

The effect of Planting Date and application of Chemical and Biological Nitrogen Fertilizers on Nutrient Uptake, Nitrogen Use Efficiency, Grain and Oil Yield of camelina (*Camelina sativa*) in the Eqlid region

Ali Momeni¹, Alireza Yadavi^{2*} , Ali Moradi³, Fatemeh Ebrahimi⁴

Received: 13 November, 2024

Accepted: 21 May, 2025

1- MSc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University

2-. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University

3- Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University

4- Ph.D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj

Corresponding Author E-mail: Yadavi@yu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: The aim of this study was to investigate the improvement of nutrient uptake and nitrogen efficiency indices in *Camelina* influenced by integrated nitrogen fertilizer management at different planting dates.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split-plot randomized complete block design with 3 replications in the Eqlid region. The main factor included nitrogen fertilizers at 4 levels (100% chemical) urea), 75% chemical + biofertilizer (*Azotobacter* and *Azospirillum*), 50% chemical + biofertilizer and no nitrogen). The secondary factor included planting date at 4 levels (September 11, September 26, April 9, and April 24). The Soheil cultivar of camelina was used. Nitrogen, phosphorus, potassium, iron, and zinc contents in leaves and seeds, seed oil and protein contents, grain, oil and protein yields, and nitrogen use, uptake, and harvest efficiencies were determined.

Results: The interaction between planting date and nitrogen fertilization was significant for most of the studied traits, whereas the interaction was not significant for phosphorus content in leaves and seeds or seed oil percentage. In most cases, the highest potassium, iron, and zinc contents were obtained from the September 26 planting date combined with 75% chemical nitrogen + biofertilizer. Delayed planting increased seed nitrogen and protein percentages but reduced grain, protein, and oil yields. The highest grain yield (2791.4 kg ha⁻¹) was obtained from the September 26 planting date with 75% chemical nitrogen + biofertilizer. The same treatment and planting date produced the highest protein yield (891 kg ha⁻¹). Application of 75% chemical nitrogen + biofertilizer also substantially increased grain yield compared with the non-fertilized treatment across the different planting dates. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake efficiency decreased significantly with increasing nitrogen application levels, whereas the combined application of 75% chemical nitrogen and biofertilizer improved nitrogen harvest efficiency. Seed oil percentage was highest on September 26 and lowest on April 24.

Conclusion: The results indicated that planting camelina on September 26 and applying 75% chemical nitrogen in combination with *Azotobacter* and *Azospirillum* biofertilizer improved nutrient uptake and increased grain, oil, and protein productivity under the conditions of this experiment, while allowing a reduction in chemical nitrogen fertilizer application. Therefore, the combination of September 26 planting and 75% chemical nitrogen + biofertilizer can be recommended for achieving desirable camelina productivity in the Eqlid region.

Keywords: Bio-fertilizer, Camelina, Oil, Protein, Yield



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2026 Alireza Yadavi E-mail: Yadavi@yu.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2025.64493.3310>



تأثیر زمان کاشت و کاربرد کود شیمیایی و زیستی نیتروژن بر جذب عناصر غذایی، شاخص‌های کارایی نیتروژن، عملکرد دانه و روغن کاملینا (*Camelina sativa*) در منطقه اقلید

علی مومنی^۱، علیرضا یدوی^{۲*}، علی مرادی^۳، فاطمه ابراهیمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱
--------------------------	-------------------------

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
 ۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
 ۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
 ۴- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

چکیده

مقدمه و اهداف: هدف از این تحقیق بررسی بهبود جذب عناصر غذایی و شاخص‌های کارایی نیتروژن گیاه کاملینا تحت تأثیر مدیریت تلفیقی کود شیمیایی و زیستی نیتروژن در تاریخ کاشت‌های مختلف بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه اقلید اجرا شد. عامل اصلی شامل کودهای نیتروژن در چهار سطح (۱۰۰ درصد شیمیایی (اوره)، ۷۵ درصد شیمیایی + کود زیستی (باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم)، ۵۰ درصد شیمیایی + کود زیستی نیتروژن و بدون کاربرد کود نیتروژن) بود. عامل فرعی شامل تاریخ کاشت در چهار سطح (۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت) بود. در این پژوهش رقم سهیل کاملینا مورد استفاده قرار گرفت. محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم‌مصرف آهن و روی در برگ و دانه، درصد و عملکرد روغن، درصد و عملکرد پروتئین، عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف، جذب و برداشت نیتروژن اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: اثر متقابل تاریخ کاشت و کود نیتروژن بر بیشتر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود، در حالی که این برهم‌کنش بر محتوای فسفر برگ و دانه و درصد روغن دانه معنی‌دار نشد. بیشترین محتوای پتاسیم، آهن و روی در اغلب موارد در تاریخ کاشت ۴ مهر و با کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن به همراه کود زیستی حاصل شد. با تأخیر در تاریخ کاشت، درصد نیتروژن و پروتئین دانه افزایش یافت، اما عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و عملکرد روغن کاهش پیدا کرد. بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۴ مهر و تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژن، به میزان ۲۷۹۱/۴ کیلوگرم در هکتار، به دست آمد. همچنین بیشترین عملکرد پروتئین در همین تاریخ کاشت و تیمار، ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار بود. در تاریخ‌های کاشت ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت، کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی به ترتیب موجب افزایش قابل توجه عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن با افزایش سطح مصرف نیتروژن کاهش یافت، در حالی که کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی همراه با کود زیستی موجب بهبود شاخص برداشت نیتروژن شد. همچنین بیشترین درصد روغن دانه در تاریخ کاشت ۴ مهر و کمترین آن در تاریخ کاشت ۴ اردیبهشت مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تاریخ کاشت ۴ مهر و کاربرد ۷۵ درصد نیتروژن شیمیایی همراه با کود زیستی حاوی *Azospirillum* و *Azotobacter*، در شرایط آزمایش، ضمن افزایش عملکرد دانه، روغن و پروتئین و بهبود جذب عناصر

غذایی، امکان کاهش مصرف کود نیتروژن شیمیایی را فراهم می‌کند. بنابراین، استفاده تلفیقی از ۷۵ درصد کود نیتروژن شیمیایی به همراه کود زیستی در تاریخ کاشت ۴ مهر می‌تواند برای دستیابی به عملکرد مطلوب کاملینا در منطقه اقلید توصیه شود.

واژه های کلیدی: پروتئین، روغن، عملکرد، کاملینا، کود زیستی

مقدمه

کاملینا (*Camelina sativa*) از گیاهان دانه روغنی یکساله از تیره کلمیان می‌باشد (یانتای و همکاران، ۲۰۱۵). این گیاه مصارف خوراکی، درمانی و صنعتی فراوانی مانند تولید سوخت موتور جت و تهیه مواد آرایشی بهداشتی دارد. دوره رشدی کاملینا بین ۸۵ تا ۱۰۰ روز می‌باشد و بهترین آب و هوا برای رشد آن، نیمه خشک و سرد بوده و توانایی رشد در خاک‌های مختلف را دارد (زارعی و همکاران ۲۰۲۱).

یکی از عوامل مهم در تولید کاملینا تعیین تاریخ کاشت می‌باشد، زیرا با تأثیر بر شرایط رشدی در مراحل رشد زایشی و پر شدن دانه می‌تواند بر تغییر محتوای روغن این گیاه اثر گذارد (احمدیان کوشک قاضی و همکاران ۲۰۲۱). به گزارش کارخاس و همکاران (۲۰۱۳)، افزایش دما در مراحل گلدهی و رسیدگی باعث کاهش محتوای روغن در کاملینا می‌شود. با توجه به اینکه طول دوره‌های رشد رویشی و زایشی گیاه مرتبط با دما، طول روز و میزان تشعشعات خورشیدی در تاریخ‌های کاشت مختلف متفاوت می‌باشد، از این رو تاریخ کاشت با تأثیر بر دوره‌های رشد رویشی و زایشی گیاه نقش مؤثری در سرعت نمو، تجمع ماده خشک و در نهایت عملکرد گیاهان می‌گذارد (پاولیستا و همکاران ۲۰۱۱). احمدیان کوشک‌قاضی و مدون دوست (۲۰۲۲) با بررسی اثر تاریخ کاشت پاییزه (۱۰، ۲۰ و ۳۰ آبان) و زمستانه (اول، ۱۰ و ۲۰ اسفند) روی گیاه کاملینا در منطقه فسا، بیشترین عملکرد دانه (۲۳۷۳) و عملکرد روغن (۶۲۱) کیلوگرم در هکتار) را در تاریخ کاشت ۱۰ آبان ماه مشاهده کردند. ریگینی و همکاران (۲۰۱۹) با مقایسه اثر تاریخ کاشت پاییزه و بهار روی کاملینا در ایتالیا گزارش کردند در کاشت پاییزه به دلیل آنکه مراحل گلدهی و پر شدن دانه در دماهای پایین‌تر اتفاق افتاد، درصد روغن دانه افزایش

یافت. یعقوبی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی بر گیاه کاملینا در منطقه اهواز مشاهده نمودند تغییر در تاریخ کاشت از ۸ آبان به ۲۵ آذر از جمله عوامل مؤثر بر اجزای عملکرد بود و با تأثیری که بر برخورد مراحل حساس گیاه با دماهای بالا داشت و همچنین کوتاه کردن طول دوره رشد، پر شدن دانه و تشکیل خورجینیک را تحت تأثیر قرار داد و در نهایت کاهش عملکرد را در برداشت. کاملینا جهت دستیابی به حداکثر رشد و عملکرد، نیاز فراوانی به نیتروژن دارد ولی عکس‌العمل کاملینا به کود به شرایط محیطی از جمله شرایط آب و هوایی منطقه، نوع خاک، رطوبت خاک و ژنوتیپ بستگی دارد (جانکوسکی و همکاران ۲۰۱۹). کمبود نیتروژن بر رشد و نمو گیاه تأثیر عمیقی دارد و ممکن است در مواردی موجب از دست رفتن کل عملکرد دانه گردد. نیاز کاملینا به نیتروژن به میزان قابل توجهی بیشتر از مقداری است که در بیشتر خاک‌ها بصورت طبیعی تأمین می‌شود؛ بنابراین استفاده از کودهای نیتروژن‌دار برای تولید عملکرد بهینه کاملینا ضروری است (بختیاری و همکاران ۲۰۱۶). در مطالعه‌ای دیگر مشاهده شد کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب افزایش عملکرد دانه و درصد پروتئین بذر در کاملینا شد اما از درصد روغن دانه کاسته شد (چرنیک و همکاران ۲۰۱۷).

کارآیی مصرف نیتروژن عامل بسیار مهمی در مدیریت نیتروژن برای تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود (جانکوسکی و همکاران ۲۰۱۹). محققین بیان کردند که کودهای نیتروژنه توسط گیاه به صورت مؤثر استفاده نمی‌شود و کارآیی مصرف آن‌ها پایین است. آن‌ها پایین بودن کارآیی مصرف نیتروژن را به دلیل هدر رفت آن از طریق آبشویی، تصعید آمونیاک، رواناب سطحی و غیره دانستند (لی و همکاران ۲۰۲۳). نتایج پژوهشی روی گیاه کلزا نشان داد که افزایش مصرف

دانه و شاخص‌های کارایی نیتروژن گیاهان روغنی مؤثر است، لذا تعیین دقیق زمان کاشت و میزان نیاز غذایی نیتروژن اولین قدم در ارتباط با کاشت یک گیاه زراعی است. بنابراین تحقیق حاضر جهت بررسی جذب عناصر غذایی پرمصرف و شاخص‌های کارایی نیتروژن کاملینا تحت تأثیر مدیریت کود نیتروژنه در تاریخ کاشت‌های مختلف صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ پژوهشی در ایستگاه تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی شهرستان اقلید از استان فارس با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه و ارتفاع ۲۳۷۵ متر از سطح دریا صورت گرفت. پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. عامل اصلی شامل کاربرد باکتری‌های ازتوباکتر و ازوسپریلیوم و کود نیتروژنه در ۴ سطح (۱۰۰ درصد نیتروژن شیمیایی، ۵۰ درصد نیتروژن شیمیایی+ کود زیستی (باکتری‌های ازتوباکتر و ازوسپریلیوم)، ۷۵ درصد نیتروژن شیمیایی+ کود زیستی (باکتری‌های ازتوباکتر و ازوسپریلیوم) و عدم مصرف کود نیتروژنه (شاهد) بود. عامل فرعی آزمایش شامل زمان‌های مختلف کاشت در چهار سطح (۲۰ شهریور ماه، ۴ مهر ماه، ۲۰ فروردین ماه و ۴ اردیبهشت ماه) بود. رقم مورد استفاده، سهیل، از ارقام زمستانه مناسب مناطق معتدل سرد و سرد بود. در مرحله‌ی آماده‌سازی زمین، نمونه‌های مرکب از خاک مزرعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی تهیه شد و نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) ارائه شده است. اطلاعات داده‌های هواشناسی در قالب میانگین درجه حرارت و مجموع بارندگی ماهانه در فصول رویش گیاه از ایستگاه هواشناسی نزدیک به محل آزمایش به‌دست آمد (جدول ۲).

کود نیتروژن، موجب کاهش کارایی استفاده از نیتروژن گردید و بیشترین کارایی استفاده از نیتروژن از تیمار عدم مصرف کود به‌دست آمد (ژان و همکاران ۲۰۲۳). میزان شاخص برداشت نیتروژن در افزایش عملکرد کمی و کیفی کاملینا است. پژوهشگران نشان دادند که با افزایش مصرف کود نیتروژن، میزان شاخص برداشت نیتروژن ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. به طوری که میزان شاخص برداشت نیتروژن در سطوح کودی ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۴۰/۲۵، ۴۹/۱۰ و ۳۲/۲۱ درصد بود (لو و همکاران ۲۰۲۳).

کاربرد کودهای زیستی نیتروژنه مانند باکتری‌هایی از جنس *Azospirillum* و *Azotobacter* همراه با کودهای شیمیایی نیتروژن با تثبیت نمودن نیتروژن موجود در هوا و متعادل کردن جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه موجب افزایش شاخص‌های کارایی مصرف کودهای نیتروژنه و همچنین کاهش تلفات آن می‌شود (حسینی و همکاران ۲۰۱۹). صفری و همکاران (۲۰۲۳) مشاهده کردند با کاربرد همزمان کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژنه درصد عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش و به‌دنبال آن عملکرد دانه گیاه کلزا نیز نسبت به شاهد افزایش یافت. پژوهشگران دیگری نیز اظهار نمودند استفاده از کودهای زیستی نیتروژنه به دلیل افزایش توسعه ریشه و افزایش جذب نیتروژن سبب افزایش شاخص برداشت و کارایی جذب نیتروژن در گیاه کلزا می‌شود (وژان و همکاران ۲۰۱۶). نتایج حاصل از تحقیق قنبری و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد کاربرد کود زیستی ازتوباکتر موجب افزایش ۴/۷۳ درصدی نیتروژن دانه و ۳۲/۴ درصدی عملکرد روغن در گیاه سویا شد. در پژوهشی دیگر روی گیاه گلرنگ مشاهده شد کاربرد باکتری‌های *Azospirillum* و *Azotobacter* بیشترین درصد روغن (۶/۵۰ درصد) و درصد پروتئین دانه (۱۶/۵۴ درصد) را ایجاد نمودند (شهرکی و همکاران ۲۰۱۶).

از آنجایی که زمان دقیق کاشت و میزان مناسب نیتروژن مصرفی بر میزان جذب عناصر غذایی، عملکرد

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

اسیدیته	نیتروژن (%)	فسفر (mg.kg^{-1})	پتاسیم (mg.kg^{-1})	کربن آلی (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک
۸/۲۳	۰/۱۴	۱۰	۳۰۶	۱/۴۸	۴۸	۳۴	۱۸	لوم سیلتی

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش

تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور
۳۶	۳۴	۲۷	۲۴	۱۹	۱۳	۱۰	۱۷	۲۳	۲۹	۱۶/۷
میانگین دما (oC)										
۰	۳	۱۷	۱/۵	۲	۱۳/۵	۳۹/۵	۱۵	۸	۰	۰
مجموع بارندگی (mm)										

هر کرت فرعی آزمایش به طول ۵ متر و عرض ۲ متر و چهار پشته بود که فاصله‌ی پشته‌ها ۵۰ سانتی‌متر و روی پشته‌ها دو ردیف کشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر جهت ایجاد تراکم ۱۲۰ بوته در متر مربع صورت گرفت. فاصله‌ی بذرها روی ردیف کاشت ۶/۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله‌ی کرت‌های فرعی ۶۰ سانتی‌متر، فاصله‌ی کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و فاصله‌ی تکرارها از یکدیگر ۳ متر بود. کود نیتروژن از منبع اوره با داشتن ۴۶ درصد نیتروژن به صورت سرک (مجموعاً ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار برای تیمار ۱۰۰ درصد، ۱۸۷ کیلوگرم اوره در هکتار برای تیمار ۷۵ درصد و ۱۲۵ کیلوگرم اوره در هکتار برای تیمار ۵۰ درصد) استفاده شد، به‌گونه‌ای که یک سوم آن قبل از کشت، یک سوم در مرحله ۶ تا ۸ برگی و یک سوم دیگر در مرحله ساقه‌دهی کاملینا به کرت‌های مربوط به هر تیمار اضافه شد. همچنین کود سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با کود فسفره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل) در شیار ایجاد شده هنگام کاشت اعمال شد. در تیمار دارای کود زیستی، بذور کاملینا با کود زیستی تهیه شده از مؤسسه آب و خاک کرج بذر مال (تلقیح) و سپس کشت شدند. باکتری‌های مورد استفاده در کود زیستی نیتروژنه شامل *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp. با تراکم سلولی 5×10^7 CFU/ml و مقدار مصرف کود ۲ سی‌سی در لیتر بود. روی ردیف‌های کاشت بذور در عمق کمتر از ۱ سانتی‌متر و در تاریخ‌های کاشت مختلف کشت شد و اولین آبیاری (به‌صورت غرقابی) بلافاصله بعد از کشت و سایر

آبیاری‌ها تا زمان استقرار بوته‌ها هر ۴ روز یکبار بود. در ادامه فصل رشد آبیاری‌ها به‌صورت هفتگی ادامه یافت. عملیات دفع علف‌های هرز به صورت وجین دستی سه مرتبه در طی مراحل مختلف رشد گیاه انجام گرفت. اندازه‌گیری عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کم مصرف (آهن و روی) از برگ در مرحله گلدهی (BBCH 51) و از دانه در مرحله رسیدگی (BBCH 88) انجام گرفت. همچنین جهت محاسبه شاخص های کارایی نیتروژن، در مرحله رسیدگی، میزان نیتروژن اندام هوایی نیز اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری نیتروژن به وسیله دستگاه کج‌دال مدل Gerhardt-VAPOEST300 (برمنر، ۱۹۹۶) انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری درصد فسفر از روش امامی (۱۹۹۶) استفاده شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل SHIMADZO 54A قرائت شد. برای سنجش درصد پتاسیم از روش پیترسون و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل JENWAY-PFP7 تعیین شد. محتوای آهن و روی با جذب اتمی مدل هیتاچی ژاپن-Z2300 تعیین شد (چپمن و پرات، ۱۹۶۱). برای تعیین عملکرد دانه دو مترمربع از هر واحد آزمایش با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. درصد روغن دانه به‌وسیله دستگاه سوکسله با استفاده از پترولیوم اتر از روش جانسون و اولریش (۱۹۵۹) اندازه‌گیری شد و از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد روغن به دست می‌آید. درصد پروتئین دانه، از طریق حاصل‌ضرب درصد نیتروژن دانه گیاه در عدد ۶/۲۵، محاسبه شد (امامی، ۱۹۹۶) و از حاصل‌ضرب عملکرد

تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش کود نیتروژنه و تاریخ کاشت در سطح احتمال خطای یک درصد بر شاخص برداشت نیتروژن در کاملینا معنی‌دار شد (جدول ۶).

محتوای نیتروژن برگ و دانه

با تأخیر در کاشت به محتوای نیتروژن برگ کاملینا افزوده شد و در هر چهار تاریخ کاشت بیشترین مقدار این صفت از تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و کم‌ترین آن نیز از تیمار شاهد حاصل شد. همچنین مشاهده شد در هر چهار تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی وجود ندارد که این نشان‌دهنده آن است که می‌توان با کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژنه همراه با کود زیستی نیتروژنه از کاربرد ۲۵ درصد کود شیمیایی صرف نظر نمود (شکل ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین محتوای نیتروژن دانه در بین تاریخ کاشت‌ها به تاریخ کاشت ۴ اردیبهشت تعلق داشت. بیشترین درصد نیتروژن دانه در تاریخ‌های کاشت ۲۰ شهریور، ۴ مهرماه، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت به ترتیب با میانگین‌های ۳۴/۵، ۳۲/۹، ۴۴/۵ و ۵۰/۹ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و کم‌ترین محتوای نیتروژن دانه به ترتیب با میانگین‌های ۳۰/۹، ۳۰/۱، ۳۵/۳ و ۴۳/۷ میلی‌گرم بر گرم متعلق به تیمار شاهد بود (شکل ۲).

نیتروژن اولین عنصری است که در دانه ذخیره می‌شود. تأخیر در کاشت باعث کوتاه شدن دوره‌ی پرشدن دانه و افزایش مقدار ذخیره نیتروژن و همچنین باعث افزایش نسبت نیتروژن به کربن در گیاه می‌گردد (صف‌آرا و همکاران ۲۰۱۶). بیشتر بودن درصد نیتروژن در تاریخ کاشت دیر هنگام نسبت به تاریخ کاشت زود هنگام را، می‌توان مرتبط با کاهش طول دوره رشد و نمو در فصل کاشت دیر هنگام دانست که موجب کاهش نسبت کربوهیدرات‌ها به پروتئین و در نتیجه، افزایش درصد پروتئین دانه شده است (کریمی و همکاران ۲۰۱۷). نلیا و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی بر گیاه سویا مشاهده نمودند با تأخیر در کاشت، درصد نیتروژن دانه افزایش یافت.

دانه در درصد پروتئین دانه، عملکرد پروتئین به دست آمد. شاخص‌های مختلف کارایی نیتروژن از جمله کارایی مصرف نیتروژن (رابطه ۱)، کارایی جذب نیتروژن (رابطه ۲) و شاخص برداشت نیتروژن (رابطه ۳) با استفاده از روابط پیشنهادی توسط بینگهام و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد:

$$NUE = \frac{Wg}{Nf} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$N_{Upt}E = \frac{Ng}{Nf} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$NHI = \frac{Wg}{Nt} \times 100 \quad \text{رابطه ۳:}$$

NUE کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)؛ Wg: وزن دانه بر حسب کیلوگرم بر هکتار و Nf: مقدار نیتروژن مصرفی به صورت کود بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. $N_{Upt}E$ کارایی جذب نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)؛ Ng: کل نیتروژن جذب شده توسط دانه (کیلوگرم) می‌باشد. NHI شاخص برداشت نیتروژن (درصد) و Nt: کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم) می‌باشند. در نهایت تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.2 انجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD در سطح ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش فاکتورهای آزمایشی، برش‌دهی بر روی تاریخ کاشت انجام و مقایسه میانگین‌های سطوح کود نیتروژنه در هر سطح تاریخ کاشت با استفاده از رویه L.S.Means انجام شد. جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

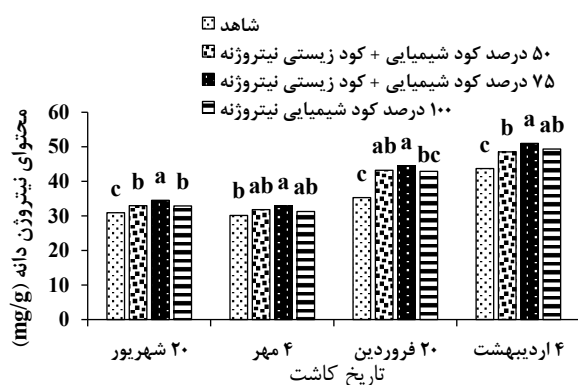
اثر تیمارهای کود نیتروژنه، تاریخ کاشت و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر درصد نیتروژن برگ، پتاسیم برگ، پتاسیم دانه، آهن برگ، آهن، محتوای روی برگ و درصد پروتئین دانه، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و روغن دانه معنی‌دار شد و در سطح احتمال پنج درصد بر درصد نیتروژن دانه و محتوای روی دانه معنی‌دار شد اما برهم‌کنش کود نیتروژنه و تاریخ کاشت بر درصد فسفر برگ، درصد فسفر دانه و درصد روغن دانه معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج جدول ۵ نشان از معنی‌داری اثر تیمارهای کود نیتروژنه، تاریخ کاشت و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر کارایی جذب نیتروژن دانه، کارایی مصرف نیتروژن دارد. نتایج

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود نیتروژنه و تاریخ کاشت بر برخی از صفات مورد بررسی در کاملینا

منابع تغییر	درجه آزادی	نیروژن برگ	نیروژن ن دانه	فسفر برگ	فسفر دانه	پتاسیم برگ	پتاسیم دانه	آهن برگ	آهن دانه	روی برگ	روی دانه	درصد پروتئین دانه	درصد روغن دانه	عسلکرد دانه	عسلکرد پروتئین دانه
تکرار	۲	۸/۴۷	۱/۹۶	۲/۲۹	۶/۶۰	۳/۱۷	۱۱/۱۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۴	۳/۳۱	۲/۲۳	۱۵۵۰۷	۴۳۰۲
کود	۳	۷۱۷۳ ^{***}	۵۶۱۶ [*]	۱۷/۰۶ ^{***}	۴۸۱۷ ^{***}	۱۶۳۱۷ ^{***}	۷۹۶۲۵ ^{***}	۰/۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۴ ^{***}	۲۸/۰۳ ^{***}	۳۰۲/۵۶ ^{***}	۲۲۲۸۴۸۱ ^{***}	۱۹۹۴۳ ^{***}
نیروژنه															
خطای اصلی	۶	۱/۹۵	۰/۹۳	۰/۵۵	۱/۶۰	۰/۵۲	۳/۶۹	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۵	۰/۷۷	۳/۳۶	۳۳۵۲۵	۲۳۳۲
تاریخ کاشت	۳	۷۳۰/۸۱ ^{***}	۱/۷۷ ^{***}	۵۲/۱۶ ^{***}	۱۵۵/۱۶ ^{***}	۲۱۲۲/۸ ^{***}	۵۷۶/۷۵ ^{***}	۰/۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۶ ^{***}	۰/۰۰۵ ^{***}	۰/۰۰۸ ^{***}	۲۸۵/۴۴ ^{***}	۱۸۰/۰۵ ^{***}	۳۹۱۷۴۷ ^{***}	۵۵۵۲۳۲ ^{***}
تاریخ کاشت × کود	۹	۶/۹۲ ^{***}	۱/۴۵ [*]	۰/۳۳ ^{NS}	۰/۹۳ ^{NS}	۱۶/۶۴ ^{***}	۶۲/۷۷ ^{***}	۰/۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۳ ^{***}	۰/۰۰۴ ^{***}	۰/۰۰۲ [*]	۲/۷۰ ^{***}	۲/۱۵ ^{NS}	۲۱۶۶۵۱ ^{***}	۲۱۸۱۳ ^{***}
نیروژنه															
خطای فرعی	۲۴	۱/۲۹	۰/۴۷	۰/۶۹	۲/۰۰	۰/۸۴	۱/۵۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۲/۴۲	۱۹۳۱۰	۱۹۰۶
ضرب تخطات (%)		۲/۹۵	۲/۱۶	۷/۱۷	۶/۳۴	۹/۴۱	۷/۴۱	۲/۸۳	۶/۳۴	۶/۶۹	۴/۵۹	۲/۸۵	۱/۵۵	۱۰/۲۲	۱۷/۲۸

NS و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار، معنی داری در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد را نشان می دهد.

شدن این عنصر در خاک و بهبود جذب توسط گیاه نسبت داد. کاربرد کود نیتروژن مقدار واردات نیتروژن را از قسمت‌های رویشی به دانه در مقایسه با کربوهیدرات‌ها افزایش می‌دهد و باعث افزایش نیتروژن دانه می‌گردد. (راستگو و همکاران ۲۰۱۳). مصرف کود زیستی در کنار کود شیمیایی نیتروژن می‌تواند با اثرگذاری مثبت خود بر تثبیت زیستی نیتروژن تولید هورمون‌های رشد و افزایش میزان جذب و دسترسی به آب و مواد غذایی، موجب افزایش نیتروژن در اندام هوایی و دانه شود (پدرازا و همکاران ۲۰۰۹).



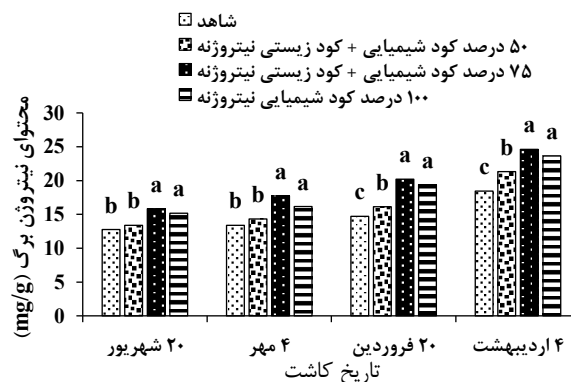
شکل ۲- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای نیتروژن دانه کاملینا

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح تاریخ کاشت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

اردیبهشت به ترتیب اختلاف ۱۹/۷، ۲۸/۴ و ۳۲/۹ درصدی نشان داد (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین محتوای فسفر دانه (۲۴/۹ میلی‌گرم بر گرم) از تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژن و کمترین محتوای فسفر دانه (۱۰/۳ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) بود (جدول ۳). بیشترین محتوای فسفر دانه (۲۷/۳ میلی‌گرم بر گرم) از تاریخ کاشت ۴ مهر و کمترین آن نیز (۱۷/۲ میلی‌گرم بر گرم) نیز مربوط به تاریخ کاشت ۴ اردیبهشت بود (جدول ۴). معمولاً با افزایش دما، قابلیت استفاده از فسفر معدنی کاهش می‌یابد و در دماهای مطلوب محیط (نه خیلی زیاد)، فعالیت متابولیکی ریشه‌ها

کاکابوکی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که محتوای نیتروژن زیست توده ذرت با افزایش مصرف کود افزایش پیدا کرد. همچنین با توجه به این که میزان نیتروژن اندام هوایی از حاصلخیز غلظت نیتروژن و ماده‌ی خشک تولیدی آن در واحد سطح به دست می‌آید، بنابراین، افزایش مصرف کود نیتروژن با افزایش ماده خشک تولیدی کاملینا در واحد سطح منجر به افزایش نیتروژن اندام هوایی کاملینا شد. افزایش نیتروژن دانه در سطوح بیشتر کود شیمیایی را می‌توان به افزودن کودهای شیمیایی مخصوصاً نیتروژن به خاک مزرعه و فراهم



شکل ۱- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای نیتروژن برگ کاملینا

از سوی دیگر، افزایش طول و تراکم تارهای کشنده ریشه در اثر نیتروژن، باعث افزایش سطح تماس ریشه با خاک و بهبود کارایی جذب فسفر شده است (مارشدر ۲۰۱۲). همچنین، کود زیستی نیتروژنه از طریق فعالیت میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاهی (PGPR)، جذب فسفر را افزایش داده است. باکتری‌های موجود در این کود، از جمله *Azospirillum* sp. و *Azotobacter* sp. با ترشح تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند اکسین و جیبرلین، توسعه سیستم ریشه‌ای را تحریک کرده و دسترسی گیاه به فسفر را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، برخی از این ریزجانداران، اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز را ترشح می‌کنند که باعث حل‌شدن فسفر معدنی تثبیت‌شده در خاک و افزایش قابلیت جذب آن توسط گیاه می‌شود (بختیاری و همکاران ۲۰۱۶).

از نظر تأثیر تاریخ کاشت بر جذب فسفر، نتایج نشان داد که بالاترین مقدار فسفر برگ و دانه در تاریخ کاشت ۴ مهر مشاهده شد، در حالی که سایر تاریخ‌های کاشت (۲۰ شهریور، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت) به‌طور معنی‌داری مقادیر کمتری از فسفر را نشان دادند. این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط محیطی، به‌ویژه دمای خاک و هوا باشد. در دماهای بسیار بالا یا بسیار پایین، فعالیت متابولیکی ریشه‌ها کاهش یافته و عملکرد پمپ‌های انتقال فسفر در غشای سلولی مختل می‌شود (مارشدر ۲۰۱۲). بنابراین، در تاریخ‌های کاشت نامناسب، که دمای خاک خارج از محدوده بهینه برای جذب فسفر است، میزان فسفر اندام هوایی و دانه کاهش یافته است.

افزایش می‌یابد، که می‌تواند جذب فسفر را تقویت کند. این امر به دلیل افزایش تولید ATP و بهبود عملکرد پمپ‌های فعال انتقال فسفر است. از این‌رو با توجه به کمتر بودن فسفر اندام هوایی و دانه در تاریخ‌های کاشت ۲۰ شهریور، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت نسبت به تاریخ کاشت ۴ مهر می‌توان به بیشتر بودن دمای محیط (جدول ۲) ارتباط داد و بنابراین ذخیره فسفر در گیاه نیز کمتر شده است (کریمی جلیله‌وندی و همکاران ۲۰۱۷).

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و زیستی نیتروژنه، تأثیر مثبتی بر افزایش جذب فسفر در برگ و دانه داشته است. بالاترین محتوای فسفر برگ و دانه در تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه به‌دست آمد، که نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی این دو منبع تأمین نیتروژن در بهبود جذب فسفر است. این یافته‌ها با نتایج گزارش‌شده در مطالعات پیشین همخوانی دارد، که نشان داده‌اند ترکیب کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند به توسعه بهتر سامانه ریشه‌ای و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی منجر شود (راستگو و همکاران ۲۰۱۳).

افزایش جذب فسفر در شرایط کوددهی تلفیقی را می‌توان به چندین مکانیسم فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نسبت داد. ابتدا، افزایش سطح برگ و بهبود فرایند فتوسنتز در اثر کاربرد کود نیتروژنه، موجب افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها شده که بخشی از آن‌ها به ریشه اختصاص یافته است. در نتیجه، رشد ریشه افزایش یافته و قابلیت گیاه برای جذب فسفر از خاک بهبود یافته است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و تاریخ کاشت برای محتوای فسفر برگ و دانه کاملینا

عامل‌های آزمایش	محتوای فسفر برگ (mg.g ⁻¹)	محتوای فسفر دانه (mg.g ⁻¹)	روغن دانه (%)
کود نیتروژنه شاهد	۱۰/۳۲ ^b	۲۰/۱۰ ^b	۲۹/۴۰ ^a
۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه	۱۰/۹۷ ^b	۲۱/۱۹ ^b	۲۶/۲۰ ^b
۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه	۱۲/۹۲ ^a	۲۴/۴۹ ^a	۱۸/۴۷ ^d
۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه	۱۲/۳۱ ^a	۲۳/۴۵ ^a	۲۰/۵۷ ^c
تاریخ کاشت			
۲۰ شهریور	۱۱/۷۱ ^b	۲۲/۴۷ ^b	۲۵/۳۴ ^b
۴ مهر	۱۴/۵۸ ^a	۲۷/۳۱ ^a	۲۸/۱۶ ^a
۲۰ فروردین	۱۰/۴۴ ^c	۲۰/۲۸ ^c	۲۱/۷۷ ^c
۴ اردیبهشت	۹/۷۸ ^c	۱۹/۱۷ ^c	۱۹/۳۷ ^d

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری براساس آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشد.

محتوای پتاسیم برگ و دانه

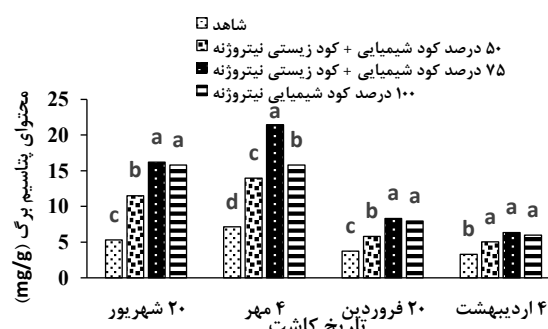
نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کشت و نیتروژن حاکی از آن است که در تاریخ کاشت‌های ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت ماه بیشترین محتوای پتاسیم برگ از تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه حاصل شده و تیمار شاهد دارای کمترین محتوای پتاسیم برگ بود (شکل ۳). مقایسه میانگین سطوح کود نیتروژنه در هر سطح تاریخ کاشت نشان داد با تأخیر در تاریخ کاشت از محتوای پتاسیم دانه کاسته شد و تاریخ کاشت ۴ مهرماه از نظر محتوای پتاسیم دانه نسبت به دیگر تاریخ‌های کشت برتری داشت. تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه در تاریخ‌های کاشت ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت به ترتیب با میانگین‌های ۲۷/۱، ۴۰/۳، ۱۷/۲ و ۱۴/۶ میلی‌گرم بر گرم دارای بیشترین محتوای پتاسیم دانه بود که نسبت به تیمار شاهد محتوای پتاسیم دانه را به ترتیب ۷۲/۶، ۷۳/۳، ۶۶/۷ و ۶۵/۴ درصد افزایش داد (شکل ۴). این یافته‌ها با مطالعات پیشین همخوانی دارد که نشان می‌دهند تاریخ کاشت مناسب می‌تواند تأثیر بسزایی بر جذب عناصر غذایی، ازجمله پتاسیم، داشته باشد. پژوهشی که در مورد سویا انجام شد، نشان داد که تأخیر در تاریخ کاشت باعث کاهش جذب پتاسیم در دانه شده و این امر به دلیل کاهش رشد ریشه و کاهش کارایی جذب

عناصر غذایی است (نلیا و همکاران ۲۰۲۰). همچنین به بیان محققین یکی از دلایل افزایش جذب پتاسیم در تاریخ کاشت‌های مناسب‌تر، توسعه بهتر ریشه و افزایش حجم خاک در دسترس ریشه است. در گیاهان افزایش سطح برگ و شدت فتوسنتز در تاریخ‌های کاشت مناسب باعث افزایش تقاضا برای پتاسیم می‌شود، زیرا این عنصر نقش کلیدی در تنظیم فشار اسمزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها و انتقال محصولات فتوسنتزی دارد و در نتیجه میزان پتاسیم جذب شده در برگ نیز افزایش می‌یابد (پاشایی و همکاران، ۲۰۲۳).

گیاه کاملینا جهت افزایش سرعت انتقال نیتروژن از اندام رویشی به زایشی محتوای پتاسیم را در گیاه افزایش داده است تا بتواند شرایط مناسب رشد را برای خود فراهم کند. افزایش میزان نیتروژن بر روی جذب سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم اثر گذاشته و در مواردی موجب تشدید جذب عناصر غذایی می‌گردد (راستگو و همکاران ۲۰۱۳). کودهای زیستی نیتروژنه می‌توانند از طریق تولید پروتون، سیدروفورها و تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های فلزی در رهاسازی پتاسیم از کانی‌ها مؤثر باشند. کودهای زیستی علاوه بر در دسترس قرار دادن نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه، از طریق افزایش رشد رویشی گیاه و به دنبال آن توسعه ریشه باعث بهبود جذب و افزایش فراهمی پتاسیم می‌شوند (بختیاری و همکاران ۲۰۱۶).



شکل ۴- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای پتاسیم دانه کاملینا



شکل ۳- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای پتاسیم برگ کاملینا

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح تاریخ کاشت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

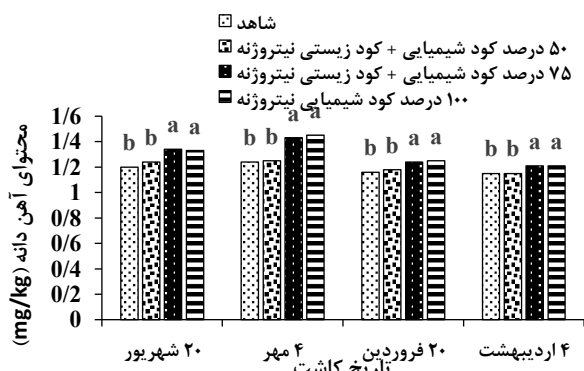
محتوای آهن برگ و دانه

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و کود نیتروژنه نشان داد در تاریخ کاشت‌های ۲۰ شهریور و ۴ مهر بیشترین محتوای آهن برگ (به ترتیب ۰/۹۱ و ۱/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و کمترین آن نیز از تیمار شاهد به دست آمد. اما در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نسبت به سایر تیمارها از محتوای آهن برگ بیشتری برخوردار بود (۰/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در تاریخ کاشت ۴ اردیبهشت نیز تیمارهای کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه از بیشترین محتوای آهن برگی (۰/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برخوردار بودند (شکل ۵).

مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و کود نیتروژنه نشان داد بیشترین محتوای آهن دانه در بین تاریخ کاشت‌ها، به تاریخ کاشت ۴ مهرماه مرتبط بود. در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه با میانگین ۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیشترین محتوای آهن دانه بود که با تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۶). در تاریخ کاشت‌های ۴ مهر و ۲۰ فروردین تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه به ترتیب با میانگین‌های ۱/۵ و ۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم از محتوای آهن دانه بیشتری برخوردار بودند که اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود

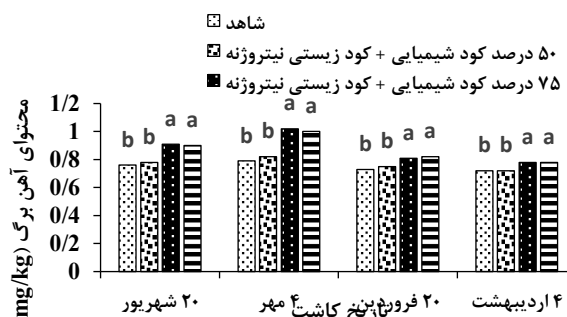
شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه نشان ندادند. در تاریخ کاشت ۴ اردیبهشت نیز تیمارهای ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه با میانگین ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین محتوای آهن دانه را نشان دادند (شکل ۶).

اثر تاریخ کاشت بر محتوای آهن برگ و دانه نشان می‌دهد که گیاه در واکنش به شرایط محیطی، راهبردهای تغذیه‌ای خود را تنظیم می‌کند. در تاریخ کاشت‌های زود هنگام (۲۰ شهریور و ۴ مهر)، دمای مناسب و شرایط رطوبتی مطلوب باعث افزایش فعالیت میکروبی و حل شدن بهتر آهن در خاک می‌شود (بای و همکاران ۲۰۲۳). در مقابل، در تاریخ‌های کاشت دیر هنگام (۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت)، به دلیل افزایش دما و کاهش رطوبت خاک، دسترسی گیاه به آهن کاهش یافته است. همچنین، در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین، برتری تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نشان می‌دهد که در شرایط محدودیت رطوبتی و کاهش فعالیت میکروبی، گیاه برای تأمین نیاز آهن خود بیشتر متکی به محلول‌پذیری مستقیم آهن در خاک شده است، که با افزایش کاربرد نیتروژن معدنی، دسترسی گیاه به آهن از طریق تغییر در pH خاک و افزایش رشد ریشه بهبود یافته است (مارشور ۲۰۱۲). پژوهشگران تأثیر نیتروژن در افزایش غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف مانند آهن در بخش هوایی گیاه را به دلیل تحریک رشد ریشه بر اثر مصرف نیتروژن و نیز افزایش فراهمی این عناصر در خاک ذکر کردند (بختیاری و همکاران ۲۰۱۶). در واقع افزایش مصرف کود



شکل ۶- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای آهن دانه کاملینا

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح تاریخ کاشت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.



شکل ۵- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای آهن برگ کاملینا

پتاسیم دانه بود که نسبت به تیمار شاهد محتوای روی دانه را به ترتیب ۲۲/۲، ۲۷/۵، ۱۵/۳ و ۱۲/۱ درصد افزایش داد (شکل ۸). بالا بودن دما موجب تنش در گیاه می‌گردد که این عامل سبب کاهش جذب عناصر غذایی مانند روی در گیاه می‌شود. شرایط نامساعد محیطی در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت بر جذب روی اثرگذار بوده و محتوای روی در این دو تاریخ کاشت کاهش یافته است. در پژوهش حاضر احتمالاً گیاه کاملاً در تاریخ کاشت ۴ مهر و پس از آن ۲۰ شهریور به علت مهیا بودن شرایط محیطی رشد بیشتری داشته و همین عامل موجب شده جهت جلوگیری از تنش آخر فصل محتوای روی را افزایش دهد.

تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی به همراه کود زیستی نیتروژنه در تمامی تاریخ‌های کاشت، بیشترین محتوای روی را در دانه نشان داد و این افزایش در تاریخ کاشت ۴ مهر به بیشترین مقدار خود رسید. این مسئله می‌تواند به چندین مکانیسم وابسته باشد. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد نیتروژن می‌تواند باعث افزایش طول و تراکم تارهای کشنده ریشه شده و در نتیجه، جذب عناصر غذایی مانند روی را بهبود بخشد (بختیاری و همکاران ۲۰۱۶). همچنین، نیتروژن از طریق کاهش pH خاک، باعث افزایش حلالیت روی و در دسترس‌پذیری آن برای جذب توسط گیاه می‌شود (لی و همکاران ۲۰۲۳). این مکانیسم، به‌ویژه در خاک‌هایی که از نظر روی فقیر هستند، اهمیت بیشتری دارد.

کودهای زیستی نیز نقش قابل‌توجهی در بهبود جذب عناصر غذایی ایفا می‌کنند. این کودها، که حاوی میکروارگانیسم‌های مفید مانند باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند، موجب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شده و در نهایت، جذب عناصر غذایی را تسهیل می‌کنند. این باکتری‌ها از طریق تثبیت نیتروژن و افزایش پایداری خاکدانه‌ها، باعث بهبود هدایت هیدرولیکی خاک شده و توسعه سیستم ریشه را تقویت می‌کنند (جهانشاهی و همکاران ۲۰۲۱). این امر نه تنها جذب آب، بلکه جذب عناصر ضروری مانند روی را نیز افزایش می‌دهد.

نتایج این پژوهش نشان داد که انتخاب تاریخ کاشت مناسب و مدیریت تغذیه‌ای می‌تواند نقش مهمی در بهبود

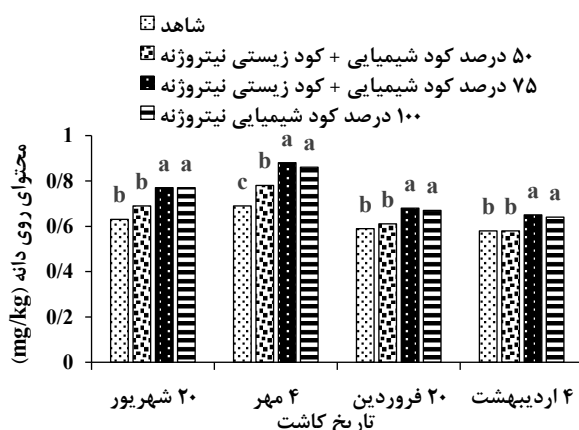
نیتروژنی در خاک سبب افزایش حجم ریشه و در نتیجه افزایش سطح تماس آن با خاک می‌شود. همچنین مشخص شده است که کود نیتروژنه در خاک موجب تولید آمونیوم می‌شود و پس از آن اکسیداسیون آمونیوم به تولید نیترات و آزاد شدن هیدروژن منجر می‌شود. یون هیدروژن نیز با اسیدی کردن محیط موجب افزایش دسترسی آهن برای گیاه می‌شود (لی و همکاران ۲۰۲۳). آسری و همکاران (۲۰۰۸) طی تحقیقی روی درخت انار گزارش کردند که تلقیح با تثبیت‌کننده‌های نیتروژن (ازتوباکتر) میزان جذب آهن را افزایش می‌دهد. میکروارگانیسم‌های ازتوباکتر و آزوسپریوم تولیدکننده هیدروژن سیانید می‌باشند. سیانید مناسب برای پیوند شدن با آهن است و یک کمپلکس یک لیگاند پایدار تولید می‌نماید لذا قادر است تحرک آهن را در ریزوسفر افزایش دهد.

محتوای روی برگ و دانه

نتایج حاصل مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و کود نیتروژنه حاکی از آن است که تاریخ کاشت ۴ مهر از محتوای روی برگ بیشتری برخوردار بود و از بین تیمارهای کودی مورد استفاده تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه نسبت به سایر تیمارها محتوای روی برگ را افزایش داد اما بین آن با تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در هر چهار تاریخ کاشت کم‌ترین محتوای روی برگ از تیمار کودی شاهد حاصل شد که در تاریخ کاشت‌های ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت اختلاف معنی‌داری با سطح کودی ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه نشان نداد (شکل ۷).

مقایسه میانگین سطوح کود نیتروژنه در هر سطح تاریخ کاشت (برهمکنش تاریخ کاشت و کود نیتروژن) نشان داد با تأخیر در تاریخ کاشت از محتوای روی دانه کاسته شد و تاریخ کاشت ۴ مهرماه از نظر محتوای روی دانه نسبت به دیگر تاریخ‌های کشت برتری داشت. تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه در تاریخ‌های کاشت ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت به ترتیب با میانگین‌های ۰/۷۷، ۰/۸۷، ۰/۶۸ و ۰/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیشترین محتوای

مقایسه میانگین اثر اصلی تاریخ کاشت نشان داد بیشترین درصد روغن دانه از تاریخ کاشت ۴ مهر (۲۸/۱۶ درصد) و کمترین آن از تاریخ کاشت ۴ اردیبهشت (۱۹/۳۷ درصد) حاصل شد که تأخیر در کاشت موجب کاهش ۳۱/۲۱ درصدی در درصد روغن دانه شد (جدول ۴). نتایج اثر اصلی کود نیتروژنه نیز نشان داد حداکثر درصد روغن دانه (۲۹/۴۰ درصد) از تیمار عدم کاربرد کود نیتروژنه و حداقل درصد روغن نیز (۱۸/۴۷ درصد) از کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه حاصل شد (جدول ۴).

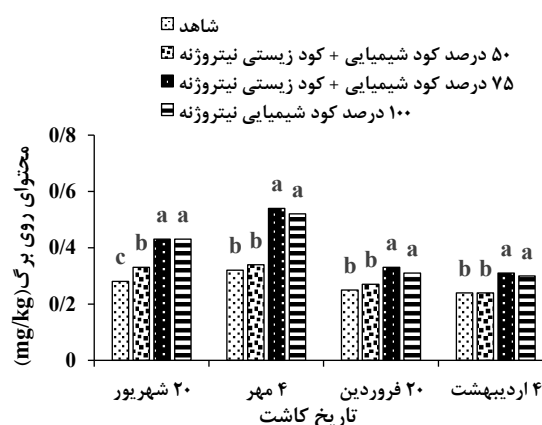


شکل ۸- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای روغن دانه کاملینا

از آنجایی که افزایش میزان پروتئین دانه رابطه مستقیم با افزایش مصرف نیتروژن دارد، به نظر می‌رسد که با افزایش مقدار نیتروژن، تشکیل پیش‌زمینه‌های پروتئینی نیتروژن‌دار، بیشتر شده و بنابراین تشکیل پروتئین در تهیه مواد فتوسنتزی بیشتر گشته و مواد دسترس برای سنتز اسیدهای چرب کاهش می‌یابد، در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری به تشکیل پروتئین اختصاص یافته و پتانسیل تولید روغن کاهش خواهد یافت. این عامل به‌طور مشخص در کلزا باعث کاهش میزان درصد روغن دانه می‌گردد (نوریانی ۲۰۱۵). در پژوهش نصراله‌زاده و احمد (۲۰۱۸) نتایج نشان داد که با افزایش مصرف کود اوره درصد روغن دانه کاهش

تغذیه گیاه داشته باشد. تاریخ کاشت ۴ مهر به دلیل شرایط مطلوب‌تر محیطی، بیشترین جذب روغن را در برگ و دانه داشت و تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه، کارآمدترین تیمار در افزایش محتوای روغن در گیاه بود. این یافته‌ها بر اهمیت استفاده از کودهای زیستی در کنار کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی تأکید دارد و نشان می‌دهد که مدیریت تغذیه‌ای مناسب می‌تواند نه تنها بهره‌وری گیاه را افزایش دهد، بلکه اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای معدنی را نیز کاهش دهد.

درصد روغن دانه



شکل ۷- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای محتوای روغن برگ کاملینا

تأخیر در کاشت سبب کوتاه شدن فصل رشد و فاصله گرفتن گیاه از شرایط مناسب رشد می‌شود. این عوامل باعث می‌شود که گیاه پتانسیل لازم جهت فرآیندهای متابولیک را نداشته باشد، در نتیجه سنتز متابولیت‌های اولیه و ثانویه در گیاه دچار اختلال شده و بر میزان روغن دانه اثر منفی می‌گذارد (محقق و ابوالطالبیان ۲۰۱۴). همچنین علت کاهش درصد روغن در تاریخ‌های کاشت آخر را می‌توان به دلیل افزایش درجه حرارت در مرحله پرشدن دانه‌ها و کاهش فتوسنتز خالص ذکر کرد. در این حالت، درصد کمتری از مواد ساخته شده و کربوهیدرات‌ها به روغن تبدیل می‌شوند (احمدیان کوشکقاضی و همکاران ۲۰۲۱).

یافته است (شکل ۱ و شکل ۲) و این عاملی برای افزایش درصد پروتئین دانه در تاریخ کاشت ۴ مهر و ۴ اردیبهشت می‌باشد.

از آنجایی که واحد ساختاری پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه هستند و با توجه به نقش اساسی نیتروژن در ساختمان اسیدهای آمینه، با کاربرد کود نیتروژن جذب و انتقال نیتروژن در گیاه نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه سبب افزایش پروتئین دانه می‌گردد (پانديارچ و همکاران ۲۰۱۵). افزایش درصد پروتئین دانه با فراهمی میزان بیشتر نیتروژن در طول پر شدن دانه مرتبط است (ربيعی و طوسی کهل ۲۰۱۱).

کود زیستی حاوی باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم می‌تواند با فراهم‌سازی ترکیبات، مواد هورمونی و ویتامین‌های محلول در آب، ایجاد حالت همکاری متقابل با سایر میکروارگانیسم‌ها و تولید ترکیبات اولیه مؤثر در بیوسنتز گلوکوزیدها و تجزیه آن‌ها به ترکیبات ثانویه مثل پروتئین نقش داشته باشد (حسینی و همکاران ۲۰۱۹). بحرانی و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند با توجه به اینکه ازتوباکتر و آزوسپریلیوم باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هستند و این عنصر ماده اولیه تشکیل‌دهنده پروتئین است، احتمالاً یکی از دلایل افزایش درصد پروتئین با کاربرد باکتری‌های آزوسپریلیوم و ازتوباکتر، تثبیت نیتروژن توسط این باکتری‌ها می‌باشد.

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد در تاریخ کاشت‌های ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژن به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۱۹۵/۶، ۲۷۹۱/۴، ۱۴۲۹/۷ و ۱۳۷۸/۸ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش ۸۱/۸ درصدی، ۱، ۱/۵ و ۱/۹ برابری در عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن شد (شکل ۱۰).

عملکرد دانه در واحد سطح تابعی از تعداد غلاف است و با تأخیر در کشت کلیه صفات ریخت‌شناسی گیاه از جمله ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در بوته، فاصله غلاف از سطح خاک و تعداد شاخه فرعی کاهش می‌یابد

یافت. باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم نیز احتمالاً با در اختیار قرار دادن نیتروژن بیشتر برای گیاه موجب افزایش درصد نیتروژن در دانه می‌گردد، که همین عامل موجب افزایش درصد پروتئین در دانه و کاهش درصد روغن دانه می‌گردد. به نظر می‌رسد در این آزمایش اثرات مثبت کودهای زیستی از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید آسیمیلات بیشتر و بهبود رشد شده است و درصد پروتئین افزایش یافته که در نهایت موجب کاهش درصد روغن دانه گیاه در مقایسه با تیمار عدم تلقیح شده است.

درصد پروتئین دانه

به‌طور کلی با تأخیر کاشت به درصد پروتئین دانه کاملاً افزوده شد. نتایج مقایسه میانگین سطوح کود نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت نشان داد در تاریخ کاشت‌های ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت ماه بیشترین و کم‌ترین درصد پروتئین دانه به‌ترتیب از تیمارهای ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژن و شاهد حاصل شد (شکل ۹). همچنین نتایج نشان‌دهنده آن است که تأخیر در کشت بهاره موجب افزایش درصد پروتئین دانه گردید (شکل ۹).

به‌طورکلی، میزان پروتئین دانه به محیط و ژنوتیپ وابسته است، با این حال گزارش شده است که میزان پروتئین با تأخیر در کاشت افزایش می‌یابد. محققان نتایج مشابهی را در خصوص افزایش درصد پروتئین به‌دلیل افزایش درجه حرارت در زمان گلدهی و پر شدن دانه گزارش نمودند (احمدیان کوشکقاضی و همکاران ۲۰۲۱). همچنین طبق نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد در تاریخ‌کاشت‌های زودتر (۲۰ شهریور و ۴ مهر)، گیاه فرصت بیشتری در استفاده از عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن داشته در حالی‌که در تاریخ کاشت دیرتر با توجه به کوتاه بودن دوره رشد، در گیاه چنین امکانی وجود نداشته است. در نتیجه این موضوع سبب افزایش پروتئین در دانه شده است (محققی و ابوالطالبيان ۲۰۱۴). همانطور که ملاحظه می‌شود در این پژوهش با تأخیر در کاشت درصد نیتروژن هم در برگ و هم در دانه افزایش

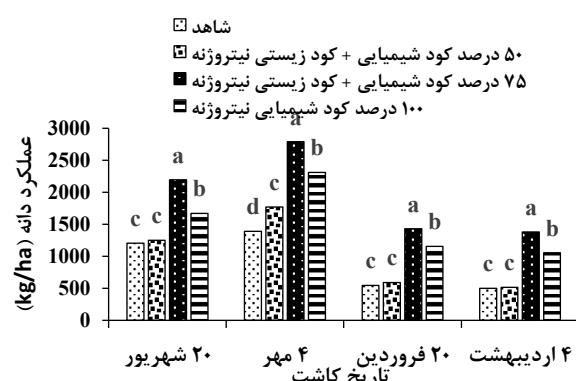
عملکرد پروتئین دانه

مقایسه میانگین اثر کود نیتروژنه در هر سطح تاریخ کاشت نشان داد با تأخیر در تاریخ کاشت از کشت پاییزه (۲۰ شهریور و ۴ مهر) به کشت بهاره (۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت) از عملکرد پروتئین دانه کاملینا کاسته شد و تاریخ کاشت ۴ مهرماه نسبت به دیگر تاریخ‌ها از عملکرد پروتئین دانه بیشتری برخوردار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در تاریخ‌های کاشت ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت بیشترین عملکرد پروتئین دانه به ترتیب با میانگین‌های ۶۱۱، ۸۹۱، ۳۰۸ و ۲۸۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و کم‌ترین آن نیز به ترتیب با میانگین‌های ۲۶۶، ۳۷۸، ۱۰۵ و ۹۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژنه) حاصل شد که به ترتیب با یکدیگر اختلاف ۵/۵، ۵۷/۶، ۶۵/۸ و ۶۶/۹ درصدی نشان دادند (شکل ۱۱).

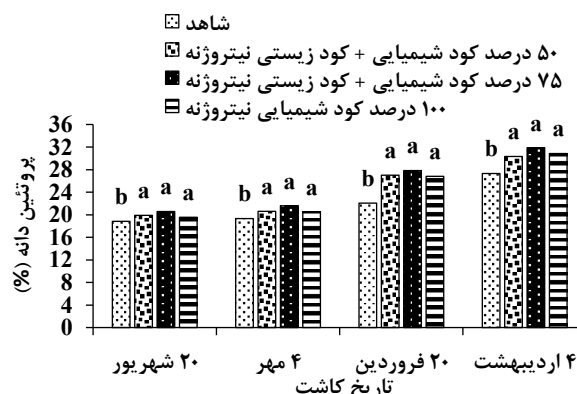
در این تحقیق با افزایش سطوح نیتروژن در هر چهار تاریخ کاشت، درصد پروتئین دانه (شکل ۹) و عملکرد دانه (شکل ۱۰) افزایش یافته است و از آنجایی که عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه بدست می‌آید، لذا افزایش عملکرد پروتئین قابل انتظار می‌باشد. بررسی تاریخ‌های کاشت نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تاریخ ۴ مهرماه مشاهده شد، که احتمالاً به دلیل شرایط محیطی مساعدتر برای رشد رویشی و زایشی گیاه بوده است. در مقابل، کاهش عملکرد دانه در تاریخ‌های کاشت بهاره (۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت) می‌تواند به دلیل افزایش دما و شدت تابش نور در مراحل حساس رشد، به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه، و کاهش رطوبت خاک باشد (بختیاری و همکاران، ۲۰۱۶). چنین شرایطی ممکن است دوره رشد رویشی را کوتاه کرده و منجر به کاهش سطح فتوسنتزی و تجمع مواد فتوسنتزی در دانه شده و با کاهش عملکرد دانه از عملکرد پروتئین دانه نیز کاسته شود.

(مصطفوی زاد و همکاران ۲۰۱۲). به‌طور کلی بروز گرما طی دوران رشد زایشی، طول دوره پر شدن دانه را کاهش داده و تعداد دانه در غلاف و همچنین وزن دانه افت پیدا می‌کند که در نتیجه آن عملکرد دانه دچار نقصان شدیدی می‌شود (محقق و ابوالطالبيان ۲۰۱۴). می‌توان بیان نمود که با کشت گیاهان در تاریخ مناسب، امکان استفاده مطلوب‌تر از عوامل محیطی و بهبود رشد رویشی و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر برای دانه، منجر به تولید عملکرد بیشتری می‌گردد. در پژوهش حاضر نیز به نظر می‌رسد با توجه به عملکرد بالاتر در دانه در تاریخ کاشت ۴ مهر می‌توان این تاریخ کاشت را برای گیاه کاملینا مطلوب دانست. احمدیان کوشکقاضی و همکاران (۲۰۲۱) در مقایسه تاریخ کاشت‌های بهاره (اسفند و فروردین ماه) و پاییزه (آبان ماه) کاملینا در فسا (استان فارس) نشان داد که بالاترین عملکرد دانه کاملینا در تاریخ کاشت آبان ماه (زود هنگام) به‌دست آمد.

به نظر می‌رسد که این افزایش عملکرد دانه نشان‌دهنده افزایش کارایی کودهای زیستی در حضور کود شیمیایی است. تیمار کود زیستی در مقایسه با تیمار شاهد شیمیایی، به مراتب شرایط مناسب‌تری را برای بهبود فعالیت‌های زیستی داخل خاک مهیا کرده و از طریق جذب مواد غذایی توسط ریشه، موجب افزایش عملکرد دانه شده است (زارعی و همکاران، ۲۰۲۱). بررسی روند تغییرات عملکرد دانه نشان می‌دهد که با افزایش نیتروژن، عملکرد دانه با کاربرد باکتری نیتروژنه افزایش پیدا کرد. افزایش در عملکرد با افزایش مصرف نیتروژن، به دلیل وظایف متعدد این عنصر در فرآیندهای حیاتی گیاه از جمله افزایش رشد رویشی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، افزایش در تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در گیاه، افزایش تولید ماده خشک ذخیره‌ای و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌باشد (پندیراج و همکاران ۲۰۱۵). پژوهشگران نشان دادند که کاربرد باکتری‌های همیار تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق تولید هورمون‌های تحریک‌کننده رشد گیاه نیز می‌توانند سبب افزایش عملکرد دانه در گیاهان شوند (توحیدی و همکاران ۲۰۰۸).



شکل ۱۰- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای عملکرد دانه در کاملینا



شکل ۹- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای درصد پروتئین دانه در کاملینا

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح تاریخ کاشت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

زیستی، می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش محتوای پروتئین باشد (جهانشاهی و همکاران ۲۰۲۱).

نتایج پژوهش یوسف‌پور و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که تیمار ۱۵۰ کیلوگرم اوره حداکثر عملکرد پروتئین دانه (۴۷/۴۲ گرم در متر مربع) را در گیاه جو به خود اختصاص داد.

عملکرد روغن دانه

در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور و ۴ مهر بیشترین و عملکرد روغن به‌ترتیب از تیمارهای ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و شاهد حاصل شد (شکل ۱۲). در تاریخ‌کاشت‌های ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت نیز بیشترین (به‌ترتیب ۲۳۲ و ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین (۲۰۳ و ۱۱۱ کیلوگرم در هکتار) عملکرد روغن به‌ترتیب در تیمارهای ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و شاهد مشاهده شد. همچنین نتایج نشان‌دهنده آن است که تأخیر در کشت بهاره موجب کاهش عملکرد روغن گردید (شکل ۱۲).

عملکرد روغن تابعی از عملکرد دانه و درصد روغن است، لذا تاریخ کاشت مطلوب با عملکرد دانه و درصد روغن بالا، بیشترین عملکرد روغن را تولید نمود، در حالی که تأخیر در کاشت به علت کاهش طول دوره‌ی رشد گیاه، برخورد با گرما در طی مرحله پرشدن دانه و

نکته جالب‌توجه در این تحقیق، افزایش درصد پروتئین دانه در تاریخ‌های کاشت بهاره بود. این روند را می‌توان با کاهش عملکرد دانه در این تاریخ‌ها توضیح داد؛ زمانی که عملکرد دانه کاهش می‌یابد، غلظت نسبی نیتروژن در دانه افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه درصد پروتئین دانه بیشتر می‌شود. این پدیده که در بسیاری از گیاهان روغنی گزارش شده است، نشان‌دهنده نوعی رابطه معکوس بین عملکرد دانه و درصد پروتئین است. در واقع، زمانی که عملکرد دانه افزایش می‌یابد، پروتئین موجود در دانه‌ها به‌نوعی در میان تعداد بیشتری از دانه‌ها توزیع می‌شود و این امر باعث کاهش درصد پروتئین در واحد دانه می‌شود (پاندیارج و همکاران ۲۰۱۵). از سوی دیگر، در شرایطی که تعداد دانه‌ها کاهش می‌یابد، محتوای نیتروژن و پروتئین در دانه‌ها افزایش می‌یابد. کاربرد ترکیبی کود زیستی و شیمیایی نیز تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش درصد پروتئین دانه داشت. کود زیستی نیتروژنه از طریق افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن، به سنتز بیشتر پروتئین کمک کرده و در نتیجه موجب بهبود کیفیت دانه از نظر محتوای پروتئین شد. این مسئله به‌ویژه در تاریخ‌های کاشت بهاره که گیاه تحت تنش بیشتری قرار داشت، اهمیت بیشتری پیدا کرد. همچنین، بهبود توسعه ریشه و افزایش جذب مواد مغذی در اثر استفاده از کود

کارایی جذب نیتروژن دانه

طبق نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین مشخص شد با افزایش در سطوح کود نیتروژنه از کارایی جذب نیتروژن دانه کاسته شد. در هر چهار تاریخ کاشت بیشترین کارایی جذب نیتروژن دانه از تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه حاصل شد و با افزایش سطوح نیتروژن از کارایی جذب نیتروژن کاسته شد (شکل ۱۳). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد دلیل کاهش نیتروژن جذب شده در کاشت تأخیری، کمتر بودن سطح یا تعداد برگ‌های تولیدی بوده است. در کشت تأخیری به دلیل مواجه شدن با دمای بالاتر، گیاه مراحل رویشی را به دلیل دریافت مقدار درجه روز رشد لازم برای عبور از یک مرحله فنولوژی به مرحله بعد با سرعت بیشتری طی کرده است لذا فرصت کافی در مرحله رویشی برای تولید یا توسعه سطح برگ نداشته است و از آنجا که سطح برگ نقش بسیار مهمی در میزان نیتروژن جذب شده دارد. لذا در کشت تأخیری درصد جذب نیتروژن کاهش پیدا کرده است.



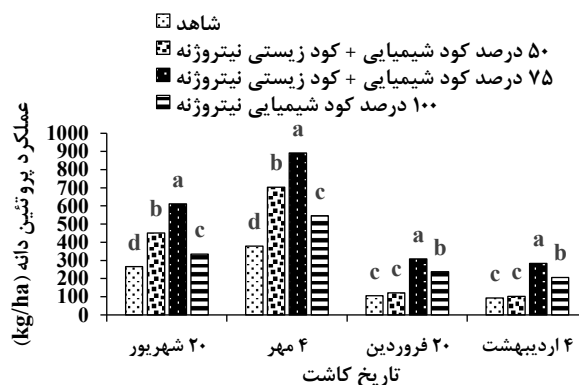
شکل ۱۲- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای عملکرد روغن دانه در کاملینا

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح تاریخ کاشت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه از واحد نیتروژن مصرفی است که از تقسیم کل نیتروژن جذب شده توسط دانه به مقدار نیتروژن مصرف شده به صورت کود

نیز افزایش احتمالی تنفس و کاهش تولید مواد فتوسنتزی منجر به کاهش عملکرد دانه و درصد روغن و در نهایت عملکرد روغن می‌شود. با توجه به همبستگی بالایی که بین عملکرد دانه و روغن وجود دارد می‌توان بیان داشت که لازمه تولید عملکرد روغن مطلوب، عملکرد دانه مطلوب است (ناظری و همکاران، ۲۰۱۹).

عملکرد روغن اصلی‌ترین هدف از کشت و توسعه‌ی دانه‌های روغنی از جمله کاملینا است. با توجه به همبستگی بالایی که بین عملکرد دانه و روغن وجود دارد می‌توان بیان داشت که لازمه تولید عملکرد روغن مطلوب، عملکرد دانه مطلوب است. بنابراین کاربرد کود زیستی و کود شیمیایی نیتروژنه، می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه و روغن در کاملینا شود. در پژوهشی مشخص گردید تلقیح بذور آفتابگردان با کودهای زیستی از جمله ازتوباکتر و نیتروکسین، سبب تولید بیشترین عملکرد روغن دانه شد، زیرا که تأمین عناصر غذایی ضروری از جمله نیتروژن و تلقیح با کودهای زیستی، سبب افزایش ارسال مواد پرورده به سمت بخش اقتصادی گیاه (دانه) می‌شود و با افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد (یوسف‌پور و همکاران ۲۰۱۴).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای عملکرد پروتئین دانه در کاملینا

به طور کلی، کارایی جذب نشان‌دهنده توان گیاه در استفاده از نیتروژن پراکنده در محیط است (لی و همکاران، ۲۰۲۳). به عبارت دیگر کارایی جذب نیتروژن،

بدست می‌آید، لذا با افزایش نیتروژن مصرفی، کارایی جذب کاهش پیدا می‌کند. ربیعی و طوسی‌کهل (۲۰۱۱) بیان کردند که علت کارایی پایین در جذب نیتروژن در شرایط کاربرد کود زیاد نیتروژن، تا حد زیادی ناشی از تفاوت در عملکرد دانه تولیدی تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن مصرفی می‌باشد که مستقیماً در جذب

نیتروژن از خاک تأثیرگذار است. بنابراین می‌توان گفت که واکنش گیاه در پاسخ به مصرف نیتروژن از قانون بازده نزولی تبعیت می‌کند و به احتمال زیاد تلفات میزان نیتروژن در سطوح بالای کود نیتروژن از طریق تصعید، آبشویی یا به علت عدم جذب نیتروژن به واسطه گیاه و بالاخره عدم استفاده مؤثر آن افزایش می‌یابد.

جدول ۵- نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود نیتروژنه و تاریخ کاشت بر کارایی جذب نیتروژن دانه و کارایی مصرف نیتروژن در کاملینا

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی جذب نیتروژن دانه	کارایی مصرف نیتروژن
تکرار	۲	۰/۰۳	۵/۵۵
کود نیتروژنه	۲	۱/۰۲**	۴۸۳/۲۹**
خطای عامل اصلی	۴	۰/۰۰۸	۴/۳۳
تاریخ کاشت	۳	۲/۳۶**	۶۵۰/۹۵**
تاریخ کاشت × کود نیتروژنه	۶	۰/۲۶**	۱۲۲/۱۹**
خطای عامل فرعی	۱۸	۰/۰۰۹	۳/۱۳
ضریب تغییرات (%)		۱۲/۳۱	۹/۴۶

** معنی‌داری در سطح خطای احتمال ۱ درصد را نشان می‌دهد.

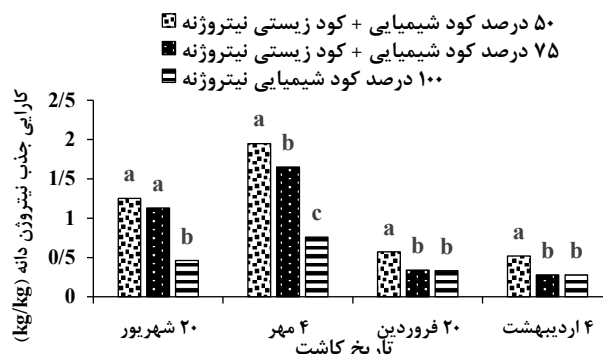
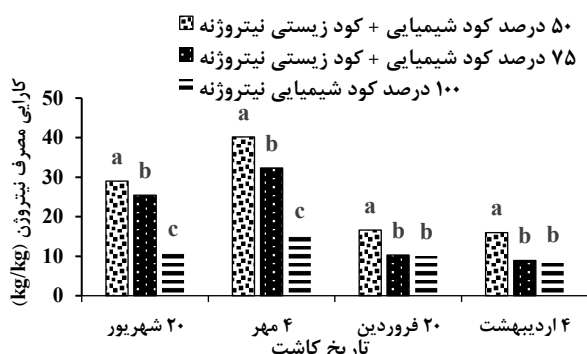
کارایی مصرف نیتروژن

نتایج نشان داد که کارایی مصرف کود نیتروژن، با تأخیر در کاشت کاهش یافت. مطابق با شکل ۱۴، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در تاریخ کاشت‌های ۲۰ شهریور، ۴ مهر، ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت (به ترتیب ۲۹، ۴۰/۲، ۱۶/۶ و ۱۶ کیلوگرم بر کیلوگرم) از مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه به دست آمد؛ و این در حالی است که کمترین کارایی مصرف نیتروژن (به ترتیب ۱۰/۹، ۱۵/۴، ۱۰/۱ و ۹/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) از تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه حاصل شد. کاهش در کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف آن بر اساس قانون بازده نزولی قابل توضیح است، ضمن اینکه به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش کارایی مصرف نیتروژن، فزونی سرعت از دست رفتن عنصر مذکور در مقادیر بالای مصرف باشد. این کاهش می‌تواند تأکیدی بر این مسأله باشد که رابطه مصرف کود نیتروژن و افزایش عملکرد گیاه خطی نیست. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی علاوه بر فراهم کردن نیتروژن مورد نیاز گیاه به دلیل افزایش رشد اندام

هوایی موجب افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه منجر به دستیابی به بیشترین کارایی مصرف این عنصر در گیاه می‌شود (جهانشاهی و همکاران ۲۰۲۱).

شاخص برداشت نیتروژن

مشاهده شد در تاریخ کاشت‌های ۲۰ شهریور و ۴ مهر ماه بیشترین (به ترتیب ۴۸/۳ و ۵۱ درصد) و کمترین (به ترتیب ۲۳/۱ و ۳۵/۴ درصد) شاخص برداشت نیتروژن به ترتیب از تیمارهای ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و شاهد حاصل شد (شکل ۱۵). در تاریخ کاشت‌های ۲۰ فروردین و ۴ اردیبهشت نیز بیشترین (به ترتیب ۵۰/۸ و ۵۲/۸ درصد) و کمترین (۳۵/۷ و ۳۶ درصد) شاخص برداشت نیتروژن به ترتیب در تیمارهای ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و شاهد مشاهده شد. همچنین نتایج نشان‌دهنده آن است که تأخیر در کشت بهاره موجب افزایش شاخص برداشت نیتروژن گردید (شکل ۱۵).



شکل ۱۴- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای کارایی مصرف نیتروژن در کاملینا

شکل ۱۳- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای کارایی جذب نیتروژن دانه در کاملینا

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح تاریخ کاشت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

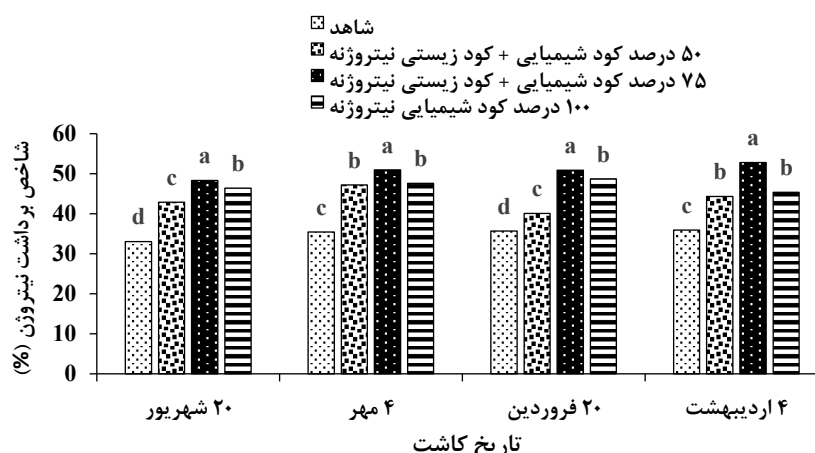
که راهبردهای مدیریتی که باعث افزایش شاخص برداشت نیتروژن می‌شوند را می‌توان به فراهمی بیشتر نیتروژن از طریق تقویت چرخه معدنی شدن، متحرک شدن نیتروژن و بهبود کارایی‌های جذب نیتروژن موجود توسط گیاه نام برد. جهانشاهی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی با فراهمی تدریجی و مطلوب عناصر غذایی در طی زمان، شرایط جذب بهتر این مواد را برای گندم فراهم نمود و احتمال آبشویی را نیز کاهش داد که در نهایت منجر به بهبود شاخص برداشت نیتروژن شد.

شاخص برداشت نیتروژن میزان توزیع نیتروژن به سمت دانه را نشان می‌دهد که از مقدار نیتروژن دانه به مقدار کل نیتروژن اندام هوایی در زمان رسیدگی محاسبه می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین هر عاملی که میزان نیتروژن دانه را افزایش دهد منجر به افزایش شاخص برداشت نیتروژن می‌گردد. با افزایش در نیتروژن مصرفی، انتقال مجدد نیتروژن از اندام هوایی به سمت دانه‌ها افزایش یافته که خود باعث افزایش میزان نیتروژن دانه نسبت به میزان نیتروژن اندام هوایی در زمان رسیدگی و به تبع آن افزایش شاخص برداشت نیتروژن گردید. ربیعی و طوسی‌کهل (۲۰۱۱) بیان نمودند

جدول ۶- نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود نیتروژنه و تاریخ کاشت بر شاخص برداشت نیتروژن دانه در کاملینا

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص برداشت نیتروژن
تکرار	۲	۱/۷۹
کود نیتروژنه	۳	۱۹۳/۵۸**
خطای عامل اصلی	۶	۷/۳۴
تاریخ کاشت	۳	۱۵/۱۸ ^{ns}
تاریخ کاشت × کود نیتروژنه	۹	۱۲۶/۷۰**
خطای عامل فرعی	۲۴	۷/۸۹
ضریب تغییرات (%)		۶/۳۶

^{ns} و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌داری در سطح خطای احتمال ۱ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- مقایسه میانگین کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در هر سطح تاریخ کاشت برای شاخص برداشت نیتروژن در کاملینا.

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S. Means انجام شده و در هر سطح تاریخ کاشت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج نشان داد با افزایش مصرف کود نیتروژنه تا سطح ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه و تاریخ کاشت ۴ مهر محتوای عناصر پر مصرف (به استثنای محتوای نیتروژن دانه) و کم مصرف، عملکرد دانه و کارایی جذب نیتروژن گیاه کاملینا افزایش می‌یابد. کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه نسبت به سطح کودی ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه منجر به کاهش صفات مورد بررسی شد. با تأخیر در کاشت به درصد پروتئین دانه کاملینا افزوده شد که به موجب برخورد مراحل حساس زایشی کاملینا با دماهای بالای آخر فصل منطقه اقلید می‌باشد. مشخص شد افزایش سطوح کود نیتروژنه در هر چهار تاریخ کاشت به همراه باکتری موجب کاهش کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن شد اما کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی + کود زیستی نیتروژنه شاخص برداشت نیتروژن را افزایش داد. می‌توان بیان نمود

کاربرد همزمان کودهای شیمیایی و زیستی، می‌تواند در افزایش کارایی انحلال و فراهمی عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی و در نهایت افزایش عملکرد دانه، بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه کاملینا و کاهش مصرف و آلاینده‌گی کودهای شیمیایی مؤثر باشد؛ بعلاوه نتایج اکثر صفات مورد بررسی نشان می‌دهد مصرف ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژنه به همراه کود زیستی نیتروژنه، در شرایط آزمایش باعث بهبود صفات اقتصادی در کاملینا می‌شود و بیشترین عملکرد دانه از این سطح تیماری حاصل می‌گردد و از این طریق می‌توان میزان مصرف کود شیمیایی را کاهش داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان از دانشگاه یاسوج به جهت فراهم نمودن شرایط انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

- Ahmadian Kooshkghazi ME, Madandoust M, Mohajeri F and Kahrizi D. 2021. Study of different dates of planting camelina (*Camelina sativa* (L.) CRANTZ). International Journal of Modern Agriculture, 10(1): 361-365.
- Ahmadian K M and Madandoust M. (2022). Effect of planting date on growth, seed yield and oil quality of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). Iranian Journal of Crop Sciences, 24(1): 19 -33. (In Persian).

- Aseri GK, Jain N, Panwar J, Rao AV and Meghwal PR. 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Scientia Horticulturae*. 117: 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.03.014>
- Bai C, Wang J and Liu H. 2023. Influence of planting date on soil nutrient dynamics and crop performance. *Soil Science and Plant Nutrition*, 69(4): 512-528.
- Bahrani AA., Hosseini M, Mimar S and Tahmasabi Sarostani Z. 2007. Investigating the effect of *Azospirillum* and *Azotobacter* bacteria along with the use of micronutrients in the form of spraying and application in the soil on the quantitative and qualitative characteristics of 5 wheat cultivars after corn cultivation in Fars province. *Agricultural Sciences of Iran*, 38(1): 376-367. (In Persian).
- Bakhtiari M, Ganjali, HR, Mehraban A and Ebrahimi, A. 2016. Investigating the effects of nitrogen and phosphorus application on quantitative and qualitative yield of safflower in Sistan region. *New findings in agriculture*, 10(4): 241-253. (In Persian).
- Bingham IJ, Karley AJ, White PJ, Thomas WTB and Russell JR. 2012. Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. *European Journal of Agronomy*, 42: 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.10.003>
- Bobrecka-Jamro MC. 2017. The effects of varied plant density and nitrogen fertilization on quantity and quality yield of *Camelina sativa* L. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(12): 988-993. <http://dx.doi.org/10.9755/ejfa.2017.v29.i12.1569>
- Bremner JM. 1996. Nitrogen total. *Method of Soil Analysis*, part 3: Chemical Methods; Spark, D. L. Soil Science Society of America: Madisona, Wisconsin, 1085-1121.
- Chapman H and Prat P. 1961. *Methods of analysis for soil plant and water*, USA: Division of Agriculture Science. University of California, Riverside. CA, 1188.
- Emami, A. 1996. *Plant analysis methods*. Publication of Research Organization, Agricultural Extension Training, No. 982. Publications of Soil and Water Research Institute. 1: 126 p. (In Persian).
- Ghanbari, M., A. Mokhtassi Bidgoli and P. Talebi Siah Saran. 2019. The effect of bio-fertilizers on yield component, yield, protein, and oil in soybean (*Glycine max* Merrill) under different irrigation regimes. *Journal of Plant Environmental Physiology* 13(4): 1-15. (In Persian).
- Hosseini SMA, Taslimi A, Karimi YA and Dastfal A. 2019. The effect of nitrogen biofertilizers on yield and yield components of two wheat cultivars (chamran and shiroodi). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(8): 1927-1936. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.270871.668066>
- Jahanshahi H, Ajam Nowrozi H, Dadashi MR, Rezaei MA and Masani H. 2021. The Effect of different sources of biological and chemical fertilizers morphological and functional traits of *Triticum aestivum* L. *Environmental Physiology of Plants*, 25(9): 22-35. <https://doi.org/10.30495/iper.2021.679560>
- Jankowski KJ, Sokólski M. and Kordan B. 2019. Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Industrial Crops and Production*, 141: 111776. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776>
- Johnson CM and Ulrich A. 1959. *Analytical methods for use in plant analysis*. California Agriculture Experimental Station Bulling. 766: 52-78.
- Kakabouki IP, Hela D, Roussis I, Papastylianou P, Sentras AF and Bilalis DJ. 2018. Influence of fertilization and soil tillage on nitrogen uptake and utilization efficiency of quinoa crop (*Chenopodium quinoa* Wild.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1): 220-230. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005000901>
- Karimi Jalilehvandi, T, Maleki Farahani S and Rezazadeh. AR. 2017. Effects of sowing date and chemical fertilizer on seed vigor and qualitative and quantitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana* Benth.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(1):126-138. <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109717>

- Kirkhus B, Lundon AR, Haugen JE, Vogt G, Borge GI and Henriksen BI. 2013. Effects of environmental factors on edible oil quality of organically grown *Camelina sativa*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(13): 3179-3185. <https://doi.org/10.1021/jf304532u>
- Li J, Zhou Y, Gu H, Lu Z, Cong R, Li X and Lu J. 2023. Synergistic effect of nitrogen and potassium on seed yield and nitrogen use efficiency in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). European Journal of Agronomy, 148: 126875. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126875>
- Lou H, Zhao B, Peng Y, El-Badri AM, Batool M, Wang C and Zhou G. 2023. Auxin plays a key role in nitrogen and plant density-modulated root growth and yield in different plant types of rapeseed. Field Crops Research, 302: 109066. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109066>
- Marschner H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press.
- Mohagheghi A and Aboutalebian MA. 2014. Study of sowing date and seed priming effect on seed yield, its components and some of agronomic and qualitative properties of two spring canola cultivars in Hamedan. Iranian Journal of Field Crop Research, 12(3): 516-525. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i3.24226>
- Mostafavi Rad M, Shariati F and Mostafavi Rad S. 2012. Evaluation of sowing date influence on quantitative and qualitative yield in four rapeseed cultivars adapted to cold regions in Arak. Iranian Journal of Crop Production 5(2): 159-167. (In Persian)
- Nasrollahzadeh A and Ahmad Gh. 2018. The effect of application using nitragin and nitroxin biofertilizers on reduce the use of nitrogen chemical fertilizer in sunflower cultivation (*Helianthus annuus* L.). Environment Conservation Journal, 19(1): 39-46. <https://doi.org/10.36953/ECJ.2018.191204>
- Nazeri P, Shirani Rad AH, ValadAbadi SA, Mirakhori M and Hadidi Masoule E. 2019. The effect of planting date and late season drought stress on eco-physiological characteristics of the new varieties of canola (*Brassica napus* L.). Journal Agronomy 11(1): 261-276. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.67311>
- Nleya T, Schutte M, Reicks G and Mueller N. 2020. Planting date, cultivar, seed treatment, and seeding rate effects on soybean growth and yield. Agrosystems, Geosciences & Environment, 3(1): 25-39. <https://doi.org/10.1002/agg2.20045>
- Nouriani H. 2015. Investigating the effect of different levels of nitrogen on yield, yield components and some quality characteristics of two varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Crop Production and processing 5(16): 233-241. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.16.233>
- Pandiaraj T, Selvaraj S and Ramu N. 2015. Effects of crop residue management and nitrogen fertilizer on soil nitrogen and carbon content and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) in two cropping systems. Journal of Agricultural Science and Technology, 17(1): 249-260. (In Persian).
- Pashaei M, Mondani F and Kahrizi D. 2023. Effect of sowing date and nitrogen fertilizer application on water use efficiency of Camelina (*Camelina sativa*). Advanced Technologies in Water Efficiency, 3(1): 1-8. <https://doi.org/10.22126/atwe.2023.8943.1047>
- Pavlista AD, Isbell TA, Baltensperger DD and Hergert GW. 2011. Planting date and development of spring - seeded irrigated canola, brown mustard and camelina. Industrial Crops and Products, 33(2): 451 -456. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.029>
- Pedraza RO, Bellone CH, Bellone SCD, Sorte PMFB and Teixeira KRDS. 2009. *Azospirillum* inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. European Journal of Soil Biology, 45(1): 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.09.007>
- Peterson JR, Flanagan J and Shmact KT. 2002. PAM application method and electrolyte source effects on plot-scale runoff and erosion. Trans ASAE, 45(6): 1859-1867 <https://doi.org/10.13031/2013.11437>

- Rabiei M and Tousi Kehal P. 2011. Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in gilán region. Iranian Journal of Field Crop Sciences, 42(3): 605-615. (In Persian).
- Rastgo B, Ebadi A and Permon Q. 2013. Investigating the effect of nitrogen consumption on yield and composition of safflower seed reserves. Crop Physiology, 6(21): 85-102. (In Persian).
- Righini DF, Zanettia E, Martínez-Forceb M, Mandriolia TG, Gallina-Toschia B and Montia A. 2019. Shifting sowing of camelina from spring to autumn enhances the oil quality for bio-based applications in response to temperature and seed carbon stock. Industrial Crops and Products, 137: 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.009>
- Safara M, Moradi Telavat R, Siadat SA, Koochakzadeh A and Mousavi SH. 2016. Effect of sowing date and sulfur on yield, oil content and grain nitrogen of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in autumn cultivation. Iranian Journal of Field Crops Research, 14(3): 438-448. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/gsc.v14i3.43039>
- Safari MR, Dadashi MR, Faraji A and Armin M. 2023. Effect of biofertilizer and drought stress on quantitative and qualitative traits in some winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Romanian Agricultural Research, 40: 1563-1578. <http://dx.doi.org/10.59665/rar4038>
- Shahraki M, Dahmarede M, Khammari I and Asgharzade A. 2016. Effects of Azotobacter and Azospirillum and levels of manure on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology, 8(1): 59-69.
- Tawhidi Moghadam HR, Ghoshaqi F, Zakari A and Hadi H. 2008. Evaluation of Azospirillum, Azotobacter with nitrogen chemical fertilizer utilization on yield of fodder maize (*Zea mays* L.). Dynamic Agriculture, 5: 355-349. (In Persian).
- Vejan P, Abdullah R, Khadiran T, Ismail S and Nasrulhaq Boyce A. 2016. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability - a review. Molecule, 21: 1-17. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>.
- Yaghoubi Nejad S, Andarzian B, Javanmard H. R, Naderi Darbaghshahi M. and Shokuhfar A. 2023. The effect of water deficit stress and planting dates on the quantitative and qualitative yield of Camelina (*Camelina Sativa* L.) in Ahvaz. Crop Physiology Journal, 16: 43-59. (In Persian).
- Yusufpour Z., Yadavi, A.R., Balouchi, H.R. and Faraji, H. 2014. Investigating the yield and some physiological, morphological and phenological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under the influence of nitrogen and phosphorus biological and chemical fertilizers. Journal of Agroecology, 6(3): 508-519. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.21528>
- Zarei Sh, Hassibi H, Kahrizi D and Safieddin Ardebili SM. 2022. Effect of nitrogen application on camelina (*camelina sativa*) oil seed yield and yield components at different planting dates. Field Crop Research, 19(4): 311-325. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.37179.0>
- Zhan N, Xu K, Ji G, Yan G, Chen B, Wu X and Cai G. 2023. Research progress in high-efficiency utilization of nitrogen in rapeseed. International Journal of Molecular Sciences, 24(9): 7752 <https://doi.org/10.3390/ijms24097752>