19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

بررسی تأثیر فسفر مکمل بر جذب نیتروژن، شاخص کلروفیل و ارتباط آن‌ها در گیاه کلزا

کاترین شمس مورکانی [۱*]، حسین میرسیدحسینی [۲]، فریدون نور قلی پور [۳]،
ارژنگ فتحی گردلیدانی [۴]، حسن اعتصامی [۵]

۱- کارشناس، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران* cshamsm@ut.ac.ir
۲- استاد، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات شیمی و حاصلخیزی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- متخصص حرفه ای دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران
۵- دانشیار، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

چکیده:

این پژوهش با هدف بررسی اثرات محلول‌پاشی و کودآبیاری اسید فسفریک همراه با کاربرد خاکی سوپر فسفات تریپل (TSP) بر جذب نیتروژن و شاخص کلروفیل گیاه کلزا (*Brassica napus L.*) در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح کاربرد خاکی TSP (صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد فسفر مورد نیاز بر اساس آزمون خاک) به صورت پیش کشت، دو سطح محلول‌پاشی اسید فسفریک (۰ و ۵ در هزار) و دو سطح کودآبیاری (۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید فسفریک موجب افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن در اندام هوایی (تا ۱۴۴٪) و ریشه (تا ۱۰٪) شد. همچنین، کودآبیاری اسید فسفریک باعث افزایش جذب نیتروژن در ریشه تا ۷۷٪ گردید که بیانگر بهبود فراهمی فسفر و افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن است. به‌علاوه، کاربرد مکمل فسفر امکان کاهش ۵۰ درصدی مصرف خاکی کود TSP را بدون افت جذب نیتروژن فراهم نمود. افزایش جذب نیتروژن منجر به افزایش شاخص کلروفیل (تا ۱۸٪) شد که می‌تواند به علت افزایش سنتز پروتئین‌های فتوسنتزی از جمله روبیسکو باشد و سبب ارتقای سلامت گیاه گردید. این یافته‌ها بر اهمیت کاربرد مکمل فسفر در شرایط کمبود فسفر و نقش آن در افزایش بهره‌وری و پایداری تولید کلزا تأکید دارند.

کلمات کلیدی: فسفر، کلزا، کلروفیل، کودآبیاری، محلول‌پاشی، نیتروژن.

مقدمه:

فسفر (P) یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد و توسعه گیاهان است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله سنتز ATP، تنفس گیاه، فتوسنتز، متابولیسم کربن، سیگنال‌دهی متابولیکی و بیوسنتز ساختارهایی مانند غشای سلولی، RNA و DNA نقش دارد (Khan et al., 2023). در بسیاری از خاک‌های کشاورزی، به‌ویژه خاک‌های آهکی، کمبود فسفر به‌دلیل تثبیت شدید آن با کلسیم و pH بالا، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تغذیه‌ای شناخته می‌شود (Gómez et al., 2025). در گیاه کلزا (*Brassica napus L.*) که یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی است، تأمین

بهینه فسفر نه‌تنها باعث بهبود رشد ریشه و افزایش سطح جذب عناصر غذایی می‌شود، بلکه با ارتقاء فرآیند فتوسنتز، موجب افزایش عملکرد دانه نیز خواهد شد (Wang et al, 2021; Zangani et al., 2021). استفاده از روش‌های مکمل مصرف فسفر مانند محلول‌پاشی برگی و کودآبیاری می‌تواند راهکاری برای افزایش کارایی مصرف این عنصر در شرایط کمبود فسفر باشد (Rafiullah et al., 2021; Guo et al., 2023). مطالعات نشان داده‌اند که محلول‌پاشی فسفر، به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد، با افزایش سطح تماس عنصر با سطح برگ، قابلیت جذب فسفر را بهبود بخشیده و کارایی مصرف آن را در گیاه افزایش می‌دهد (Ishfaq et al., 2022). از سوی دیگر، نیتروژن (N) به‌عنوان یکی از عناصر پرمصرف، نقش اساسی در ساختار مولکولی کلروفیل داشته و میزان آن در برگ‌ها می‌تواند از طریق شاخص‌هایی مانند SPAD به‌صورت غیرمخرب پایش شود (Zangani et al., 2021). تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که افزایش دسترسی فسفر می‌تواند جذب نیتروژن را بهبود داده و از طریق بهبود رشد رویشی و افزایش همگنی فتوسنتز، عملکرد نهایی گیاه را تقویت کند (Wang et al, 2021; Liu et al, 2024). بر این اساس، هدف از این مطالعه بررسی اثرات کاربرد مکمل فسفر از طریق محلول‌پاشی و کودآبیاری، در کنار کاربرد خاکی آن، بر میزان جذب نیتروژن، شاخص کلروفیل (SPAD) و روابط بین آن‌ها در گیاه کلزا می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند در جهت ارائه راهکارهایی عملی برای افزایش کارایی مصرف فسفر و نیتروژن در شرایط کمبود فسفر مؤثر واقع شود.

مواد و روش

این پژوهش در سال ۱۴۰۲، در گلخانه تحقیقاتی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. خاکی با بافت سبک و مناسب برای کشت کلزا از استان البرز، منطقه نظرآباد، روستای عبدل‌آباد، جنوب امامزاده چهل‌دختر، به مختصات جغرافیایی: (۶۴. ۳۹۶۵۹۳۷ :Y و ۷۷۸. ۴۵۸۸۵۹ :X)، دارای فسفر قابل جذب بسیار پایین با احتمال پاسخ‌دهی کلزا به مصرف کود فسفر در آن، انتخاب شد. پس از نمونه‌برداری و هواخشک شدن، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم خاک مانند بافت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، ظرفیت نگهداری رطوبت، هدایت الکتریکی (ECe) و اسیدیته (pHs) در عصاره گل اشباع، درصد رطوبت اشباع، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی، آهن، مس و منگنز قابل جذب و نیتروژن کل مطابق با روش‌های استاندارد موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (احیایی و بهبهانی‌زاده، ۱۳۷۵). یک دوره انکوباسیون جهت تعیین مقدار مصرف بهینهٔ کود سوپر فسفات تریپل (TSP) انجام شد و میزان کود لازم برای رساندن فسفر قابل جذب خاک به سطح بحرانی در تیمارهای کشت اصلی تعیین گردید. پس از ترکیب کود TSP (با غلظت P_2O_5 ۴۶ درصد) مطابق با تیمارهای فاکتور کاربرد خاکی به صورت پیش‌کشت و رفع کمبود سایر عناصر غذایی بر مبنای آزمون خاک، گلدان‌ها با خاک پر شد و تعداد ۱۰ بذر گیاه کلزا، رقم دلگان تهیه شده از مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی به صورت مستقیم داخل خاک کشت شد. بعد ازجوانه‌زنی، از روز ۱۳ تا ۲۱ بعد از کشت، تعداد بوته‌ها به سه عدد کاهش داده شد. به منظور انجام این پژوهش، دو مرحله کشت انجام شد. در مرحله اول (پیش‌آزمایش)، محلول‌پاشی اسید فسفریک (P_2O_5 ۵۲ درصد) با غلظت‌های سه،پنج و ۱۰ در هزار، با تنظیم pH در محدودهٔ ۵/۵ تا ۶ و بدون تنظیم pH، در ۱۸ گلدان، جهت انتخاب غلظت مناسب برای آزمایش اصلی، بدون ایجاد سوختگی و اثرات منفی مورد آزمایش قرار گرفت. پس از تأیید غلظت پنج در هزار با تنظیم pH ، در مرحلهٔ دوم (آزمایش اصلی)، ۹۶ گلدان جهت بررسی اثر محلول‌پاشی و کودآبیاری فسفر بر عملکرد کلزا کشت شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول چهار سطح کاربرد خاکی TSP (با غلظت P_2O_5 ۴۶ درصد) به صورت پیش‌کشت: سطوح صفر، ۱۰٪ (۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۵۰٪ (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ۱۰۰٪ (۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) فسفر مورد نیاز بر اساس آزمون خاک؛ فاکتور دوم شامل دو سطح صفر و پنج در هزار (پنج گرم اسید فسفریک در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) محلول‌پاشی اسید فسفریک با

تنظیم pH (۱۲ تا ۱۴ میلی‌لیتر برای هر گلدان همراه با امولسیون)، در دو مرحله از رشد، مرحلهٔ چهار تا پنج برگی،کد دو رقمی رشد ۱۴-۱۵ (Meier, 2018) و مرحلهٔ شروع ساقه‌دهی کلزا، کد دو رقمی رشد ۳۰ و فاکتور سوم شامل دو سطح صفر و ۱۰ کیلوگرم در هکتار (۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) کودآبیاری اسید فسفریک در دو مرحله از رشد، مرحلهٔ چهار تا پنج برگی و مرحلهٔ خروج از روزت (قبل از مرحله کد ۵۰ از کد دو رقمی رشد) بودند. دو روز بعد از محلول‌پاشی دوم، شاخص کلروفیل با دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. پس از برداشت گیاهان بعد از هشت هفته، و خشک و آسیاب نمودن گیاهان نیتروژن کل نیز به روش کجلدال با استفاده از دستگاه Kjeltec-2100 در مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۴ (SAS Institute, Cary) انجام گرفت و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. مقایسهٔ میانگین تنها برای صفاتی ارائه شد که اثر آن‌ها معنی‌دار بود. همچنین، برای صفاتی که اثرات متقابل آنها معنی‌دار بودند، مقایسهٔ میانگین اثرات اصلی حذف شد.

نتایج وبحث:

اثر اصلی و متقابل کاربرد خاکی سوپرفسفات تریپل (TSP) و محلول‌پاشی و کودآبیاری اسید فسفریک در جذب نیتروژن و شاخص کلروفیل گیاه کلزا بررسی شد.

جذب نیتروژن در اندام هوایی و ریشه

نتایج نشان داد که کاربرد محلول‌پاشی اسید فسفریک از سطح C0 به C50 موجب افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن در اندام هوایی از ۱۸۹ به ۴۶۱ میلی‌گرم در گلدان (معادل ۱۴۴ درصد افزایش) گردید (جدول 1A).

جدول ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها در سطوح مختلف بر جذب نیتروژن در اندام هوایی و ریشه گیاه کلزا

	جذب نیتروژن در اندام هوایی (A)		جذب نیتروژن در اندام هوایی (B)		جذب نیتروژن در ریشه (C)	
	mg pot^{-1}		mg pot^{-1}		mg pot^{-1}	
TSP	Fol0.005	Fol0	Fer10	Fer0	Fer10	Fer0
C0(شاهد)	۱۸۹d	۱۴۶d	۲۲۳c	۱۱۲d	۲۷/۵۹d	۱۸/۰۱e
C+ (۴۰mg/kg)	۳۸۹b	۳۲۷c	۳۶۸b	۳۴۹b	۴۸/۸۳bc	۵۶/۲ab
C50 (۲۰۰mg/kg)	۴۶۱a	۴۳۰ab	۴۴۵a	۴۴۵a	۵۲/۴abc	۴۷/۴c
C100 (۴۰۰mg/kg)	۴۵۵a	۴۶۴a	۴۵۴a	۴۶۵a	۵۵/۹ab	۵۸/۱۴a

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از آزمون دانکن هستند.

TSP: کود سوپر فسفات تریپل، C0: شاهد، +C: ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم TSP، C50: ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم TSP، C100: ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم TSP، Fol0: محلول‌پاشی صفر، Fol0.005: محلول‌پاشی پنج در هزار اسید فسفریک، Fer0: کودآبیاری صفر، Fer10: کودآبیاری ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فسفریک.

همچنین، با کاربرد کودآبیاری از سطح C0 به C50، افزایش این شاخص از ۲۲۳ به ۴۴۵ میلی‌گرم (معادل ۹۹/۵ درصد افزایش) مشاهده شد (جدول 1B). در هر دو نوع تیمار، تفاوت آماری معنی‌داری بین سطوح C50و C100 وجود نداشت، که این امر نشان‌دهنده امکان کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود خاکی TSP با حفظ جذب بالای نیتروژن است.

جذب نیتروژن در ریشه نیز با کاربرد کودآبیاری اسید فسفریک از سطح C0 به +C، از ۲۷/۵۹ به ۴۸/۸۳ میلی‌گرم (معادل ۷۷ درصد افزایش) افزایش یافت (جدول 1C). بهبود فراهمی فسفر از طریق کاربرد مکمل، با تقویت فعالیت ریشه و افزایش

احتمالی آنزیم‌های مرتبط با جذب نیتروژن، این افزایش را تسهیل کرده است.

علاوه بر آن، اثر اصلی محلول‌پاشی اسید فسفریک بر جذب نیتروژن در ریشه نیز معنی‌دار بود؛ به‌طوری که با کاربرد محلول‌پاشی اسید فسفریک با غلظت ۰/۰۰۵ (Fol0.005)، جذب نیتروژن در ریشه از ۴۳/۳۱ به ۴۷/۸۲ میلی‌گرم در گلدان (معادل ۱۰ درصد افزایش) رسید (جدول ۲).

جدول ۲.. مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی اسید فسفریک بر جذب نیتروژن در ریشه گیاه کلزا

تیمار	سطح	جذب نیتروژن در ریشه ($mg\ pot^{-1}$)
محلول‌پاشی اسید فسفریک	**Fol0** (بدون محلول‌پاشی)	۴۳/۳۱b
	Fol0.005 (محلول‌پاشی ۰/۵٪)	۴۷/۸۲a

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از آزمون دانکن هستند.
Fol0: محلول‌پاشی صفر، Fol0.005: محلول‌پاشی پنج در هزار اسید فسفریک

این نتایج بیانگر آن است که فراهمی بیشتر فسفر، چه از طریق کودآبیاری و چه از طریق محلول‌پاشی، می‌تواند به طور مستقیم بر افزایش جذب نیتروژن توسط ریشه و اندام هوایی مؤثر باشد. این اثر را می‌توان در نقش کلیدی فسفر در تنظیم متابولیسم نیتروژن جستجو کرد. فسفر می‌تواند با تأمین انرژی به صورت (ATP) و افزایش فعالیت آنزیم‌های نیتروژن‌دار، به بهبود جذب و استفاده از نیتروژن کمک کند (Liu et al., 2024).
آنزیم‌های کلیدی شامل: نیتریت ردوکتاز (NR) که در تبدیل نیترات به نیتریت و در نهایت به آمونیوم نقش دارد؛ گلوتامین سنتتاز (GS) که تثبیت آمونیوم به گلوتامین را تسهیل می‌کند؛ گلوکز-۶-فسفات دهیدروژناز (G6PDH) که از طریق تولید NADPH انرژی لازم برای جذب نیتروژن و فرایندهای متابولیکی را فراهم می‌آورد (Zangani et al., 2021; Liu et al., 2024).
همچنین Zangani و همکاران (2021) گزارش کرده‌اند که افزایش فسفر به بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای منجر می‌شود که این موضوع سطح ریشه‌های فعال را افزایش داده و ظرفیت جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن را ارتقاء می‌دهد. در مطالعه حاضر نیز، افزایش ۱۰ و ۷۷ درصدی جذب نیتروژن در ریشه به ترتیب در اثر محلول‌پاشی و کودآبیاری این یافته‌ها را تأیید می‌کند.

شاخص کلروفیل (SPAD)

اثرات اصلی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی بر شاخص کلروفیل (SPAD) معنی‌دار بودند. به‌طوری‌که با افزایش کاربرد TSP از سطح C0 به C100، شاخص SPAD از ۴۴/۳۱ به ۵۲/۴۸ (معادل ۱۸ درصد افزایش) افزایش یافت (جدول ۳A).

جدول ۳.. مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد خاکی TSP و محلول‌پاشی اسید فسفریک بر شاخص کلروفیل در گیاه کلزا

تیمار	سطح	شاخص کلروفیل (SPAD)
کاربرد خاکی TSP (A)	**C0** (شاهد)	۴۴/۳۱d
	C+ (۴۰mg/kg)	۴۸/۶۶c
	C50 (۲۰۰mg/kg)	۵۰/۷۳b
	C100 (۴۰۰mg/kg)	۵۲/۴۸ a
محلول‌پاشی اسید فسفریک (B)	**Fol0** (بدون محلول‌پاشی)	۴۷/۸۴b
	Fol0.005 (محلول‌پاشی ۰/۵٪)	۵۰/۲۶a

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از آزمون دانکن هستند.
TSP: کود سوپر فسفات تریپل، C0: شاهد، +C: ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم TSP، C50: ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم TSP، C100: ۴۰۰ میلی‌گرم

در کیلوگرم TSP، Fol0: محلول‌پاشی صفر، Fol0.005: محلول‌پاشی پنج در هزار اسید فسفریک.

همچنین، محلول‌پاشی اسید فسفریک با غلظت ۰/۰۰۵ (Fol0.005) در مقایسه با تیمار بدون محلول‌پاشی(Fol0)، موجب افزایش SPAD از ۴۷/۸۴ به ۵۰/۲۶ (معادل ۵ درصد افزایش) گردید (جدول ۳B).

افزایش شاخص کلروفیل در این مطالعه را می‌توان به واسطه‌ی افزایش جذب نیتروژن تبیین کرد. نیتروژن عنصر کلیدی در ساختار مولکول کلروفیل و پروتئین‌های فتوسنتزی همچون روبیسکو (Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) است. روبیسکو به‌عنوان آنزیم کلیدی در تثبیت کربن طی چرخه کالوین عمل می‌کند و بیش از ۵۰ درصد پروتئین‌های برگ را تشکیل می‌دهد؛ بنابراین، افزایش جذب نیتروژن می‌تواند به افزایش سنتز روبیسکو و در نهایت بهبود ظرفیت فتوسنتزی و افزایش شاخص SPAD منجر شود (Wang et al., 2021; Liu et al., 2024).
افزون بر این، Liu و همکاران (2024) گزارش داده‌اند که افزایش فعالیت آنزیم‌های نیتروژن‌دار در اثر بهبود تغذیه فسفری، به افزایش بازده فتوسنتزی و تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی منجر می‌شود. یافته‌های حاضر نیز نشان می‌دهد که استفاده از کود مکمل فسفر از طریق محلول‌پاشی یا کودآبیاری، می‌تواند به بهبود متابولیسم نیتروژن و به‌دنبال آن، ارتقاء سنتز کلروفیل در برگ‌های کلزا کمک نماید.

نتیجه‌گیری:

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد مکمل فسفر از طریق محلول‌پاشی یا کودآبیاری، ضمن امکان کاهش ۵۰ درصدی مصرف خاکی کود فسفر، موجب افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن در اندام هوایی و ریشه شده و به‌دنبال آن، به افزایش محتوای شاخص کلروفیل (SPAD) انجامیده است. احتمالا این روند به واسطه‌ی افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی در متابولیسم نیتروژن و بهبود توسعه ریشه محقق شده است. یافته‌های حاضر هم‌راستا با گزارش‌های پیشین (Wang et al., 2021; Zangani et al., 2021; Liu et al., 2024) است و بر اهمیت کاربرد مکمل فسفر در شرایط کمبود فسفر و نقش آن در افزایش بهره‌وری و پایداری تولید کلزا تأکید دارند.

فهرست منابع:

۱) احیایی، ع.، بهبهانی زاده، ا. (۱۳۷۵). روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه 893. وزارت جهاد کشاورزی. موسسه خاک و آب. تهران. ایران.

2) Gómez-Gallego, T., et al. (2025). Phosphorus acquisition by plants: Challenges and promising strategies for sustainable agriculture in the 21st century. *Pedosphere*, *35*(1), 193–215.
3) Guo, Y., Wang, Z., & Li, J. (2024). Effects of phosphorus fertilizer type and dripline depth on root and soil nutrient distribution, nutrient uptake, and maize yield under subsurface drip fertigation. *Field Crops Research*, *318*, 109585.
4) Ishfaq, M., et al. (2022). Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, *200*, 104909.
5) Khan, F., et al. (2023). Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. *Plants*, *12*(15), 2861.
6) Liu, Y., Gao, J., Zhong, M., Chen, L., & Zhang, W. (2024). Effects of phosphorus and potassium supply on photosynthetic nitrogen metabolism, nitrogen absorption, and nitrogen utilization of hydroponic rice. *Agronomy*, *14*(8), 1726.
7) Meier, U. (2018). Growth stages of mono-and dicotyledonous plants BBCH Monograph. 2001. URL https://www. openagrar. de/receive/openagrar_mods_00042351.
8) Rafiullah, et al. (2021). Foliar versus soil phosphorus (P) application for improving P use efficiency in wheat and maize in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(11), 1598–1610.
9) Wang, L., Zheng, J., You, J., Li, J., Qian, C., Leng, S., ... & Zuo, Q. (2021). Effects of phosphorus

supply on the leaf photosynthesis, and biomass and phosphorus accumulation and partitioning of canola (*Brassica napus* L.) in saline environment. *Agronomy*, *11*(10), 1918.
10) Zangani, E., et al. (2021). Nitrogen and phosphorus addition to soil improves seed yield, foliar stomatal conductance, and the photosynthetic response of rapeseed. *Agriculture*, *11*(6), 483.

Effect of Supplemental Phosphorus on Nitrogen Uptake, Chlorophyll Index, and Their Relationship in *Brassica napus* L.

Catherine Shams Moorkani[1]*, Hossein Mir-Seyed-Hosseini[2], Fereydun Nourgholipour[3], Arzhang Fathi-Gerdelidani[4], Hassan Etesami[5]

[1] B.Sc. Graduate, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.
cshamsm@ut.ac.ir
[2] Professor, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.
[3] Assistant Professor, Soil Chemistry and Fertility Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[4] Professional Specialist, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.
[5] Associate Professor, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.

Abstract:

This study aimed to investigate the effects of foliar spraying and fertigation with phosphoric acid, combined with soil application of triple superphosphate (TSP), on nitrogen uptake and chlorophyll index of *Brassica napus* L. The experiment was conducted as a factorial design based on a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions. Treatments included four levels of soil-applied TSP (0, 10, 50, and 100% of the phosphorus requirement based on soil testing), two levels of foliar application of phosphoric acid (0 and 5‰), and two levels of fertigation (0 and 10 kg ha^{-1}). The results showed that foliar application of phosphoric acid significantly increased nitrogen uptake in shoots (up to 144%) and roots (up to 10%). In addition, fertigation with phosphoric acid increased nitrogen uptake in roots by up to 77%, indicating improved phosphorus availability and enhanced activity of enzymes involved in nitrogen metabolism. Furthermore, supplemental phosphorus application allowed for a 50% reduction in soil-applied TSP without compromising nitrogen uptake. The enhanced nitrogen uptake likely improved the synthesis of photosynthetic proteins, including Rubisco, leading to an increase in chlorophyll index (up to 18%) and improved plant health. These findings underscore the importance of supplemental phosphorus application under phosphorus-deficient conditions and its role in enhancing the productivity and sustainability of canola cultivation.

Keywords: Phosphorus, canola, chlorophyll, fertigation, foliar spraying, nitrogen.