ریشه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع ساقه و تعداد خورجین در بوته شد. در تمام موارد یاد شده، تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نسبت به تیمار شاهد شدند. ولی افزایش اجزای عملکرد بین این دو سطح فسفر، جز در عملکرد ریشه، معنی‌دار نبود. کاربرد فسفر سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین شد؛ اما اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه رقم طلایه نداشت.

جدول ۲. اثر کاربرد فسفر برعملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزا.

سطح فسفر (mg/kg)	عملکرد دانه (g/pot)	عملکرد کاه و کلش (g/pot)	عملکرد ریشه (g/pot)	عملکرد زیستی (g/pot)	ارتفاع ساقه (cm)	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	وزن هزار دانه (g)
			رقم طلایه					
۰	۰/۸۷b*	۷/۴۸b	۱/۹۳c	۱۲/۲۱ b	۸۵/۶۴b	۳۱/۹۶a	۱۴/۶۱ b	۳/۵۲a
۲۵	۶/۴۴a	۱۶/۳۲a	۴/۳۶b	۳۸/۵۷a	۱۲۴/۱۴a	۱۰/۴b	۶۳/۷a	۳/۳۱a
۵۰	۷/۳۷a	۱۸a	۵/۸۸a	۴۳/۳۹a	۱۲۶/۵a	۹/۰۷b	۷۲/۱۱a	۳/۳۷a
			رقم زرفام					
۰	۰/۲۶b	۵/۵۲ b	۲/۳۵b	۱۰ b	۵۲/۷۸b	۲۰/۲۶a	۹/۷۸b	۲/۶۲b
۲۵	۳/۴۸a	۲۲/۲۳a	۷/۴۸a	۲۷/۱۹ab	۱۲۱/۰۳a	۸/۶۷b	۳۵/۵۳a	۴/۹a
۵۰	۳/۶۲a	۲۲/۹a	۷/۸۳a	۴۱/۱۵a	۱۲۵/۲۸a	۱۰/۶۸b	۶۰/۸۴a	۲/۵۴b

*در هر رقم کلزا، اعدادی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

در رقم زرفام، تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، کاه و کلش، ریشه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع ساقه، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه، و کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین شد (جدول ۲). این روند افزایشی در سطح ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به سطح ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک در عملکرد دانه، کاه و کلش، ریشه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع ساقه و تعداد خورجین در بوته معنی‌دار نبود. وزن هزار دانه کاهش معنی‌داری نشان داد. تغییر معنی‌داری در تعداد دانه در خورجین مشاهده نشد.

بجز عملکرد ریشه، مقدار سایر اجزای عملکرد اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد در رقم طلایه بیشتر از رقم زرفام بود. افزایش عملکرد دانه، کاه و کلش، ریشه و ارتفاع ساقه، با کاربرد ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد، در رقم زرفام به ترتیب ۱۲/۳۸، ۳/۰۳، ۲/۱۸ و ۱/۲۹ برابر ولی در رقم طلایه به ترتیب ۶/۴، ۱/۱۹، ۱/۲۶ و ۰/۴۵ برابر بود. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر بیشتر کاربرد فسفر در رقم زرفام است. در حالی که افزایش عملکرد بیولوژیک و ارتفاع ساقه در تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد در رقم زرفام به ترتیب ۱/۷۲ و ۲/۶۳ برابر کمتر از رقم طلایه (به ترتیب ۲/۱۶ و ۳/۳۶ برابر) بود.

اثر کاربرد فسفر بر ترکیب شیمیایی و پارامترهای کیفیت دانه

در رقم طلایه، افزودن ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک سبب افزایش عملکرد پروتئین، غلظت و جذب کل فسفر ، غلظت و جذب کل بور، درصد روغن و عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۶/۱۲، ۰/۵۵، ۱۰/۹۶، ۰/۵۷، ۱۲/۸۴، ۰/۲۶ و ۹/۵۶ برابر) شد که در تمام موارد معنی‌دار بود (جدول ۳). با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک این روند افزایشی عملکرد پروتئین، غلظت و جذب کل فسفر، جذب کل بور، درصد روغن و عملکرد روغن ادامه داشت که نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۶/۶۸، ۰/۶، ۱۳/۴۳، ۱۲/۱، ۰/۶۹ و ۱۵/۲۲ برابر) معنی‌دار بود. ولی نسبت به تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک افزایش معنی‌دار نبود؛ جز در مورد درصد و عملکرد روغن که افزایش معنی‌داری دیده شد. غلظت بور در تیمار۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک کاهش معنی‌دار (۱۵٪) و نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار (۳۳٪) نشان داد. این در

جدول ۳. اثر کاربرد فسفر بر ترکیب شیمیایی و کیفیت دانه کلزا.

سطح فسفر (mg/kg)	نیتروژن کل دانه (٪)	عملکرد پروتئین دانه (g/pot)	غلظت فسفر دانه (mg/kg)	جذب کل فسفر دانه (mg/pot)	غلظت بور دانه (mg/kg)	جذب کل بور دانه (mg/pot)	روغن دانه (٪)	عملکرد روغن دانه (g/pot)
			رقم طلایه					
۰	۴/۶ a*	۰/۲۵b	۲۹۸۸b	۲/۴۶b	۲۵/۳۵c	۰/۰۱۹b	۱۱/۸c	۰/۰۹c
۲۵	۴/۴ab	۱/۷۸a	۴۶۲۵a	۲۹/۴۲a	۳۹/۷۶a	۰/۲۶۳a	۱۴/۹b	۰/۹۵b
۵۰	۴/۲b	۱/۹۲a	۴۷۷۷a	۳۵/۵۱a	۳۳/۸b	۰/۲۴۹a	۲۰a	۱/۴۶a
			رقم زرفام					
۰	۴/۹a	۰/۰۸b	۲۸۲۷b	۰/۷۵b	۲۵/۹۷b	۰/۰۱b	۵/۶c	۰/۰۱b
۲۵	۴/۶b	۱/۰۱a	۵۵۷۲a	۲۰/۳۸a	۳۷/۳۵a	۰/۱۳a	۱۱/۹b	۰/۴۳a
۵۰	۴/۵۴b	۱/۰۳a	۶۰۷۵a	۲۲/۰۷a	۳۰/۱۷b	۰/۱۱a	۱۵/۱a	۰/۵۶a

*در هر رقم کلزا، اعدادی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

حالی بود که کاربرد فسفر سبب کاهش درصد نیتروژن دانه شد. این روند در تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد و ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک معنی‌دار نبود؛ ولی در تیمار ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد کاهش درصد نیتروژن معنی‌دار (۱۰٪) بود.

با افزودن فسفر به خاک، عملکرد پروتئین، غلظت و جذب کل فسفر، جذب کل بور، درصد روغن و عملکرد روغن دانه افزایش یافت (در تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد به ترتیب ۱۱/۶۳، ۰/۹۷، ۲۶/۱۷، ۱۲، ۱/۲۵ و ۴۲ برابر و در تیمار ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد به ترتیب ۱۱/۸۸، ۱/۱۵، ۲۸/۴۳، ۱۰، ۱/۷ و ۵۵ برابر). این افزایش برای درصد روغن در هر سه سطح تیمار فسفر معنی‌دار بود. ولی در سایر ویژگی‌ها بین دو تیمار ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌دار دیده نشد. گرچه هر دو سطح فسفر نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار داشتند. درصد کل نیتروژن دانه با کاربرد فسفر کاهش داشت و این کاهش در هر دو سطح ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود (به ترتیب ۶ و ۷ درصد) ولی کاهش درصد کل نیتروژن دانه بین دو تیمار ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک معنی‌دار نبود.

بررسی کلی جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که رقم زرفام در تیمار شاهد کمترین مقدار عملکرد دانه، وزن کاه و کلش، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع ساقه، تعداد خورجین در بوته، عملکرد پروتئین، غلظت و جذب کل فسفر، جذب کل بور، درصد و عملکرد روغن دانه و بیشترین مقدار درصد نیتروژن و در تیمار ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک کمترین وزن هزار دانه و درصد نیتروژن، و بیشترین عملکرد دانه، وزن کاه و کلش، وزن ریشه، ارتفاع ساقه و غلظت فسفر دیده می‌شود. رقم طلایه در تیمار ۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک بیشترین عملکرد دانه، عملکرد زیستی، ارتفاع ساقه، تعداد خورجین در بوته، عملکرد پروتئین، جذب فسفر، درصد و عملکرد روغن و در تیمار ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک، بیشترین غلظت و جذب کل بور را نشان می‌دهد.

بررسی همبستگی بین پاسخ‌های اندازه‌گیری شده (جدول ۴) نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی بین عملکرد روغن دانه با درصد روغن دانه ($r = ۰/۷^{**}$)، عملکرد پروتئین دانه ($r = ۰/۹۱^{**}$)، عملکرد دانه ($r = ۰/۹۲^{**}$)، ارتفاع گیاه ($r = ۰/۵۵^{**}$)، جذب فسفر ($r = ۰/۸۶^{**}$)، غلظت بور دانه ($r = ۰/۸۶^{**}$)، تعداد غلاف در بوته ($r = ۰/۵^{**}$)، وزن کاه و کلش، وزن ریشه و عملکرد زیستی ($r<۰/۵^{*}$)، معنی‌دار و مثبت

جدول ۴. ضرایب همبستگی (r) بین روغن و پروتئین با متغیرهای اندازه‌گیری شده در دانه کلزا.

شماره	متغیرها / شماره متغیرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	عملکرد روغن در دانه	۱											
۲	درصد روغن دانه	۰/۷**											
۳	عملکرد پروتئین در دانه	۰/۹۱**	۰/۵**										
۴	درصد نیتروژن در دانه	-۰/۵۶**	-۰/۴۷**	-۰/۴۷**									
۵	عملکرد دانه، g/pot	۰/۹۲**	۰/۵۱**	۰/۹۹**	-۰/۵۵**								
۶	عملکرد کاه و کلش، g/pot	۰/۳*	۰/۳۹**	۰/۳۶**	-۰/۳۳*	۰/۳۶**							
۷	عملکرد ریشه، g/pot	۰/۳*	۰/۸۹**	۰/۳۵**	-۰/۳۵**	۰/۳۷**	۰/۷۲**						
۸	عملکرد زیستی، g/pot	۰/۴۱**	۰/۳۱*	۰/۴**	-۰/۲۹*	۰/۴۱**	۰/۶۲**	۰/۵۶**					
۹	وزن هزار دانه، g	۰/۱۵ns	۰/۰۳ns	۰/۳*	-۰/۰۷ns	۰/۲۸*	-۰/۰۸ns	۰/۰۶ns	-۰/۱۵ns				
۱۰	ارتفاع گیاه، cm	۰/۵۵**	۰/۴۵**	۰/۶۳**	-۰/۴۶**	۰/۶۱**	۰/۷۳**	۰/۵۶ns	۰/۵۱**	۰/۰۶ns			
۱۱	جذب فسفر در دانه، mg/pot	۰/۸۶**	۰/۴۸**	۰/۹۴**	-۰/۴۵**	۰/۹۴**	۰/۴۲**	۰/۴۱**	۰/۳۹**	۰/۳۲*	۰/۶۳**		
۱۲	جذب بور در دانه، mg/pot	۰/۸۶**	۰/۴۷**	۰/۹۲**	-۰/۵۱**	۰/۹۳**	۰/۳*	۰/۳*	۰/۳۷**	۰/۲۷ns	۰/۵۱**	۰/۸۵**	
۱۳	تعداد غلاف در هر بوته	۰/۵**	۰/۵۱**	۰/۴۸**	-۰/۳۵**	۰/۵**	۰/۵۷**	۰/۵۱**	۰/۹۸**	-۰/۱۳ns	۰/۵۴**	۰/۴۷**	۰/۴۵**

**، * و ns از نظر آماری با آزمون پیرسون معنی‌دار به ترتیب در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

است. در حالی که با زیاد شدن عملکرد روغن دانه، درصد نیتروژن دانه کاهش می‌یابد (r = -۰/۵۶**).

ضریب همبستگی بین درصد روغن دانه و عملکرد پروتئین دانه (r = ۰/۵**)، عملکرد دانه (r = ۰/۵۱**)، عملکرد ریشه (r = ۰/۸۹**)، تعداد غلاف در بوته (r = ۰/۵۱**)، وزن کاه و کلش، عملکرد زیستی، ارتفاع گیاه و جذب فسفر و بور دانه (r<۰/۵*) همبستگی معنی‌دار مثبت دارد. همچنین، درصد روغن با درصد نیتروژن دانه همبستگی منفی (r= -۰/۴۷**) دارد (جدول ۴). ساخت پروتئین بر ساخت زیستی (بیوسنتز) روغن مقدم است و اغلب با مقدار روغن همبستگی منفی دارد، که می‌تواند دلیلی بر افزایش مقدار روغن و کاهش مقدار پروتئین در دانه‌های کلزا باشد (۹).

اگرچه کلزا عموماً به کمبود فسفر حساس است، اما رقم‌های مختلف از این نظر بسیار متفاوت هستند (۲۹). افزایش فراهمی فسفر در خاک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد روغن و دانه، غلظت فسفر و روغن دانه‌ها و انتقال فسفر به دانه‌ها می‌شود. همچنین، برهمکنش معنی‌دار بین فسفر و رقم بر ویژگی‌های عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت فسفر دیده می‌شود (۲۹). ریشه رقم فسفرکارا در شرایط تنش کمبود فسفر، بلندتر و ریشه‌های مویین جانبی متراکم‌تر، همراه با تعداد بیشتری انشعاب است. این عوامل باعث توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای و جذب مؤثرتر فسفر می‌شود. البته این خود سبب افزایش غلظت آن در گیاه و در نهایت تولید زیست‌توده بیشتر می‌شود. به هر حال، در شرایط کمبود فسفر، کارایی استفاده از فسفر (تولید زیست‌توده به ازای واحد فسفر تجمع یافته در گیاه)، در گیاه فسفرکارا کمتر از گیاه فسفرناکارا است. این نتایج مؤید آن است که کارایی فسفر در کلزا مربوط به توسعه بهتر سیستم ریشه و جذب مؤثر فسفر است (۲۳).

در یک مطالعه گلدانی، اثر برهمکنش بین فسفر و مولیبدن بر کلزا گزارش شده که کاربرد فسفر عملکردهای دانه و روغن را با کاربرد و عدم کاربرد مولیبدن افزایش می‌دهد. فسفر از طریق افزایش رشد شاخه‌ها و غلاف‌های گیاه عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (۳۱). همچنین، محلول غذایی حاوی فسفر و نیتروژن زیاد، غلظت روغن دانه کلزا را کم می‌کند. فسفر کم و

جدول ۵. اثر کاربرد بور بر اجزای عملکرد دو رقم کلزا.

سطح بور (mg/kg)	عملکرد دانه (g/pot)	عملکرد کاه و کلش (g/pot)	عملکرد ریشه (g/pot)	عملکرد زیستی	ارتفاع ساقه (cm)	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	وزن هزار دانه (g)
				رقم طلایه				
۰	۴/۱۹b*	۱۲/۴۰a	۳/۴۱b	۲۵/۷۴a	۱۱۷/۳۱a	۳۱/۹۰a	۴۲/۰۳a	۳/۷۰a
۲	۵/۹۲a	۱۴/۷۶a	۴/۲۴a	۳۴/۲۷a	۱۱۱/۴۴a	۱۲/۳a	۵۳/۲۹a	۳/۳۲a
۴	۴/۵۶b	۱۴/۶۴a	۴/۵۲a	۳۴/۴۴a	۱۰۷/۵۳a	۷/۱۳a	۵۵/۱a	۳/۱۹a
				رقم زرفام				
۰	۲/۰۴a	۱۶/۴۴a	۵/۷۷a	۱۴/۹۰a	۱۰۵/۵۳a	۹/۵۴a	۱۸/۹۱a	۲/۸۴a
۲	۳/۱a	۱۸/۴۶a	۵/۹۴a	۳۳/۹۳a	۹۹/۵۶a	۲۳/۸۰a	۴۴/۶۶a	۴/۵۱a
۴	۲/۲۲a	۱۵/۷۶a	۵/۹۶a	۲۹/۵۰a	۹۴/۰۰a	۶/۲۲a	۴۲/۵۹a	۲/۷۱a

*در هر رقم کلزا، اعدادی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

نیتروژن زیاد نیز غلظت روغن دانه کلزا را کاهش می‌دهد (۴۲).

در یک مطالعه مشاهده گردید که کوددهی فسفر، رشد گیاه کلزا را بهبود بخشید و جذب نیتروژن و گوگرد را حتی بیش از کوددهی نیتروژن، افزایش داد؛ اگرچه نیتروژن برخی خاک‌های مورد مطالعه (شنی و لوم-شنی) بسیار کم بود (۰/۰۳ درصد). این نتایج نشان داد که کوددهی فسفر جذب نیتروژن را از طریق سازوکاری افزایش داد که ارتباطی به افزایش نیاز گیاه به نیتروژن بر اثر رشد نداشت (۲۰). به طور کلی، در تمام دانه‌های روغنی، درصد روغن و درصد پروتئین با هم همبستگی منفی دارند. به نظر می‌رسد که با کاربرد نیتروژن، سوبسترای بیشتری برای ساخت پروتئین فراهم آمده، مواد فتوسنتزی بیشتر به ساخت پروتئین اختصاص داده شده و در نتیجه جهت ساخت روغن سوبسترای کافی در دسترس نخواهد بود. بنابراین، درصد روغن کاهش می‌یابد (۲۸).

اثر کاربرد بور بر عملکرد و اجزای عملکرد

بررسی اثر کاربرد بور بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم طلایه (جدول ۵) نشان داد که کاربرد ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (به ترتیب ۴۱ و ۲۵ درصد). ولی با کاربرد ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک، عملکرد دانه کاهش یافت (۲۳٪)، که این کاهش نسبت به تیمار ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک معنی‌دار بود. در حالی که افزایش عملکرد ریشه (۷٪) در تیمار ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک معنی‌دار نبود؛ ولی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار (۳۳٪) داشت. تغییرات سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در اجزای عملکرد رقم طلایه از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. کاربرد بور بر اجزای عملکرد رقم زرفام تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

اثر کاربرد بور بر ترکیب شیمیایی و کیفیت دانه

کاربرد ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک در رقم طلایه سبب افزایش معنی‌دار عملکرد پروتئین، جذب کل فسفر، غلظت و جذب کل بور و درصد و عملکرد روغن، نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۳۹، ۴۳، ۳۴، ۷۵، ۲۶ و ۵۲ درصد) شد؛ اما افزایش غلظت فسفر (۴٪) معنی‌دار نبود. با کاربرد ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک، عملکرد پروتئین، جذب کل فسفر، جذب کل بور و عملکرد روغن نسبت به تیمار ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک کاهش یافت.اما این کاهش فقط در عملکرد پروتئین (۳۸٪) معنی‌دار بود. کاربرد ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک سبب

جدول ۶. اثر کاربرد بور بر ترکیب شیمیایی و پارامترهای کیفیت دانه دو رقم کلزا

سطح بور (mg/kg)	نیتروژن کل دانه (٪)	عملکرد پروتئین دانه (g/pot)	غلظت فسفر دانه (mg/kg)	جذب کل فسفر دانه (mg/pot)	غلظت بور دانه (mg/kg)	جذب کل بور دانه (mg/pot)	روغن دانه (٪)	عملکرد روغن دانه (g/pot)
				رقم طلایه				
۰	۴/۴۶a*	۱/۱۵b	۳۹۱۱a	۱۸/۸۶b	۲۴/۵۷c	۰/۱۲b	۱۳/۲ b	۰/۶۹b
۲	۴/۳۹a	۱/۶۰a	۴۰۵۸a	۲۶/۹۴a	۳۲/۸۷b	۰/۲۱a	۱۶/۶ a	۱/۰۵a
۴	۴/۳۷a	۱/۱۹b	۴۴۲۳a	۲۱/۵۸ab	۴۱/۴۶a	۰/۲۰a	۱۶/۹ a	۰/۷۶b
				رقم زرفام				
۰	۴/۷۲a	۰/۵۷a	۴۴۱۳a	۱۱/۴۱a	۲۴/۶۴b	۰/۰۶b	۹/۱b	۰/۲۵a
۲	۴/۶۷a	۰/۸۹a	۴۹۲۲a	۱۸/۷۴a	۳۲/۸۰a	۰/۱۱a	۱۰/۶b	۰/۳۹a
۴	۴/۶۶a	۰/۶۵a	۵۱۴۰a	۱۳/۰۴a	۳۶/۰۷a	۰/۰۸ab	۱۳/۰a	۰/۳۶a

*در هر رقم کلزا، اعدادی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

افزایش معنی‌دار غلظت بور نسبت به تیمارهای شاهد و ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک (به ترتیب ۶۹ و ۲۶ درصد) شد. هر دو تیمار ۲ و ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک سبب کاهش درصد نیتروژن گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. هر چند این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود.

در رقم زرفام، تیمار ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک تنها در غلظت و جذب کل بور نسبت به تیمار شاهد اثر معنی‌دار افزایشی داشت (به ترتیب ۳۳ و ۸۳ درصد) (جدول ۶)، ولی در تیمار ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک، نسبت به تیمار ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک، تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش درصد روغن دانه با کاربرد بور تنها در تیمار ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک نسبت به دو تیمار دیگر (۴۳٪ نسبت به تیمار شاهد و ۲۳٪ نسبت به تیمار ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک) معنی‌دار بود. تغییرات سایر پاسخ‌های اندازه‌گیری شده اگرچه از نظر آماری معنی‌دار نبود، ولی روندی مشابه با تغییرات رقم طلایه داشت.

با بررسی کلی جداول ۵ و ۶ می‌توان دید که تیمار شاهد در رقم زرفام کمترین مقادیر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، تعداد خورجین در بوته، عملکرد پروتئین، جذب فسفر و بور، درصد روغن و عملکرد روغن دانه را نشان می‌دهد و دارای بیشترین درصد نیتروژن دانه است. کمترین غلظت فسفر و بور در تیمار شاهد رقم طلایه مشاهده شد. تیمار ۲ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک در رقم طلایه دارای بیشترین عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، جذب کل فسفر و بور و عملکرد روغن می‌باشد. همچنین، بیشترین عملکرد ریشه و غلظت فسفر در تیمار ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک در رقم زرفام و بیشترین عملکرد زیستی و تعداد خورجین در بوته و کمترین درصد نیتروژن، غلظت بور و درصد روغن در رقم طلایه و تیمار ۴ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک مشاهده می‌شود.

با افزایش عملکرد پروتئین، عملکرد دانه ($r = ۰/۹۹^{**}$)، ارتفاع گیاه ($r = ۰/۶۳^{**}$)، جذب فسفر ($r = ۰/۹۴^{**}$) و بور دانه ($r = ۰/۹۲^{**}$)، عملکرد کاه و کلش، عملکرد ریشه، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته ($r<۰/۵^{**}$) و وزن هزار دانه ($r<۰/۵^{*}$) افزایش می‌یابد. اما با افزایش عملکرد پروتئین، درصد نیتروژن دانه ($r = -۰/۴۷^{**}$) کم می‌شود (جدول ۴).

همبستگی منفی معنی‌داری بین درصد نیتروژن دانه با عملکرد دانه ($r = -۰/۵۵^{**}$)، جذب بور دانه ($r = -۰/۵۱^{**}$)، عملکرد ریشه، ارتفاع گیاه، جذب فسفر دانه، تعداد غلاف در بوته ($r<-۰/۵^{**}$)، عملکرد کاه و کلش و عملکرد زیستی ($r<-۰/۵^{*}$)، وجود دارد (جدول ۴).

در بررسی پاسخ کلزا به کاربرد فسفر، بور و آهک در یک خاک اسیدی، مشاهده شد که کاربرد ۱۳ کیلوگرم فسفر در هکتار (کمترین سطح فسفر به‌کار رفته در آزمایش) کافی بوده و مقادیر بیشتر پاسخ گیاه را افزایش نداد. در کرت‌های تیمار شده با فسفر، برگ‌پاشی با محلول بور، عملکرد دانه (اندازه‌گیری از طریق برداشت دستی) را به مقدار قابل توجهی (۷۵٪) افزایش داد که علت آن افزایش تعداد گل‌ها (۳۲٪) و افزایش زیاد در تعداد غلاف‌ها (۱۱۶٪) گزارش شد (۳۸). تجمع بیشتر ماده خشک دانه در تیمارهای دارای بور می‌تواند مربوط به کاهش سریع وزن خشک پریکارپ در طول دوره بعدی تشکیل عملکرد و نسبت بیشتر وزن خشک دانه به پریکارپ باشد. این نشان می‌دهد که کاربرد بور احتمالاً سبب انتقال مواد ساخته شده در فرایند فتوسنتز از پریکارپ به دانه کلزای رشد کرده در خاک دارای کمبود بور می‌شود (۵۰).

روغن، مهمترین ویژگی کیفی دانه‌های روغنی است. جدا از عامل ژنتیک، این ویژگی تا حدود زیادی به‌وسیله کوددهی گیاهان تعیین می‌شود. کاهش در مقدار روغن ممکن است در نتیجه کمبود عناصر غذایی باشد (۶).

نتایج تحقیق درباره اثر بور، مولیبدن و روی و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه دو رقم کلزا نشان داد که کاربرد بور در یک خاک شنی سبب افزایش ۴۶/۱٪ عملکرد نسبت به تیمار شاهد شد و نسبت به تیمارهای دو عنصر دیگر به تنهایی عملکرد قابل توجه بیشتری داشت. با توجه به این نتایج، بور عامل محدود کننده اصلی عملکرد دانه کلزا در این آزمایش بود. اثر کود بور بر عملکرد دانه مربوط به افزایش تعداد دانه‌ها در غلاف و تعداد غلاف‌ها در گیاه بود. در تمام تیمارها، در مقایسه با شاهد، افزایش کم اما معنی‌داری در مقدار روغن دانه و بهبود کیفیت روغن وجود داشت. این نتایج نشان داد که کاربرد بهینه عناصر کم‌مصرف می‌تواند اثرهای مفیدی بر عملکرد و کیفیت کلزا در خاک فقیر داشته باشد (۵۰).

رشید و همکاران (۴۵) ملاحظه کردند که بیشینه عملکرد کلزا در سطح یک میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک بود و در این سطح، عملکرد ۴۳٪ نسبت به شاهد افزایش نشان داد. گریوال و همکاران (۲۲) نتیجه گرفتند که یک رقم کلزا به غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک به‌طور معنی‌داری واکنش نشان داد. در حالی که رقم دیگر کلزا به این غلظت بور واکنش کمتری نشان داد. بررسی‌های کوهکن (۵) درباره اثر بور و نیتروژن بر رشد رویشی کلزا نشان داد که با افزایش مصرف بور، وزن خشک کلزا کاهش و غلظت بور آن افزایش یافت. در غیاب نیتروژن، مصرف بور باعث افزایش غلظت نیتروژن در گیاه شد، که این تأثیر ممکن است مربوط به اثر کاهنده بور بر وزن خشک کلزا باشد.

در بررسی اثر نیتروژن و بور بر عملکرد و سایر اجزای عملکردی کلزا مشاهده شد که کاربرد بور در چهار سطح مختلف سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد روغن وشاخص برداشت شد. اما در مورد تعداد غلاف در واحد سطح، وزن هزار دانه، درصد روغن، پروتئین و عملکرد بیولوژیک اثر معنی‌داری گزارش نشد. کاربرد بور بر خلاف نیتروژن اثر معنی‌داری بر وزن خشک، ارتفاع و تعداد شاخه کلزا نداشت. این تحقیق نشان داد که کاربرد بور در کلزا سبب نیاز کمتر کلزا به کاربرد کود نیتروژن شد. بنابراین، عنصر بور یک عامل بسیار مهم بود (۳۴). برخی محققین (۳۳ و ۴۹) نشان داده‌اند که کاربرد بور سبب افزایش عملکرد دانه، وزن خشک، تعداد شاخه و جذب بور توسط کلزا در شرایط گلخانه و مزرعه می‌شود. افزون بر این، افزایش عملکرد دانه در نتیجه کاربرد بور مربوط به افزایش تعداد دانه در غلاف است.

نتایج برخی محققین (۱۴ و ۴۹) نشان داده‌است که کاربرد بور بر عملکرد دانه کلزا مؤثر است؛ بدون اینکه اثر معنی‌داری بر تولید وزن خشک داشته باشد. این نتایج بر نقش بور در گرده افشانی و تشکیل دانه در کلزا تأکید دارد. آنان همچنین نشان داده‌اند که گرچه بور اثر معنی‌داری بر رشد رویشی ندارد، اما با کاربرد بور، غلظت بور در برگ‌ها افزایش می‌یابد.

گزارش شده (۳۹ و ۴۴) که بور، همراه با نیتروژن، پروتئین دانه کلزا را کم کرده، ولی روغن دانه را افزایش می‌دهد.

جدول ۷. اثر برهمکنش فسفر و بور بر برخی پاسخ‌های اندازه‌گیری شده در ارقام طلایه و زرفام کلزا.

سطح بور (mg/kg)	سطح فسفر (mg/kg)	روغن دانه (٪)	عملکرد پروتئین (g/pot)	عملکرد دانه (g/pot)	عملکرد ریشه (g/pot)	عملکرد کاه و کلش (g/pot)
		طلایه				
۰	۰	۵/۳c*	۰/۲۸a	۰/۹۷a	۱/۴۳e	۶/۷ a
	۲۵	۱۲/۸b	۱/۵۶a	۵/۴۵a	۳/۴۹dc	۱۴/۳ a
	۵۰	۲۱/۶a	۱/۶۲a	۶/۱۴a	۵/۳۱b	۱۶/۳ a
۲	۰	۱۳/۳b	۰/۳۸a	۱/۳۶a	۲/۰۶e	۸/۹ a
	۲۵	۱۴/۸b	۲/۱۸a	۷/۸۳a	۵/۳۱b	۱۶/۰a
	۵۰	۲۱/۵a	۲/۲۴a	۸/۵۷a	۵/۳۵b	۱۹/۴ a
۴	۰	۱۶/۸b	۰/۰۸a	۰/۲۸a	۲/۳۱de	۶/۹ a
	۲۵	۱۶/۹b	۱/۶a	۶/۰۳A	۴/۲۷bc	۱۸/۷ a
	۵۰	۱۶/۹b	۱/۹a	۷/۳۹a	۶/۹۹a	۱۸/۴ a
		زرفام				
۰	۰	۳/۱e	۰/۰۳d	۰/۰۹d	۲/۱۳ a	۵d
	۲۵	۱۱/۴cd	۰/۸۱c	۲/۷۴bc	۷/۶۹ a	۲۱/۹bc
	۵۰	۱۲/۸bc	۰/۸۷bc	۳/۱۹bc	۷/۴۹ a	۲۲/۴bc
۲	۰	۴/۳e	۰/۱۶d	۰/۵۳d	۲/۳۳ a	۶/۶ d
	۲۵	۱۲/۷bc	۱/۷۵a	۶/۰۴a	۵/۹۴ a	۱۹/۷bc
	۵۰	۶/۴b	۰/۷۶c	۳/۷۴c	۹/۵۶ a	۲۹/۱ a
۴	۰	۹/۵d	۰/۰۵d	۰/۱۶d	۲/۵۹ a	۴/۹d
	۲۵	۱۱/۶cd	۰/۴۶cd	۱/۵۸cd	۸/۸۳ a	۲۵/۲ab
	۵۰	۱۷/۹a	۱/۴۵ab	۴/۹۲ab	۶/۴۶ a	۱۷/۲c

* اعدادی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

همچنین، کاربرد بور باعث بیشینه شدن عملکرد کلزا می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد که کاربرد بور سبب مصرف مؤثر نیتروژن در کلزا شده و عملکرد روغن را به حداکثر می‌رساند. کارامانوس و همکاران (۲۶) درباره اثر بور بر درصد روغن و پروتئین دانه تأثیر معنی‌داری گزارش نکرده‌اند. اما مشاهده کرده‌اند که کاربرد بور، عملکرد روغن را از طریق افزایش عملکرد دانه و با افزایش تعداد دانه در غلاف، افزایش می‌دهد.

برهمکنش فسفر و بور

برهمکنش فسفر و بور (جدول ۷) تنها بر روغن و پروتئین دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و عملکرد ریشه در دو رقم کلزای مورد بررسی تأثیر معنی‌دار داشت. در رقم طلایه، درصد روغن دانه، به‌ویژه تا تیمار ۲ میلی‌گرم بور، در اثر این بر همکنش افزایش معنی‌دار داشت. هر چند اثر برهمکنش فسفر و بور در رقم طلایه اثر معنی‌داری بر عملکرد پروتئین دانه و عملکرد دانه نداشت، اما روند هم‌افزایی مشابه با تغییرات درصد روغن در این رقم بود. روند هم‌افزایی معنی‌دار بور و فسفر بر درصد روغن دانه در رقم زرفام در سطح ۴ میلی‌گرم بور نیز ادامه داشت. عملکرد پروتئین دانه و عملکرد دانه نیز از روند هم‌افزایی معنی‌دار مشابه با درصد روغن دانه در این رقم پیروی کرد. اثر برهمکنش این دو عنصر بر عملکردهای کاه و کلش و ریشه در رقم طلایه به صورت هم‌افزایی بود که این روند فقط

جدول ۸. مقایسه میانگین ویژگی‌های عملکردی دو رقم کلزا

رقم	عملکرد دانه (g/pot)	عملکرد کاه و کلش (g/pot)	عملکرد ریشه (g/pot)	عملکرد زیستی (g/pot)	ارتفاع ساقه (cm)	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	وزن هزار دانه (g)
طلایه	۴/۸۹a*	۱۳/۳۹a	۴/۰۵a	۳۱/۳۹a	۱۱۲/۰۹a	۱۷/۱۴a	۵۰/۱۴a	۳/۴a
زرفام	۲/۴۵b	۱۶/۸۹a	۵/۸۹a	۲۶/۱۱a	۹۹/۶۹b	۱۳/۲a	۳۵/۳۹b	۲/۸۱b

رقم	نیتروژن کل دانه (٪)	عملکرد پروتئین دانه (g/pot)	غلظت فسفر دانه (mg/kg)	جذب کل فسفر دانه (g/pot)	غلظت بور دانه (mg/kg)	جذب کل بور دانه (g/pot)	روغن دانه (٪)	عملکرد روغن دانه (g/pot)
طلایه	۴/۴۱b	۱/۳۱۵a	۴۱۳۰/۴b	۲۲/۵A	۳۲/۹۷a	۰/۱۷۷a	۱۵/۵۷a	۰/۸۳a
زرفام	۴/۶۸a	۰/۷۰۳b	۴۸۲۵/۳a	۱۴/۴B	۳۱/۱۷b	۰/۰۸۲b	۱۰/۸۹b	۰/۳۳b

* اعدادی که در هر ستون یک حرف مشترک دارند از نظر آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

در عملکرد ریشه معنی‌دار شد. همچنین، در رقم زرفام، این دو متغیر در واکنش به برهمکنش فسفر و بور افزایش یافتند، که این افزایش در عملکرد کاه و کلش معنی‌دار بود. در کل، به نظر می‌رسد برهمکنش فسفر و بور اثر هم‌افزایی بر متغیرهای ذکر شده دارند.

فسفر می‌تواند با بور برهمکنش داشته باشد. بور برای توسعه و طویل شدن نوک ریشه‌ها ضروری است، که این فرایند سبب جذب فسفر می‌شود (۴۳). به هر حال، فسفر هم بر جذب بور اثر می‌گذارد. گزارش شده که زیادی فسفر، جذب بور را در مرکبات کاهش می‌دهد. بور و فسفر می‌توانند جذب سطحی ذرات جامد شده، یا در واکنش‌های رسوبی با سزکوئی اکسیدها و کانی‌های رسی خاک وارد شوند. بنابراین، توانائی برهمکنش در بسیاری از سطوح را دارند امّا اینکه نتیجه این برهمکنش‌ها چگونه باشد می‌تواند به شرایط محیطی یا حضور سایر عناصر غذایی وابسته باشد (۱۰).

مقایسه دو رقم طلایه و زرفام

مقایسه دو رقم طلایه و زرفام نشان داد که این دو رقم از نظر وزن کاه و کلش، وزن ریشه، عملکرد زیستی و تعداد دانه در خورجین تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (جدول ۸). میانگین درصد نیتروژن دانه و غلظت فسفر آن در رقم طلایه به صورت معنی‌داری بیشتر از رقم زرفام بود. سایر پاسخ های بررسی شده در دو رقم کلزا تفاوت معنی‌دار داشته و در رقم زرفام بیشتر از رقم طلایه بود. تفاوت‌های ژنتیکی در جذب عناصر غذایی ممکن است مربوط به اختلاف ژنوتیپ‌ها در کارایی جذب عناصر غذایی از خاک و تفاوت در تبدیل عناصر جذب شده برای تولید ماده خشک گیاه باشد (۱۲).

تفاوت‌های ژنوتیپی در کارایی فسفر در کمبود فسفر در بسیاری از گیاهان مثل گندم (۴۰)، لوبیای معمولی (۷)، سویا (۲۴)، برنج (۱۷ و ۴۶) و کلزا (۱۶) مطالعه شده است. ویژگی‌های گیاهی که در مقابله با کمبود فسفر دخیل هستند اسیدی کردن ریزوسفر، وجود آنیون‌های آلی در ترشحات ریشه، تغییر مورفولوژی ریشه و سینتیک جذب می‌باشند. اینکه کدامیک از این عوامل سبب افزایش کارایی فسفر می‌شود معلوم نیست و تفاوت‌های زیادی از نظر اثر هر یک از عوامل ذکر شده بر کارایی فسفر وجود دارد (۳۸).

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد فسفر به صورت معنی‌داری بیشتر اجزای عملکرد را در دو رقم مورد مطالعه کلزا تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر عکس، کاربرد بور بر تعداد کمی از اجزای عملکرد در ارقام مورد مطالعه مؤثر است.

افزایش سطح کاربرد فسفر، افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن کاه و کلش، وزن ریشه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع ساقه، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد پروتئین، درصد و عملکرد روغن دانه، غلظت و جذب کل فسفر و غلظت و جذب کل بور را در پی داشت. اما درصد نیتروژن دانه در ارقام کلزا، با افزایش سطح فسفر به‌کار رفته کم شد. این نتایج، به دلیل اثر مثبت فسفر بر توسعه و رشد ساقه و برگ‌ها و در نتیجه افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه، تولید بوته‌هایی با ارتفاع بیشتر و افزایش تعداد غلاف از طریق افزایش مواد پرورده می‌باشد. کاربرد خاکی بور به تنهایی غلظت و جذب کل بور و درصد روغن دانه را در هر دو رقم کلزا به صورت معنی‌داری افزایش داد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با عملکرد پروتئین، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه نشان می‌دهد که تغییرات عملکرد دانه هم‌جهت با تغییرات این صفات است و کاهش هر یک از این عوامل به شدت در عملکرد دانه مؤثر خواهد بود. بنابراین، تعداد خورجین در بوته، عملکرد پروتئین و وزن هزار دانه از اجزای اصلی عملکرد دانه کلزا معرفی شده‌اند. مصرف کودهای فسفردار می‌تواند باعث افزایش رشد و نمو گیاه و به دست آمدن عملکرد بیشتر شود.

رقم طلایه با تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین و وزن هزار دانه بیشتر نسبت به رقم زرفام، عملکرد دانه بیشتری را تولید کرد. اثر برهمکنش فسفر و بور بر بیشتر ویژگی‌های مورد مطالعه مثبت است. ولی معنی‌دار بودن این اثر در دو رقم یاد شده متفاوت بود. بیشترین درصد روغن دانه و عملکرد دانه در رقم طلایه در تیمار ۲ میلی‌گرم بور و ۵۰ میلی‌گرم فسفر، و در رقم زرفام در تیمار ۴ میلی‌گرم بور و ۵۰ میلی‌گرم فسفر مشاهده شد.

به منظور حذف سایر عوامل مؤثر بر پارامترهای رشد در ارقام مورد مطالعه در این پژوهش، کشت کلزا در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. زیرا در کشت مزرعه‌ای، عوامل محیطی و میزان فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه چندان تحت کنترل پژوهشگر نیستند. در نهایت، می‌توان با بررسی نتایج مربوطه در شرایط مزرعه‌ای، توصیه‌های کودی مناسبی برای کشت بهینه‌ی کلزا ارائه کرد.

منابع مورد استفاده

۱. خادمی، ز.، ح. رضایی، م. ج. ملکوتی و پ. مهاجر میلانی. ۱۳۷۹. تغذیه بهینه کلزا گامی مؤثر در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت روغن: توصیه کودی برای تولیدکنندگان کلزا در خاک‌های کشور. نشر آموزش کشاورزی.

۲. رادمهر، ع. ۱۳۹۲. آمارنامه کشاورزی: جلد اول، محصولات زراعی سال زراعی ۹۱- ۱۳۹۰. نشر وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، صفحات ۸۷-۸۳.

۳. رودی، و.، س. رحمان پور و ف. جاویدفر. ۱۳۸۲. زراعت کلزا. انتشارات دفتر برنامه‌ریزی رسانه‌های ترویجی و انتشارات فنی معاونت ترویج و زراعت جهاد کشاورزی.

۴. کریمیان، ن. ع. ۱۳۷۷. پیامدهای زیاده‌روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفری. نشریه خاک و آب ۱۲(۴): ۱-۱۴.

۵. کوهکن، ه. ۱۳۸۴. تأثیر بور و نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج، اسفناج و کلزا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

6. Ahmadi, M. 2010. Effect of zinc and nitrogen fertilizer rate on yield and yield components of oilseed rape (*Brassica napus L.*). Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci. 7(3): 259-264.

7. Araújo, A.P., M.G. Teixeira and D.L. Almeida. 1998. Variability of traits associated with phosphorus efficiency in wild and cultivated genotypes of common bean. Plant Soil 203: 173-182.

8. Barth, C.A. 2007. Rapeseed for human nutrition, present knowledge and future options. Proc. of the 12th Int. Rapeseed Cong., Sustainable Development in Cruciferous Oilseed Crops Production, 26-30 March, Wuhan, China, 5: 3-5.

9. Bernnan, R., M. Mason and G. Walton. 2000. Effect of nitrogen fertilizer on the concentrations of oil and protein in canola (*Brassica napus*) seed. J. Plant Nutr. 23: 339-348.

10. Bingham, F.T. and M.J. Garber. 1960. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 209-213.
11. Bremner, J.M. 1996. Total nitrogen. PP. 1085-1122. *In:* Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
12. Chamorro, A.M., L.N. Tamagno, R. Bezur and S.J. Sarandon. 2002. Nitrogen accumulation, partitioning and nitrogen-use efficiency in canola under different nitrogen availabilities. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33(3-4): 493-504.
13. Chen, G., F.Z. Nian, F.S. Xu and Y.H. Wang. 2005. Effect of boron and molybdenum on yield and quality of two rapeseed cultivars. Plant Nutr. Fert. Sci. 11: 243-247. (In Chinese).
14. Dell, B. and L.B. Huang. 1997. Physiological response of plants to low boron. Plant Soil 193: 103-120.
15. Dordas, C. 2006. Foliar boron application improves seed set, seed yield and seed quality of alfalfa. Agron. J. 98: 907-913.
16. Duan, H.Y., Y.H. Wang, F.S. Xu and H. Liu. 2001. Research on phosphorus efficiency of different *Brassica napus* L. cultivars. J. Huazhong Agric. Univ. 20: 241-245. (In Chinese with English abstract).
17. Fageria, N.K., R.J. Wright and V.C. Baligar. 1988. Rice cultivars evaluation for phosphorus use efficiency. Plant Soil 111: 105-109.
18. Ferran, J., A. Bonvalet and E. Casassas. 1987. New masking agents in the azomethine-H method for boron determination in plant tissues. Agrochimica 32: 171.
19. Goldberg, S. 1997. Reactions of boron with soils. J. Plant Soil 193: 35- 48.
20. Graciano, C., J.F. Goya, J.L. Frangi and J.J. Guiamet. 2006. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. Forest Ecol. Manage. 236: 202-210.
21. Grant, C.A. and L.D. Bailey. 1993. Fertility management in canola production. Can. J. Plant Sci. 73: 651-670.
22. Grewal, H.S., R.D. Graham and J. Stangoulis. 1998. Zinc-boron interaction effect in oilseed rape. J. Plant Nutr. 21: 2231-2243.
23. Hu, Y., X. Ye, L. Shi, H. Duan and F. Xu. 2010. Genotypic differences in root morphology and phosphorus uptake kinetics in *Brassica napus* under low phosphorus supply. J. Plant Nutr. 33(6): 889-901.
24. Huang, L.B., J. Pant, B. Dell and R.W. Bell. 2000. Effects of boron deficiency on anther development and floret fertility in wheat (*Triticum aestivum* L. 'Wilgoyne'). Ann. Bot. 85: 493-500.
25. Kandil, A.A., S.I. EL-Mahands and N.M. Mahrous. 1996. Genotypic and phenotypic variety heritability and interrelationship of some characters in oil seed rape. Can. J. Plant Sci. 65: 275-284.
26. Karamanos, R.E., T.B. Goh and T.A. Stonehouse. 2003. Canola response to boron in Canadian prairie soils. Can. J. Plant Sci. 83: 249-259.
27. Kuchtova, P. and J. Vasak. 1998. The effect of nitrogen and phosphorus fertilization and plant population on *Brassica campestris.* Field Crop Sci. 63: 93-103.
28. Kutcher, H.R., S.S. Malhi and K.S. Gill. 2005. Topography and management of nitrogen and fungicide affects diseases and productivity of canola. Agron. J. 97(2): 533-541.
29. Lickfett, T., B. Matthaus, L. Velasco and C. Mollers. 1999. Seed yield, oil and phytate concentration in the seeds of two oilseed rape cultivars as affected by different phosphorus supply. Eur. J. Agron. 11: 293-299.
30. Liu, H.L. 2001. Crops Quality Breeding. Hubei Science and Technology Press, Wuhan, China.
31. Liu, H., C. Hu, X. Sun, Q. Tan, Zh. Nie, J. Su, J. Liu and H. Huang. 2009. Interactive effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on grain yield and quality of *Brassica napus*. J. Food Agric. Environ. 7(3-4): 266-269.
32. Malhi, S. and K.S. Gill. 2004. Placement, rate and source of N, seed row spacing and seeding depth effects on canola production. Can. J. Plant Sci. 84: 719-729.
33. Malhi, S.S., M. Raza, J.J. Schoenau, A.R. Mermut, R. Kutcher, A.M. Johnson, and K.S. Gill. 2003. Feasibility of boron fertilization for yield, seed quality and B uptake of canola in northeastern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 83: 99-108.
34. Moradi, M.R., S.A. Siadat, H. Nadian and G. Fathi. 2008. Effect of nitrogen and boron on canola yield and yield components in Ahvaz, Iran. Inter. J. Agric. Res. 3(6): 415-422.
35. Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta 27: 31-36.
36. Myers, L.F., J. Lipsett and R. Kirchner. 1983. Response of rapeseed (*Brassica napus*) to phosphorus, boron and lime on an acid soil near Canberra. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husbandry 23(121): 172-177.
37. Nable, R.O., G.S. Banuelos and J.G. Paull. 1997. Boron toxicity. Plant Soil 193: 181-198.
38. Ni, J.J., P. Wu, A.C. Lou and Q.N. Tao. 1998. Rice seedling tolerance to phosphorus stress in solution culture and soil. Nutr. Cycl. Agroecosys. 51: 95-99.
39. Nuttal, W.F., H. Ukrainetz, J.W.B. Stewart and D.T. Spurr. 1987. The effect of nitrogen, sulfur and boron on yield and quality of rapeseed (*Brassica napus* L. and *B. Campestris L.*). Can. J. Soil Sci. 67: 545-559.

40. Ozturk, L., S. Eker, B. Torun and I. Cakmak. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. Plant Soil 269: 69-80.
41. Pritchard, F.M., H.A. Eagles, R.M. Norton, P.A. Salisbury and M. Nicolas. 2000. Environmental effects on seed composition of Victorian canola. Aust. J. Exp. Agric. 40: 679-685.
42. Pinkerton, A. 1991. Critical phosphorus concentrations in oilseed rape (*Brassica napus*) and Indian mustard (*Brassica juncea*) as affected by nitrogen and plant age. Aust. J. Exp. Agric. 31(1): 107-115.
43. Pollard, A.S., A.J. Parr and B.C. Loughman. 1977. Boron in relation to membrane function in higher plants. J. Expt. Bot. 28: 831-841.
44. Porter, P.M. 1993. Canola response to boron and nitrogen grown on the southeastern coastal plain. J. Plant Nutr. 16: 2371-2381.
45. Rashid, A., E. Rafique and N. Bughio. 1994. Diagnosing boron deficiency in rapeseed and mustard by plant analysis and soil testing. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 2883-2897.
46. Senamrayaka N. 1984. Varietal tolerance to phosphorus deficiency in wetland rice soils. Trop. Agric. 140: 69-78.
47. Shane, M.W. and H. Lambers. 2005. Cluster roots: A curiosity in context. Plant Soil 274: 101-125.
48. Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. Plant Soil 193:121-148.
49. Stangoulis, J.C.R., H.S. Grewal, R.W. Bell and R.D. Graham. 2000. Boron efficiency in oilseed rape: I. Genotypic variation demonstrated in field and pot grown *Brassica napus* L. and *B. juncea* L. Plant Soil 225: 243-251.
50. Yang, M., L. Shi, F.S. Xu, J.W. Lu and Y.H. Wang. 2009. Effects of B, Mo, Zn, and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Pedosphere 19(1): 53–59.