

Effect of nitrogen on some growth and physiological traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes

Fatemeh Noori ^a, Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy ^{*a}, Seyed Mohsen Seyedi ^b, Ali Heidarzadeh ^a

^a Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

^b Department of Agronomy and Horticulture Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Markazi Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Arak, Iran

*Corresponding Author: modaresa@modares.ac.ir

Received: 14 December 2024

Accepted: 26 July 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.493878.1457

How to cite this article:

Noori, F., Modarres-Sanavy, S.A.M., Seyedi, S.M. and Heidarzadeh, A., 2026. Effect of nitrogen on some growth and physiological traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 8(1), 173-188. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.493878.1457>

Abstract

Introduction: Historically, agriculture has primarily focused on maximizing crop yield. However, modern agricultural practices have expanded to encompass environmental conservation, product quality enhancement, and more efficient resource utilization. Various environmental factors, including the type and quantity of applied fertilizers, significantly influence plant growth and yield. Nitrogen, recognized as one of the most critical nutrients for plants, necessitates careful management for sustainable agriculture. Nitrogen deficiency hampers plant growth, while excessive application leads to environmental issues. Studies have demonstrated that the application of complete fertilizers containing nitrogen can substantially impact plant growth and yield. Numerous researchers have shown that the optimal use of chemical fertilizers plays a pivotal role in enhancing yield, reducing production costs, and preserving the environment. Consequently, identifying suitable fertilizers and their efficient application can contribute to improving agricultural product quality and achieving sustainable agriculture. This research investigates the impact of nitrogen fertilizer rates and cultivar type on various plant attributes, including leaf area index, total biomass, grain yield, leaf area index, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency.

Materials and Methods: This experiment was conducted in 2022 at the Khomein Bean Research and Education Farm using a factorial arrangement in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The treatments included five nitrogen application levels (0 (control), 40, 80, 120, and 160 kg N ha⁻¹) and three pinto bean genotypes (a line KS21492 and two cultivars, Kousha and Saleh). Statistical analysis of the data was performed using SAS software version 9.4. Prior to the analysis of variance, a normality test was conducted to ensure the normal distribution of residuals. The General Linear Model (GLM) procedure was used for the analysis of variance. Mean comparisons were carried out using the Least Significant Difference (LSD) test at the 0.05 significance level.

Results and Discussion: The results showed that the highest spad (39.03) was observed at the nitrogen application level of 160 kg N ha⁻¹, representing a 22.01% increase compared to the control.



Additionally, plant height at this nitrogen level reached 66.22 cm, which was greater than that observed at other nitrogen levels. Among the genotypes, the Saleh cultivar had the tallest plants, with an average height of 79.20 cm. Moreover, the application of 160 kg N ha⁻¹ resulted in the highest total biomass production (13,273 kg ha⁻¹), which was 39.13% higher than the control. Among the genotypes, Kousha produced the highest biomass at 11,851 kg ha⁻¹. Finally, grain yield was also significantly affected by nitrogen levels. The highest grain yield (4,068 kg ha⁻¹) was recorded at the 160 kg N ha⁻¹ treatment, which was 26.99% higher than the control. The Kousha cultivar also produced the highest grain yield among the genotypes, with 4,067 kg ha⁻¹. The findings of this study clearly demonstrate the significant positive effects of nitrogen fertilization on physiological traits, growth parameters, and yield of pinto bean genotypes. The highest SPAD value observed at 160 kg N ha⁻¹ indicates improved chlorophyll content and, consequently, enhanced photosynthetic capacity under optimal nitrogen availability. This aligns with previous studies suggesting that nitrogen plays a critical role in chlorophyll synthesis and leaf greenness, which are directly linked to biomass accumulation and yield formation. The increase in plant height at the highest nitrogen level reflects the enhanced vegetative growth resulting from improved nitrogen nutrition, which likely promoted cell division and elongation. The superior performance of the Saleh genotype in plant height suggests a genotype-specific potential to utilize nitrogen more efficiently for vertical growth. Total biomass and grain yield also responded positively to nitrogen application, with 160 kg N ha⁻¹ resulting in the highest values. These findings are consistent with earlier research indicating that adequate nitrogen supply enhances assimilate production and partitioning toward economic yield.

Conclusion: This study demonstrated that nitrogen fertilization significantly improves physiological traits, growth, biomass production, and grain yield in pinto bean genotypes. The application of 160 kg N ha⁻¹ was identified as the most effective rate, leading to the highest SPAD values, plant height, total biomass, and grain yield. Among the genotypes, Kousha showed the greatest potential in terms of yield and biomass, while Saleh exhibited superior plant height. These results highlight the critical role of adequate nitrogen supply in enhancing the performance of pinto bean cultivars and suggest that the combination of optimal nitrogen management with high-performing genotypes such as Kousha can be a promising strategy for increasing productivity.

Keywords: Biomass, Grain yield, Kousha cultivar, Nitrogen use efficiency, Spad

اثر نیتروژن بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)

فاطمه نوری^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۱*}، سیدمحسن سیدی^۲، علی حیدرزاده^۱

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

* مسئول مکاتبه: modaresa@modares.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.493878.1457

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴

چکیده

مصرف بهینه نیتروژن نقش حیاتی در سلامت محیط‌زیست، کنترل هزینه‌های تولید و افزایش عملکرد دارد. این آزمایش به‌منظور بررسی اثر نیتروژن روی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی در مزرعه پردیس تحقیقات و آموزش لوبیای خمین در سال ۱۴۰۱، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل مصرف نیتروژن در پنج سطح (صفر (شاهد)، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و ژنوتیپ لوبیا چیتی در سه سطح (یک لاین امیدبخش KS21492 و دو رقم کوشا و صالح) بود. نتایج نشان داد که بالاترین شاخص کلروفیل (۳۹/۰۳)، ارتفاع بوته (۶۶/۲۲ سانتی‌متر)، زیست‌توده (۱۳۲۷۳ کیلوگرم در هکتار) و نیز عملکرد دانه (۴۰۶۸ کیلوگرم در هکتار) در سطح ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد. تیمار ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار شاخص کلروفیل، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۲/۰۱، ۳۹/۱۳ و ۲۶/۹۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. از طرفی، رقم صالح با ۷۹/۲ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را داشت. رقم کوشا با تولید ۱۱۸۵۱ کیلوگرم زیست‌توده در هکتار و تولید ۴۰۶۷ کیلوگرم دانه در هکتار، بیشترین مقدار را داشت. در نتیجه، کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، موجب بهبود قابل‌توجهی در شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیک و عملکرد دانه در لوبیا چیتی شد و از بین ارقام مورد مطالعه، رقم کوشا عملکرد بهتری در بیشتر صفات نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، رقم کوشا، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، کارایی مصرف نیتروژن

مقدمه

به‌عنوان یکی از عناصر اصلی مورد نیاز برای رشد گیاه، در فرآیندهایی مانند سنتز پروتئین، فتوسنتز و توسعه ساختارهای سلولی نقش مستقیم دارد و کمبود آن می‌تواند موجب کاهش شدید عملکرد گیاه شود (Fageria and Baligar, 2005). بعد از آب، نیتروژن مسلماً یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای رشد و تولید گیاهان است. مدیریت ایده‌آل برای نیتروژن در مسیر دستیابی به کارایی بالا در تولید و کشاورزی پایدار لازم و ضروری می‌باشد. کمبود نیتروژن باعث کاهش بیوماس اندام‌های هوایی و کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌گردد. درحالی‌که زیاد بودن نیتروژن هم باعث بیماری و مشکلات محیطی دیگری می‌گردد (Khamadi et al., 2016). استفاده بی‌رویه و غیراصولی از کودهای نیتروژنه پیامدهای منفی فراوانی برای محیط‌زیست به‌همراه دارد. یکی از مهم‌ترین اثرات زیست‌محیطی این کودهای شیمیایی، آلودگی منابع آب

مصرف کودهای شیمیایی، به‌ویژه کودهای حاوی نیتروژن، نقش کلیدی در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی ایفا کرده و یکی از ارکان اصلی تأمین امنیت غذایی در قرن اخیر به‌شمار می‌رود (Tilman et al., 2002). عوامل محیطی بر روی کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی تأثیر به‌سزایی دارند. در این بین، سطوح مختلف کودی، یکی از عوامل تأثیرگذار برای دستیابی به شرایط مناسب در طول دوره رشد و نمو به‌منظور حصول حداکثر عملکرد کمی و کیفی در گیاهان به‌شمار می‌آید. تعیین دقیق سطح نیاز کودی، یکی از ضرورت‌های بخش تغذیه گیاهان زراعی می‌باشد (Heidarzadeh et al., 2020). کاربرد سطوح مختلف کودی سبب برخورد مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه با عناصر غذایی متفاوت می‌گردد و از این طریق بر رشد و نمو و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارند (Eblagh et al., 2014). نیتروژن

زیرزمینی با نیترات است که نه تنها بر اکوسیستم‌های آبی تأثیر منفی دارد، بلکه می‌تواند برای سلامت انسان نیز مضر باشد (Spalding and Exner, 1993). همچنین، نیتروژن اضافی در خاک ممکن است به صورت گازهای گلخانه‌ای مانند نیتروس اکسید (N_2O) وارد جو شده و در افزایش پدیده گرمایش جهانی نقش داشته باشد (Snyder et al., 2009). تجمع نیتروژن در محیط می‌تواند منجر به اسیدی شدن خاک، کاهش تنوع میکروبی و ایجاد اختلال در چرخه‌های طبیعی اکوسیستم‌ها شود (Galloway et al., 2008). بنابراین، مدیریت صحیح و براساس نیاز واقعی گیاهان، می‌تواند ضمن حفظ عملکرد بالا، اثرات منفی زیست‌محیطی را کاهش دهد.

حبوبات یکی از مهم‌ترین گروه‌های غذایی برای تضمین امنیت غذایی و تغذیه پایدار در جهان به‌شمار می‌روند. آن‌ها منبعی غنی از پروتئین گیاهی، فیبر غذایی، ویتامین‌ها و مواد معدنی مانند آهن، روی، منیزیم و پتاسیم هستند که می‌توانند در رژیم‌های غذایی کم‌درآمد، جایگزینی سالم و مقرون به صرفه برای منابع حیوانی باشند (FAO, 2016). مصرف منظم حبوبات با کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن مانند دیابت نوع ۲، بیماری‌های قلبی و چاقی مرتبط است (Mudryj et al., 2014).

لوبیا چیتی با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. یکی از مهم‌ترین حبوبات و از اعضای اصلی رژیم غذایی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به‌شمار می‌رود. این گونه به دلیل محتوای بالای پروتئین (۲۵-۳۰ درصد)، فیبر و مواد معدنی نظیر آهن، روی و منیزیم نقش اساسی در بهبود وضعیت تغذیه‌ای جوامع کم‌درآمد دارد (Broughton et al., 2003). لوبیا چیتی نه تنها به عنوان یک منبع غذایی سالم، بلکه به عنوان یک محصول زراعی پایدار نیز اهمیت دارد، زیرا از طریق همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند نیتروژن اتمسفری را به شکل قابل استفاده برای گیاه تبدیل کند که این امر موجب بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش نیاز به کودهای شیمیایی می‌شود (Stagnari et al., 2017).

یکی از رویکردهای مؤثر در جهت کشاورزی پایدار، بهره‌گیری از ژنوتیپ‌هایی است که با کارایی بالاتر در جذب و مصرف نیتروژن، نیاز کمتری به مصرف کودهای شیمیایی داشته باشند. در این میان، لوبیا چیتی به عنوان یک گیاه تثبیت‌کننده

نیتروژن از طریق همزیستی با ریزوبیوم‌ها، ظرفیت قابل توجهی در تأمین بخشی از نیاز نیتروژنی خود از منابع زیستی دارد (Graham and Vance, 2003). با این حال، این توانایی در میان ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت زیادی دارد و به شرایط محیطی، سطح دسترسی به نیتروژن و سازگاری فیزیولوژیک هر رقم بستگی دارد (Beebe et al., 2013). شناسایی و ارزیابی ژنوتیپ‌هایی که علاوه بر توان تثبیت زیستی نیتروژن، از کارایی بالا در جذب نیتروژن خاک برخوردارند، نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف کود و افزایش عملکرد در شرایط کم‌نهاد دارد (Fageria et al., 2010). مطالعه واکنش‌های رشدی و فیزیولوژیک این ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف نیتروژن، می‌تواند به درک دقیق‌تری از سازوکارهای تحمل، بهره‌وری و پایداری تولید در شرایط تنش تغذیه‌ای منجر شود و مسیر را برای معرفی ارقام کارآمد و سازگار با اهداف کشاورزی پایدار هموار سازد. در آزمایشی روی لوبیا قرمز، تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه بین سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ کیلوگرم اوره در هکتار) مشاهده شد. با افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد دانه در واحد سطح به طور قابل توجهی افزایش یافت. بالاترین عملکرد دانه با مصرف ۱۳۵ کیلوگرم اوره در هکتار و کمترین آن با ۴۵ کیلوگرم اوره به دست آمد. این اختلاف عملکرد به تأثیر نیتروژن در افزایش تعداد غلاف و وزن هزاردانه نسبت داده شد (Ganjipour, 2006). در آزمایشی دیگر روی لوبیا چیتی، بررسی سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۷۰ و ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار) نشان داد که درصد افزایش عملکرد در تیمار ۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به شاهد ۱۷ درصد و در تیمار ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حدود ۹ درصد بود (Mirzaei et al., 2020). همچنین، کاربرد ۵۰ و ۱۰ درصد کود نیتروژن در مقایسه با شاهد (بدون مصرف کود) به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه لوبیا به میزان ۳۸ و ۲۱ درصد، عملکرد بیولوژیک ۳۵ و ۱۲ درصد، وزن صد دانه ۹ و ۶ درصد و تعداد غلاف در بوته ۲۷ و ۱۰ درصد شد (Karimi Azar et al., 2022).

بنابراین با توجه به یافته‌های مطالعاتی مختلف مصرف بهینه کود شیمیایی در کشت لوبیا به دلیل تأثیر مستقیم بر عملکرد، کیفیت محصول و پایداری محیط زیست اهمیت دارد. استفاده متعادل از کودهای نیتروژنه رشد رویشی و زایشی را افزایش

می‌دهد، درحالی‌که مصرف بیش از حد، هزینه‌ها را بالا برده، خاک را آلوده کرده و باعث تجمع ترکیبات شیمیایی در گیاه می‌شود. بهینه‌سازی کوددهی با آزمون خاک و نیاز گیاه، کارایی مصرف آب و مواد مغذی را بهبود بخشیده و فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. این رویکرد، تولید پایدار و اقتصادی انواع لوبیا را در مناطق مختلف تضمین می‌کند. همچنین انتخاب رقم مناسب یکی دیگر از روش‌های افزایش عملکرد در هر محصول زراعی است با توجه به وجود ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف در لوبیا چیتی این مطالعه سعی داشت تا مقایسه‌ای بین دو رقم قدیمی و ژنوتیپ جدید در حال معرفی داشته باشد. با توجه به مطالب بالا، این پژوهش با هدف ارزیابی سطوح مختلف نیتروژن بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیک ارقام جدید مختلف لوبیا چیتی در شهرستان خمین اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژنی بر برخی صفات رشدی و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی پردیس تحقیقات و آموزش لوبیا در شهرستان خمین در سال ۱۴۰۱، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای

مورد مطالعه شامل مقادیر مختلف کود نیتروژن در پنج سطح شامل صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ژنوتیپ و ارقام لوبیا چیتی در سه سطح شامل لاین امیدبخش KS21492، کوشا و صالح بودند. نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام و نمونه‌ها جهت آنالیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل شدند. نتایج آنالیز خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به آنالیز خاک در این آزمایش ۵۰ کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت با خاک مخلوط شد و با توجه به سطح بالای پتاسیم خاک، نیازی به استفاده از کود پتاسیم نبود. همچنین، میزان نیتروژن موجود و در دسترس گیاه در طول فصل رشدی، از میزان ماده آلی خاک (۱/۴۶ درصد) محاسبه شد. بدین‌صورت که از این مقدار، فقط ۵ درصد نیتروژن ماده آلی خاک (۰/۷۳ درصد) را تشکیل می‌دهد و در طول فصل زراعی لوبیا، حدود ۰/۵ درصد به نیتروژن معدنی ($10^4 \times$ ۳/۶۵) تبدیل خواهد شد. با توجه به اینکه وزن خاک مزرعه در یک هکتار در عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) با وزن مخصوص ظاهری ۱/۴۴ گرم در سانتی‌متر مکعب، ۴۳۲۰ تن بود، میزان نیتروژن آزادسازی شده و در دسترس گیاه ۱۵/۷۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری
Table 1- Physical and chemical properties of the experimental site soil at a depth of 0 to 30 cm

اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی	کربنات کلسیم	ماده آلی	درصد اشباع	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	بافت خاک
pH (1:5)	EC (dS.m ⁻¹)	CaCO ₃	OC	SP (%)	N	P	K	Fe (mg.kg ⁻¹)	Zn	Cu	Soil texture
8.1	0.73	20	1.46	52	0.07	14.5	280	2.68	1.18	1.37	لومی رسی Loamy Silty

هر کرت شامل چهار خط کشت به طول شش متر با فاصله خطوط ۰/۵ متر بود. دو متر بین هر بلوک آزمایشی و یک‌ونیم متر بین هر کرت آزمایشی به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر واحدهای آزمایشی فاصله در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است، تراکم نهایی ارقام ایستاده و نیمه‌رونده ۵۰ و ۴۵ بوته در مترمربع و رقم رونده ۴۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Dorri et al., 2003). کشت در اواسط خردادماه ۱۴۰۱ (۱۴۰۴/۰۳/۱۵) انجام شد. قبل از کاشت برای جلوگیری و کنترل علف‌های هرز

از علف‌کش ترفلان (با ماده مؤثره ۴۸۰ گرم بر لیتر وزن به حجم در هکتار) از شرکت مشکفام استفاده شد. مقدار بذر مصرفی ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. آبیاری نیز به‌صورت نواری قطره‌ای با فاصله روزنه قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر که حدود ۲ لیتر در ساعت آبدهی داشت؛ انجام شد. اعمال نیتروژن براساس تیمارهای مورد نظر در سه مرحله زمان کشت، مرحله رویشی (V4) و بعد از گلدهی (R6) به‌صورت سرک و از منبع اوره انجام شد.

G_w : عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)، رابطه $(4) N_{UEb}$: کارایی استفاده (بهره‌وری) نیتروژن بر حسب عملکرد زیست‌توده و رابطه $(5) N_{UEg}$: کارایی استفاده (بهره‌وری) نیتروژن بر حسب عملکرد دانه می‌باشند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمالیتی انجام گرفته تا از توزیع نرمال باقیمانده‌ها اطمینان حاصل شود. برای آنالیز واریانس از روش مدل خطی عمومی (GLM) استفاده می‌شود. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی‌دار) در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات اصلی نیتروژن و ژنوتیپ بر صفت شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین و کمترین شاخص کلروفیل (به ترتیب ۳۹/۰۳ و ۳۰/۴۴) به ترتیب در تیمارهای عدم مصرف نیتروژن و کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن به دست آمد که تیمار برتر نسبت به شاهد (عدم کاربرد نیتروژن)، ۲۲/۰۱ درصد شاخص کلروفیل بالاتری داشت (جدول ۳). همچنین، نتایج نشان داد شاخص کلروفیل با زیست‌توده ($r^2=0.75^{**}$)، عملکرد دانه ($r^2=0.58^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r^2=0.87^{**}$)، نیتروژن جذب‌شده ($r^2=0.64^{**}$) و کارایی جذب ($r^2=0.53^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۸). این یافته با گزارش‌های پیشین همخوانی دارد که نشان داده‌اند، نیتروژن از عناصر کلیدی در سنتز کلروفیل است و افزایش آن موجب افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌ها و بهبود فعالیت فتوسنتزی می‌شود (Xu et al., 2012; Taiz et al., 2015). نیتروژن به عنوان جزء اصلی ساختاری کلروفیل، در فرایند جذب نور و تولید انرژی فتوسنتزی نقش مستقیم دارد (Marschner, 2012). بنابراین، افزایش شاخص کلروفیل در پاسخ به کاربرد نیتروژن احتمالاً می‌تواند نشانه‌ای از وضعیت تغذیه‌ای مناسب گیاه و عملکرد بالاتر آن باشد. در مطالعه‌ای مشخص شد که کاربرد سطوح بالاتر نیتروژن باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ لوبیا شد و نقش مؤثری در بهبود

در این آزمایش ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش از ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت سنجش گردید. زیست‌توده کل و عملکرد دانه نیز از مساحت سه مترمربع با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. همچنین، سنجش شاخص سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LI-3100C، شرکت LI-COR، آمریکا) از مساحت یک مترمربع انجام شد. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل نیز با دستگاه SPAD (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن) از ۱۰ بوته به طور تصادفی انجام شد. لازم به ذکر است، اندازه‌گیری‌ها با حذف اثر حاشیه صورت گرفت. همچنین، پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. سپس نمونه‌های خشک‌شده دانه لوبیا چیتی آسیاب شده و مقدار مشخصی از آن‌ها برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش کج‌لدال (مدل ۸۴۰۰، شرکت Foss، دانمارک) انجام شد؛ بدین صورت که ابتدا نمونه‌ها با مخلوطی از اسیدسولفوریک غلیظ و کاتالیزور مناسب هضم شدند تا ترکیبات آلی به آمونیوم تبدیل شوند. سپس مرحله تقطیر با افزودن سود سوزآور انجام شد و آمونیاک حاصل در محلول اسید بوریک اندازه‌گیری شد. در نهایت، محلول به دست آمده با اسیدسولفوریک ۰/۰۱ نرمال تیترو شد تا مقدار نیتروژن محاسبه گردد (Jat and Ahlawat, 2009). پس از اندازه‌گیری درصد نیتروژن، شاخص‌های مختلف کارایی نیتروژن با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Bingham et al., 2012):

$$N_{UE} = (N_{off} / N_s) \times 100 \quad (1)$$

$$N_{UEb} = B / N_{off} \quad (2)$$

$$N_{UEg} = G_w / N_{off} \quad (3)$$

$$N_{UEb} = B / N_s \quad (4)$$

$$N_{UEg} = G_w / N_s \quad (5)$$

در رابطه $(1) N_{UE}$: کارایی جذب نیتروژن، N_{off} : نیتروژن موجود در زیست‌توده (گرم در مترمربع)، N_s : نیتروژن موجود در خاک که شامل نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن مصرفی (گرم در مترمربع) می‌باشد. در رابطه $(2) N_{UEb}$: کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن بر حسب عملکرد زیست‌توده، B : عملکرد زیست‌توده (گرم بر مترمربع)، رابطه $(3) N_{UEg}$: کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن بر حسب عملکرد دانه،

فتوسنتز و عملکرد داشت (Fageria and Baligar, 2005). در ۲۱۴۹۲ و رقم کوشا به ترتیب با ۳۶/۲۵ و ۳۵/۹۸ شاخص بین ارقام مختلف کمترین شاخص کلروفیل مربوط به رقم صالح با ۳۵/۴ بوده که اختلاف معنی‌داری با سایر ارقام داشت و لاین

۲۱۴۹۲ و رقم کوشا به ترتیب با ۳۶/۲۵ و ۳۵/۹۸ شاخص کلروفیل اختلاف معنی‌داری با هم نداشت و نسبت به رقم صالح بالاتر بودند (جدول ۴).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس شاخص سبزی‌نگی، ارتفاع بوته، زیست‌توده و عملکرد دانه تحت تأثیر نیتروژن و ژنوتیپ در لوبیا چیتی

Table 2- Results of analysis of variance for spad, plant height, total biomass, and seed yield as affected by nitrogen and genotype in pinto bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares			
		شاخص کلروفیل Spad	ارتفاع بوته Plant height	زیست‌توده Total biomass	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	1.47 ^{ns}	2.69 ^{ns}	25244374*	492982*
نیتروژن Nitrogen	4	107**	50.42**	39840510**	2105377**
ژنوتیپ Genotype	2	2.81**	4215**	32237236**	4709882**
نیتروژن × ژنوتیپ Nitrogen × Genotype	8	0.37 ^{ns}	9.59 ^{ns}	1482929 ^{ns}	82441 ^{ns}
خطا Error	28	0.5	11.36	4919307	105681
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		1.98	5.35	20.33	1.98

^{ns}, * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

^{ns}, * and ** show not significant and significant at 5% and 1% level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، زیست‌توده و عملکرد دانه در لوبیا چیتی

Table 3- Mean comparison of nitrogen effects on spad, plant height, total biomass, and seed yield in pinto bean

سطوح نیتروژن Nitrogen levels (kg ha ⁻¹)	شاخص کلروفیل Spad	ارتفاع بوته Plant height (cm)	زیست‌توده Total biomass (Kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha ⁻¹)
0	30.44 ± 0.22e	60.44 ± 4.82c	8079 ± 507d	2970 ± 241c
40	34.82 ± 0.69d	61.44 ± 3.69bc	9864 ± 843cd	3193 ± 95c
80	36.75 ± 1.30c	62.44 ± 7.67bc	10690 ± 1365bc	3514 ± 311b
120	38.33 ± 0.17b	64.67 ± 3.94ab	12633 ± 1254ab	3999 ± 241a
160	39.03 ± 0.31a	66.22 ± 3.20a	13273 ± 1742a	4068 ± 103a

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means with common letters in each column do not have a significant difference.

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی بر شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، زیست‌توده و عملکرد دانه

Table 4- Mean comparison of pinto bean genotype effects on spad, plant height, total biomass, and seed yield

ژنوتیپ‌ها Genotypes	زیست‌توده Total biomass (Kg ha ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص کلروفیل Spad	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha ⁻¹)
لاین ۲۱۴۹۲ Line 21492	9219 ± 1125b	45.73 ± 1.7c	36.25 ± 0.33a	2954 ± 164c
کوشا Kosha	11851 ± 1258a	64.20 ± 6.26b	35.98 ± 0.69a	4067 ± 229a
صالح Saleh	11654 ± 1042a	79.20 ± 6.03a	35.40 ± 0.59b	3626 ± 203b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means with common letters in each column do not have a significant difference.

ژنوتیپ روی ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری نداشت، ولی اثرات

اصلی نیتروژن و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر برهم‌کنش نیتروژن و

شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین سطوح نیتروژن به ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بوته متعلق به تیمار کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن و شاهد (عدم کاربرد نیتروژن) به ترتیب با ۶۶/۲۲ و ۶۰/۴۴ سانتی متر بود (جدول ۳). همچنین، کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۶۴/۶۷ سانتی متر در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳). همچنین، اثرات اصلی ژنوتیپها نشان داد بیشترین ارتفاع بوته لوبیا چیتی (۷۹/۲ سانتی متر) در رقم صالح مشاهده شد (جدول ۴). کمترین مقدار این ویژگی نیز در لاین ۲۱۴۹۲ به دست آمد (جدول ۴). جدول همبستگی صفات نیز نشان داد ارتفاع بوته با زیست توده ($r=0.57^*$) و عملکرد دانه ($r=0.55^*$) همبستگی مثبت و معنی داری دارد (جدول ۸).

نیتروژن نقش کلیدی در فرایند تقسیم سلولی ایفا می کند، فرایندی که برای افزایش ارتفاع گیاه ضروری است. مصرف سطوح بالاتر نیتروژن موجب تحریک سنتز کلروفیل و بهبود فتوسنتز می شود، که در نتیجه انرژی لازم برای رشد و تقسیم سلولها فراهم می گردد (Puladas et al., 2024). افزایش دسترسی به نیتروژن، طول میانگره ها را افزایش می دهد؛ بخشی از ساقه که بین دو گره قرار دارد. این پدیده منجر به رشد عمودی بیشتر گیاه و در نهایت افزایش ارتفاع و زیست توده تولیدی آن می شود؛ موضوعی که در تحقیقات متعددی به اثبات رسیده است (Zhao et al., 2016; Puladas et al., 2024). بالا بودن ارتفاع بوته در رقم صالح نسبت به بقیه، نشان دهنده توان بالقوه ژنتیکی متفاوت ژنوتیپها در رشد عمودی است. رقم صالح به نظر می رسد کارایی بالاتری در استفاده از نیتروژن داشته و یا از ویژگی های ژنتیکی مساعدتری برای رشد رویشی برخوردار است.

زیست توده

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد، اثرات اصلی نیتروژن و ژنوتیپ بر صفت زیست توده در سطح احتمال یک درصد اثر معنی داری داشت (جدول ۲). کمترین میزان این ویژگی در تیمار عدم مصرف کود نیتروژنه مشاهده شد و بیشترین زیست توده از کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۳۲۷۳ کیلوگرم در هکتار و پس از آن کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در

هکتار با ۱۲۶۳۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد (عدم کاربرد نیتروژن)، به ترتیب ۳۹/۱۳ و ۳۶/۰۵ درصد بیشتر بودند (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین زیست توده به طور مشترک از ارقام کوشا و صالح با میانگین های ۱۱۸۵۱ و ۱۱۶۵۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و کمترین آن متعلق به لاین ۲۱۴۹۲ با میانگین ۹۲۱۹ کیلوگرم در هکتار بود. کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴) و نسبت به لاین ۲۱۴۹۲، ارقام کوشا و صالح به ترتیب ۲۰/۸۹ و ۲۲/۲۱ درصد، زیست توده بیشتری تولید کردند (جدول ۴). نتایج جدول همبستگی صفات نشان داد که زیست توده با شاخص کلروفیل ($r=0.75^{**}$)، ارتفاع بوته ($r=0.57^*$)، عملکرد دانه ($r=0.92^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r=0.85^{**}$) و نیتروژن جذب شده ($r=0.91^{**}$) همبستگی مثبت و معنی داری داشت (جدول ۸). نیتروژن یکی از عناصر ضروری برای گیاهان است که نقش مهمی در سنتز کلروفیل، رنگدانه کلیدی در فرایند فتوسنتز، ایفا می کند. افزایش دسترسی به نیتروژن موجب افزایش تولید کلروفیل، بهبود راندمان فتوسنتز و در نهایت افزایش تجمع زیست توده گیاهی می شود (Ribeiro et al., 2018; Koning et al., 2015). مطالعات متعددی نشان داده اند که کاربرد نیتروژن، محتوای کلروفیل را به طور معنی داری افزایش داده و باعث ارتقای نرخ فتوسنتز خالص در گیاهان مختلف، از جمله لوبیا شده است (Ribeiro et al., 2018; Koning et al., 2015). همچنین، استفاده از کودهای نیتروژنه اثرات مثبتی بر شاخص های رشدی نظیر ارتفاع گیاه، سطح برگ و تولید زیست توده در گیاه لوبیا داشته است (Ribeiro et al., 2018). پژوهشی نشان داد که مصرف بالاتر کود نیتروژنه منجر به افزایش رشد اندام های هوایی شده و به طور مستقیم در افزایش ارتفاع و تجمع زیست توده نقش داشت (Koning et al., 2015). این عنصر از طریق تحریک سنتز کلروفیل، بهبود عملکرد فتوسنتزی و توسعه بخش های رویشی، رشد و تولید زیست توده گیاه را تقویت می کند (Song et al., 2019). به علاوه، شواهدی وجود دارد که نشان می دهد، مصرف نیتروژن باعث بهبود رشد رویشی و افزایش وزن خشک در گیاه لوبیا می شود (Mourya and Kushwah, 2018).

در بررسی ژنوتیپها، رقم های کوشا و صالح به طور معنی داری زیست توده بیشتری نسبت به لاین ۲۱۴۹۲ تولید کردند. این تفاوت می تواند به تفاوت های ژنتیکی در کارایی

استفاده از نیتروژن، ظرفیت فتوسنتزی، سرعت رشد و توانایی توسعه سیستم ریشه‌ای مرتبط باشد. در مطالعه‌ای تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام لوبیا تأثیر قابل توجهی بر ظرفیت تثبیت نیتروژن و تولید ماده خشک داشت (Barbosa et al., 2018).

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که اثرات اصلی نیتروژن و ژنوتیپ روی عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر برهم‌کنش نیتروژن و ژنوتیپ تأثیری روی عملکرد دانه نداشت (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه لوبیا چیتی (۴۰۶۸ کیلوگرم در هکتار) در کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد و کمترین میزان این ویژگی (۲۹۵۴ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار عدم کاربرد این کود بود (جدول ۳). بلید در نظر داشت، کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۳). بررسی اثر ژنوتیپ‌ها نشان داد رقم کوشا با تولید ۴۰۶۷ کیلوگرم دانه در هکتار، بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و رقم صالح با ۳۶۲۶ کیلوگرم عملکرد دانه در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت و هر دو نسبت به لاین ۲۱۴۹۲ به‌ترتیب افزایش ۲۷/۶۳ و ۱۸/۵۳ درصدی عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). همبستگی صفات نیز نشان داد عملکرد دانه با شاخص کلروفیل ($r=0.58^*$)، ارتفاع بوته ($r=0.55^*$)، زیست‌توده ($r=0.92^*$)، شاخص سطح برگ ($r=0.83^{**}$) و نیتروژن جذب‌شده ($r=0.98^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۸).

ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی در عملکرد دانه تفاوت دارند؛ رقم کوشا به‌دلیل ویژگی‌های ژنتیکی برتر مانند ارتفاع و شاخص سطح برگ مناسب و رشد رویشی بهینه عملکرد دانه بالاتری داشت، درحالی‌که لاین ۲۱۴۹۲ عملکرد کمتری به‌علت محدودیت‌های منبع، مخزن و رشد زایشی نشان داد. کوددهی نیتروژن باعث بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک مختلف از جمله شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته می‌شود که بهبود عملکرد دانه گیاه را در پی دارد. نیتروژن تأثیر قابل توجهی بر تخصیص زیست‌توده بین برگ‌ها و ریشه‌ها دارد و به‌طور مستقیم بر سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی تأثیر مثبت می‌گذارد که این عامل در نهایت منجر به بهبود ظرفیت ماده‌سازی و بهبود عملکرد دانه خواهد شد (Basave-Villalobos et al., 2024).

(Mengesha, 2021).

نتایج تحقیقات نشان داد که مقادیر کافی نیتروژن می‌تواند سطح برگ را افزایش داده و در نتیجه جذب نور و فتوسنتز را که برای رشد گیاهان بسیار حیاتی است، افزایش دهد (Lawlor et al., 1988). انتقال مؤثر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها نقش مهمی در دستیابی به عملکرد مطلوب دارد. نیتروژن با تقویت مسیرهای متابولیکی مرتبط با انتقال و ذخیره مواد مغذی، این فرایند را تسهیل می‌کند. افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن، کیفیت دانه و پتانسیل عملکرد را بهبود می‌بخشد (Naeem et al., 2009).

مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد نیتروژن به‌طور قابل توجهی زیست‌توده ریشه و طول ریشه را در لوبیا افزایش می‌دهد، به‌طوری‌که افزودن نیتروژن منجر به افزایش عملکرد کاه، عملکرد دانه، وزن خشک ریشه و حداکثر طول ریشه در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا شد (Fageria et al., 2015).

شاخص سطح برگ (LAI)

اثر برهم‌کنش نیتروژن و ژنوتیپ روی شاخص سطح برگ معنی‌دار نبود، درحالی‌که اثر نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری روی شاخص سطح برگ داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، کاربرد ۱۶۰، ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب با ۴/۵۸، ۴/۴۹ و ۴/۲۹، شاخص سطح برگ بیشتری نسبت به سایر سطوح کاربرد نیتروژن داشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶).

بررسی ژنوتیپ‌ها نیز نشان داد رقم کوشا با ۴/۳۹، بالاترین شاخص سطح برگ را داشت و رقم صالح با ۴/۱۸، در رتبه بعدی قرار گرفت و به‌ترتیب با ۶/۸۳ و ۲/۱۵ درصد نسبت به لاین ۲۱۴۹۲، شاخص سطح برگ بیشتری داشتند (جدول ۷). نتایج نشان داد کاربرد نیتروژن نقش کلیدی در توسعه سطح برگ دارد؛ زیرا نیتروژن از اجزای اصلی کلروفیل و اسیدهای آمینه بوده و در فرایندهای رشد و گسترش برگ‌ها نقش مهمی دارد. همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده، افزایش تدریجی مقدار نیتروژن مصرفی از ۸۰ تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش شاخص سطح برگ از ۴/۲۹ به ۴/۵۸ شد، به‌طوری‌که این سه سطح نیتروژن در یک گروه آماری قرار گرفتند. این امر بیانگر آن است که افزایش نیتروژن تا حد مشخصی می‌تواند

نیز با ۴/۱۸ پس از کوشا قرار گرفت و هر دو نسبت به لاین ۲۱۴۹۲ شاخص سطح برگ بهتری نشان دادند. این یافته‌ها اهمیت انتخاب ژنوتیپ مناسب را در برنامه‌های به‌نژادی و کشت تجاری لوبیا چیتی نشان می‌دهد؛ چرا که سطح برگ بالاتر به معنای توان بیشتر در جذب نور، تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه تأمین بهتر نیازهای متابولیک گیاه است که در نهایت به افزایش عملکرد منجر می‌شود. برگ‌هایی با سطح وسیع‌تر توانایی جذب نور بیشتری دارند که این امر نقش اساسی در فرایند فتوسنتز ایفا می‌کند. ساختار برگ به‌طور مستقیم با توان گیاه در بهره‌برداری مؤثر از انرژی خورشیدی ارتباط دارد (Raza et al., 2019).

رشد برگ‌ها را افزایش دهد، اما پس از رسیدن به یک حد آستانه (۸۰ کیلوگرم در هکتار)، افزایش بیشتر نیتروژن تأثیر چشمگیری نداشته و اختلاف آماری با بقیه سطوح مصرف نیتروژن ندارد. این موضوع از منظر اقتصادی و زیست‌محیطی حائز اهمیت است، زیرا نشان می‌دهد که برای دستیابی به شاخص سطح برگ مطلوب، نیازی به مصرف بیش از حد نیتروژن نیست. از سوی دیگر، بررسی اثر ژنوتیپ‌ها (جدول ۷) نشان داد رقم کوشا با شاخص سطح برگ ۴/۳۹ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، رشد برگ‌گی بیشتری داشته است. این برتری می‌تواند به ویژگی‌های ژنتیکی مرتبط با پتانسیل فتوسنتزی، سرعت رشد رویشی یا ساختار مطلوب‌تر برگ‌ها مربوط باشد. رقم صالح

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص سطح برگ، نیتروژن جذب‌شده و کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر نیتروژن و ژنوتیپ لوبیا چیتی

Table 5- Results of analysis of variance for leaf area index, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency as affected by nitrogen and genotype in pinto bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares		
		کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	نیتروژن جذب شده Nitrogen uptake	شاخص سطح برگ Leaf area index (LAI)
بلوک Block	2	14.56*	341 ^{ns}	0.054 ^{ns}
نیتروژن Nitrogen	4	3467**	2130**	1.224**
ژنوتیپ Genotype	2	465**	3985**	0.375*
نیتروژن × ژنوتیپ Nitrogen × Genotype	8	29.31**	95.48 ^{ns}	0.059 ^{ns}
خطا Error	28	2.68	133	0.0109
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		4.53	11.28	7.82

^{ns}, * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

^{ns}, * and ** show not significant and significant at 5% and 1% level, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر شاخص سطح برگ و نیتروژن جذب‌شده در لوبیا چیتی

Table 6- Mean comparison of nitrogen effects on leaf area index, and nitrogen uptake in pinto bean

سطوح نیتروژن Nitrogen levels (kg ha ⁻¹)	نیتروژن جذب‌شده Nitrogen uptake (kg ha ⁻¹)	شاخص سطح برگ Leaf area index (LAI)	سطوح نیتروژن Nitrogen levels (kg ha ⁻¹)
0	81.39 ± 5.42c	3.65 ± 0.24c	0
40	92.26 ± 3.68c	4.07 ± 0.07b	40
80	104.32 ± 7.59b	4.29 ± 0.1ab	80
120	118.05 ± 7.26a	4.49 ± 0.19a	120
160	114.79 ± 2.65ab	4.58 ± 0.23a	160

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means with common letters in each column do not have a significant difference.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی بر شاخص سطح برگ و نیتروژن جذب‌شده

Table 7- Mean comparison of pinto bean genotype effects on leaf area index, and nitrogen uptake

ژنوتیپ‌ها	زیست توده	ارتفاع بوته
Genotypes	Total biomass (Kg ha ⁻¹)	Plant height (cm)
لاین ۲۱۴۹۲	9219 ± 1125b	45.73 ± 1.7c
Line 21492		
کوشا	11851 ± 1258a	64.20 ± 6.26b
Kosha		
صالح	11654 ± 1042a	79.20 ± 6.03a
Saleh		

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means with common letters in each column do not have a significant difference.

در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به سایر سطوح نشان می‌دهد که در این مقدار، دسترسی گیاه به نیتروژن معدنی در خاک به حداکثر رسیده و ظرفیت جذب ریشه‌ها نیز به درستی فعال شده است. همچنین، گروه‌بندی آماری مشابه تیمارهای ۱۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن نشان می‌دهد که در این دو سطح، تفاوت در جذب نیتروژن از لحاظ آماری چندان زیاد نیست، که ممکن است به دلیل رسیدن به حد اشباع جذب توسط گیاه یا محدودیت در کارایی جذب پس از یک آستانه مشخص باشد. افزایش نیتروژن جذب‌شده به‌طور مستقیم به بهبود عملکرد گیاه در فرآیندهایی مانند سنتز پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و ساختارهای سلولی کمک می‌کند (Zhen et al., 2017).

در نهایت منجر به رشد بهتر و عملکرد بالاتر می‌شود. از سوی دیگر، بررسی تفاوت ژنوتیپ‌ها نیز نشان داد که رقم کوشا دارای توان بالاتری در جذب نیتروژن است که می‌تواند به عواملی چون گستردگی و تراکم بیشتر سیستم ریشه‌ای، راندمان بالاتر در انتقال نیتروژن از ریشه به بخش هوایی و کارایی بیشتر در استفاده از منابع خاکی و کودی مربوط باشد. این برتری در جذب نیتروژن باعث شده که این رقم نسبت به رقم صالح و به‌ویژه لاین ۲۱۴۹۲، مزیت آشکاری از نظر تأمین نیتروژن مورد نیاز خود داشته باشد. لاین ۲۱۴۹۲ با پایین‌ترین میزان نیتروژن جذب‌شده، احتمالاً دارای محدودیت‌هایی در جذب مؤثر نیتروژن است. بنابراین، این نتایج نشان‌دهنده آن است که انتخاب ژنوتیپ‌های با راندمان جذب نیتروژن بالا در کنار مدیریت مناسب کوددهی می‌تواند نقشی کلیدی در بهبود تغذیه گیاه و افزایش عملکرد ایفا کند.

مطالعات نشان داده‌اند که افزایش مصرف نیتروژن با بهبود صفات رشدی مانند ارتفاع گیاه و تعداد غلاف، به‌طور مستقیم موجب افزایش شاخص سطح برگ به‌عنوان معیاری از نسبت کل سطح برگ به سطح زمین و یکی از عوامل کلیدی در توان فتوسنتزی گیاه لوبیا می‌گردد (Ribeiro et al., 2018). جدول همبستگی صفات نیز نشان داد شاخص سطح برگ با شاخص کلروفیل ($r=0.87^{**}$)، زیست‌توده کل ($r=0.85^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.83^{**}$) و نیتروژن جذب‌شده ($r=0.85^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۸).

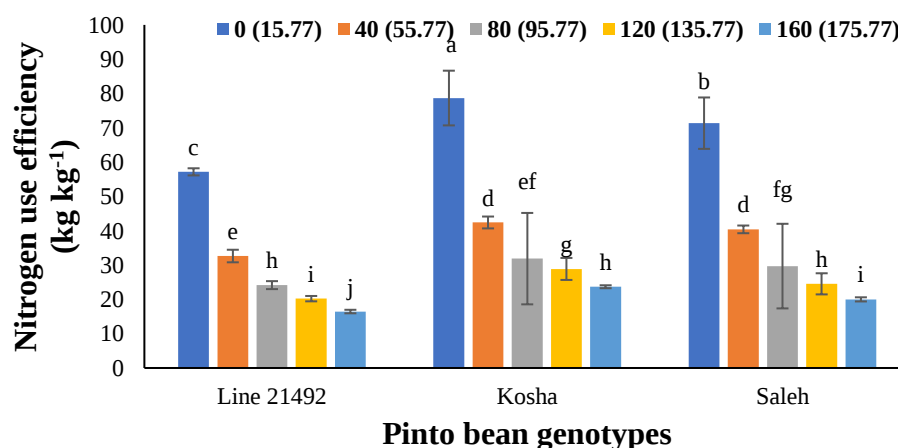
نیتروژن جذب‌شده

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات نیتروژن و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر نیتروژن جذب‌شده معنی‌دار شد (جدول ۵). بیشترین نیتروژن جذب‌شده با کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۱۴/۷۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۶) و با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۶). کمترین مقدار این ویژگی (۸۱/۳۹ کیلوگرم در هکتار) نیز متعلق به تیمار عدم مصرف کود نیتروژنه بود (جدول ۶). همچنین، اثر ژنوتیپ‌ها نشان داد رقم کوشا با ۳۱/۱۱۸ کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار نسبت به رقم صالح و لاین ۲۱۴۹۲ به‌ترتیب، ۱۵/۴۸ و ۳۸/۰۵ درصد نیتروژن جذب‌شده بیشتری داشت (جدول ۷) و کمترین مقدار در لاین ۲۱۴۹۲ با ۸۵/۷۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۷). همچنین، نیتروژن جذب‌شده با ارتفاع بوته ($r=0.64^{**}$)، زیست‌توده کل ($r=0.91^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.98^{**}$) و شاخص سطح برگ ($r=0.85^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۸). افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر برهم‌کنش نیتروژن و ژنوتیپ روی کارایی مصرف نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه اثر برهم‌کنش نیتروژن و ژنوتیپ نیز نشان داد، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن از تیمار عدم کاربرد نیتروژن در رقم کوشا با ۷۸/۶۸ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده مشاهده شد و تیمار عدم کاربرد نیتروژن در رقم صالح با ۷۱/۳۶ کیلوگرم در هکتار در رتبه دوم قرار گرفت (شکل ۱). این درحالی است که تیمار کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در لاین ۲۱۴۹۲ با ۱۶/۴۵ کیلوگرم در هکتار، کمترین کارایی مصرف نیتروژن را داشت (شکل ۱). نتایج نشان داد کارایی جذب نیتروژن با ارتفاع بوته ($r^2=0.53^*$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۸). کارایی مصرف نیتروژن که به نسبت عملکرد دانه به‌میزان نیتروژن مصرف‌شده اشاره دارد، شاخصی مهم در ارزیابی بهره‌وری تغذیه‌ای گیاه محسوب می‌شود. بیشترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن در رقم کوشا تحت شرایط بدون مصرف نیتروژن مشاهده شد که نشان‌دهنده توان بالای این ژنوتیپ در استفاده مؤثر از نیتروژن خاک و منابع مختلف محیطی می‌باشد. همچنین، رقم صالح نیز در شرایط بدون کود نیتروژنی عملکرد قابل‌توجهی از خود نشان داد که حاکی از ویژگی‌های ژنتیکی مساعد آن در شرایط کم‌نیتروژن است. درمقابل، کمترین کارایی مصرف نیتروژن در لاین ۲۱۴۹۲ با کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد که ممکن است ناشی از ضعف در توانایی جذب یا استفاده مؤثر از نیتروژن باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش نیتروژن

به‌تنهایی منجر به بهبود کارایی نمی‌شود و در صورتی که ژنوتیپ توانایی استفاده مناسب از نیتروژن اضافی را نداشته باشد، منجر به کاهش کارایی مصرف آن خواهد شد. همچنین، این موضوع بیانگر آن است که مصرف بی‌رویه کود نیتروژنه نه‌تنها از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست، بلکه ممکن است با کاهش راندمان مصرف، آسیب‌های زیست‌محیطی نیز به‌همراه داشته باشد. بنابراین، انتخاب ژنوتیپ‌هایی با کارایی مصرف نیتروژن بالا در شرایط محدودیت نیتروژن، به‌ویژه برای سیستم‌های کشاورزی پایدار و کم‌نهاد، از اهمیت زیادی برخوردار است. به نظر می‌رسد علت کارایی پایین جذب نیتروژن در شرایط کاربرد مقدار زیاد کود نیتروژن تا حد زیادی ناشی از تفاوت در عملکرد دانه‌ی لوبیا تولیدی تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن مصرفی باشد (که مستقیماً در جذب نیتروژن از خاک تأثیرگذار است). در نتیجه اگرچه با افزایش کاربرد کود نیتروژن عملکرد افزایش یافت ولی توانایی گیاه در جذب نیتروژن هم راستا با افزایش در میزان مصرف کود نمی‌باشد. در یک پژوهش اظهار شد که در کشت لوبیا چیتی دیم، افزایش مصرف کود نیتروژنه از ۵۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن را تا ۳۰٪ کاهش داد، زیرا نیتروژن اضافی به‌صورت نیترات شسته شده یا به گازهای گلخانه‌ای تبدیل شد (Hassan et al., 2023). در مطالعه دیگر مشخص شد که در کشت لوبیا چیتی، افزایش مصرف کود نیتروژنه از ۴۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن را تا ۲۸٪ کاهش داد (Rahman et al., 2023).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش نیتروژن و ژنوتیپ بر کارایی مصرف نیتروژن در لوبیا چیتی

Figure 1- Mean comparison of interaction effect of nitrogen and genotype on nitrogen use efficiency in pinto bean.

جدول ۸- همبستگی صفات مورد مطالعه در لوبیا چیتی

Table 8- Correlation of the studied traits

صفات	شاخص Spad Spad index	ارتفاع بوته Plant height	زیست توده Total biomass	عملکرد دانه Grain yield	شاخص سطح برگ Leaf area index	نیتروژن جذب شده Nitrogen uptake	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen use efficiency
شاخص Spad	1.00						
Spad index							
ارتفاع بوته	0.03 ^{ns}	1.00					
Plant height							
زیست توده	0.75 ^{**}	0.57 [*]	1.00				
Total biomass							
عملکرد دانه	0.58 [*]	0.55 [*]	0.92 ^{**}	1.00			
Grain yield							
شاخص سطح برگ	0.87 ^{**}	0.22 ^{ns}	0.85 ^{**}	0.83 ^{**}	1.00		
Leaf area index							
نیتروژن جذب شده	0.64 [*]	0.47 ^{ns}	0.91 ^{**}	0.98 ^{**}	0.85 ^{**}	1.00	
Nitrogen uptake							
کارایی جذب							
نیتروژن	0.53 [*]	-0.24 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.39 ^{ns}	1.00
Nitrogen use efficiency							

^{ns}, * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم همبستگی و همبستگی در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

^{ns}, * and ** indicate no correlation, and significant correlation at the 5% and 1% probability levels, respectively.

بررسی، رقم کوشا بیشترین عملکرد دانه و زیست توده را تولید کرد و از کارایی بالایی در استفاده از نیتروژن برخوردار بود. لاین ۲۱۴۹۲ نیز با وجود شاخص کلروفیل نسبتاً بالا، از نظر عملکرد نهایی دلنه ضعیف تر عمل کرد. نتایج نشان داد رقم کوشا در ترکیب با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین عملکرد دانه را در شهرستان خمین داشت.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد نیتروژن نقش کلیدی در بهبود صفات فیزیولوژیک و زراعی لوبیا چیتی دارد. کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف نیتروژن) موجب افزایش قابل توجهی در شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، زیست توده کل و عملکرد دانه شد. این امر بیانگر آن است که نیتروژن از طریق بهبود فتوسنتز و رشد رویشی، توان بالقوه گیاه برای تولید ماده خشک و عملکرد را افزایش می دهد. در بین ژنوتیپ های مورد

References

- Barbosa, N., Portilla, E., Buendia, H.F., Raatz, B., Beebe, S. and Rao, I., 2018. Genotypic differences in symbiotic nitrogen fixation ability and seed yield of climbing bean. *Plant Soil*, 428, pp.223–239. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3665-y>
- Basave-Villalobos, E., Valenzuela-Núñez, L.M., García-Rodríguez, J.L., Sarmiento-López, H., García-Pérez, J. L., Calixto-Valencia, C.G. and Sigala, J.A., 2024. Morpho-physiological and biochemical responses in *Prosopis laevigata* seedlings to varied nitrogen sources. *Nitrogen*, 5(4), pp.857-870. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5040055>

- Beebe, S.E., Rao, I.M., Blair, M.W. and Acosta-Gallegos, J.A., 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 4(35). <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035>
- Broughton, W.J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P. and Vanderleyden, J., 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) model food legumes. *Plant and Soil*, 252(1), pp.55–128. <https://doi.org/10.1023/A:1024146710611>
- Dorri, H., Ghanbari, A., Lak, M.R. and Ben Jamal, M., 2003. Guide to beans: Educational technology services office. Agricultural Research, Education and Extension Organization.
- Eblagh, N., Fateh, E., Farzane, M. and Osfuri, M., 2014. Effect of cattle manure application, phosphate solubilizing bacteria and different phosphorus levels on yield and essence components of *Trachyspermum Ammi* L. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23, pp.1-15. [In Persian].
- Fageria, N.K. and Baligar, V.C., 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, pp.97–185. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(05)88004-6)
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Jones, C.A., 2010. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops (3rd Ed). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10160>
- Fageria, N.K., Melo, L.C. and Carvalho, M.C.S., 2015. Influence of nitrogen on growth, yield, and yield components and nitrogen uptake and use efficiency in dry bean genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(19), pp.2395–2410. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1081696>
- FAO., 2016. International Year of Pulses 2016: Final Report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erismann, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R. Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P. and Sutton, M.A., 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), pp.889–892. <https://doi.org/10.1126/science.1136674>
- Ganjipour, B., 2006. Growth and yield of beans at different levels of nitrogen application and plant density in field conditions. MS Thesis, Faculty of Agricultural Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz. [In Persian].
- Graham, P.H. and Vance, C.P., 2003. Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*, 131(3), pp.872–877. <https://doi.org/10.1104/pp.017004>
- Hassan, M.A., Islam, M.R., and Rahman, M.M., 2023. Nitrogen use efficiency declines with increasing nitrogen application in rainfed pinto bean production. *Agricultural Systems*, 214, 103845. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103845>
- Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Mokhtassi-Bidgoli, A., 2020. Effect of nitrogen on some quantitative and qualitative traits of *Dracocephalum kotschy* Boiss. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(3), pp.705-717. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.284713.1674>
- Jat, R.A. and Ahlawat, I., 2009. Effect of farmyard manure, source and level of sulphur on growth attributes, yield, quality and total nutrient uptake in pigeonpea (*Cajanus cajan*) and groundnut (*Arachis hypogaea*) intercropping system. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 79, pp.1016-1019.

- Karimi Azar, M., Majnoun Hosseini, N. and Bihamta, M., 2022. Yield response of bean genotypes to irrigation stress and nitrogen fertilizer levels. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), pp.129-139. <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.320744.1171>
- Khamadi, F., Mesgarbashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M. and Enayatyzamir, N., 2016. The Effect of crop residue and different NPK fertilizer rates on yield components and yield of wheat. *Journal of Agroecology*, 8(4), pp.536-550. <https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.40656>
- Koning, L.A., Veste, M., Freese, D. and Lebzien, S., 2015. Effects of nitrogen and phosphate fertilization on leaf nutrient content, photosynthesis, and growth of the novel bioenergy crop *Fallopia sachalinensis* cv. 'Igniscum Candy'. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, pp.22-28. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.005>
- Lawlor, D.W., Boyle, F.A., Keys, A.J., Kendall, A.C. and Young, A.T., 1988. Nitrate nutrition and temperature effects on wheat: a synthesis of plant growth and nitrogen uptake in relation to metabolic and physiological processes, *Journal of Experimental Botany*, 39(3), pp.329-343, <https://doi.org/10.1093/jxb/39.3.329>
- Marschner, H., 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed). Academic Press.
- Mengesha, M., 2021. Effect and roles of nitrogen supply on photosynthesis. *International Journal of Photochemistry and Photobiology*, 5(2), pp.19-27. <https://doi.org/10.11648/j.ijpp.20210502.12>
- Mirzaei, M.S., Majnoun Hoseini, N. and Mirabzade, M., 2020. Effects of irrigation cutting off at different growth stages and nitrogen fertilizer levels on pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), pp.101-110. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.283238.654616>
- Mourya, B.S. and Kushwah, S.S., 2018. Effect of nitrogen levels on growth, yield, seed quality and economics of French bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties. *Current Horticulture*, 6(1), pp.27-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.48165/>
- Mudryj, A.N., Yu, N. and Aukema, H.M., 2014. Nutritional and health benefits of pulses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(11), pp.1197-1204. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0557>
- Naeem, M., Khan, M.M.A. and Morris, J.B., 2009. Agrobotanical attributes, nitrogen-fixation, enzyme activities and nutraceuticals of hyacinth bean (*Lablab purpureus* L.): A bio-functional medicinal legume. *American Journal of Plant Physiology*, 4(2), pp.58-69. <https://doi.org/10.3923/ajpp.2009.58.69>
- Puladas, S.S., Singh, S., Nawhal, A., Sanjeev, K.C.J. and Minz, N., 2024. Efficacy of nitrogen and *Azolla* spp. on growth and yield of black rice (*Oryza sativa* L.). *Environment Conservation Journal*, 25(3), pp.741-746. <https://doi.org/10.36953/ecj.27522829>
- Rahman, M.M., Hossain, M.A., and Islam, M.R., 2024. Declining nitrogen use efficiency with increasing nitrogen rates in pinto bean under rainfed conditions. *Field Crops Research*, 310, 109234. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109234>
- Raza, M.A., Feng, L.Y., Khalid, M.H.B., Iqbal, N., Meraj, T.A., Hassan, M.J., Ahmed, S., Chen, Y.K., Feng, Y. and Wenyu, Y., 2019. Optimum leaf excision increases the biomass accumulation and seed yield of maize

- plants under different planting patterns. In *Annals of Applied Biology*, 175(1), pp.54–68. <https://doi.org/10.1111/aab.12514>
- Ribeiro, J.E. da S., Leite, A.P., Costa, J.E., Albuquerque, M.B. de. and Mielezski, F., 2018. Development, physiology and productivity of the common bean under different nitrogen doses. *Journal of Agricultural Science*, 10(6) p. 171. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n6p171>
- Ribeiro, J., Leite, A., Costa, J., Albuquerque, M. and Mielezski, F., 2018. Development, physiology and productivity of the common bean under different nitrogen doses. *Journal of Agricultural Science*, 10(6), pp.171–183. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n6p171>
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. and Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3–4), pp.247–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
- Song, X., Zhou, G., Ma, B.L., Wu, W., Ahmad, I., Zhu, G., Yan, W. and Jiao, X., 2019. Nitrogen application improved photosynthetic productivity, chlorophyll fluorescence, yield and yield components of two oat genotypes under saline conditions. *Agronomy*, 9(3) p.115. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030115>
- Spalding, R.F. and Exner, M.E., 1993. Occurrence of nitrate in groundwater A review. *Journal of Environmental Quality*, 22(3), pp.392–402. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200030002x>
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A. and Pisante, M., 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: An overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), p.2. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A., 2015. *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. and Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), pp.671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Xu, G., Fan, X. and Miller, A.J., 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, pp.153–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>
- Zhao, X., Bi, G., Harkess, R.L., Varco, J.J., Li, T. and Blythe, E.K., 2016. Nitrogen fertigation rates affect stored nitrogen, growth, and blooming in iris germanica ‘Immortality’. *HortScience*, 51(2), pp.186–191. <https://doi.org/10.21273/hortsci.51.2.186>
- Zhen, S., Deng, X., Zhang, M., Zhu, G., Lv, D., Wang, Y., Zhu, D. and Yan, Y., 2017. Comparative phosphoproteomic analysis under high-nitrogen fertilizer reveals central phosphoproteins promoting wheat grain starch and protein synthesis. *Frontiers in Plant Science*, 8, p.67. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00067>