University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 14, No. 2, Summer 2024 (155-168)
doi: 10.22124/CR.2024.25845.1831
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Effect of varying nitrogen fertilizer levels on tissue nitrogen content, leaf area, and biomass in rice (*Oryza sativa* L. cv Hashemi)

Sahebeh Valiollahi[1], Mohsen Zavareh[2*], Masoud Kavoosi[3] and Asadollah Shahbahrami[4]

1. Ph. D. Student, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran ([*] Corresponding author: mzavareh@guilan.ac.ir)
3. Research Associate Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
4. Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Optimizing nitrogen fertilizer use is crucial for increasing efficiency and reducing its adverse environmental impacts in rice paddies. However, accurately predicting the timing of nitrogen requirements and effectively managing it in rice cultivation is challenging. Due to low nitrogen use efficiency and the difficulty in precisely forecasting plant needs, only 30-50% of the applied nitrogen is typically absorbed by the crop. Utilizing digital imagery to estimate the nitrogen content in rice leaves can aid farmers in managing fertilization by providing a relatively accurate assessment of the plant's nitrogen status. This approach requires establishing a relationship between the amount of applied nitrogen, the plant's nitrogen content, and the parameters of digital images. Therefore, given the importance of rice cultivation in Guilan and the necessity of optimizing nitrogen use, this study was designed and conducted to investigate the effect of varying nitrogen application rates on nitrogen content, leaf area, and biomass of Hashemi rice in Rasht.

Materials and methods

This experiment was conducted during the 2016-2017 growing season as a randomized complete block design with three replications at the research farm of the Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, on Hashemi rice. Seven nitrogen levels (0, 30, 45, 60, 75, 90, and 105 kg N/ha from urea) were applied as the experimental treatments. Transplanting occurred on April 30, with three seedlings per hill, spaced 20×20 cm apart, in plots measuring 3×2 meters. Samples were collected at various growth stages to measure plant nitrogen content, leaf area, and dry biomass. The data were analyzed using ANOVA, followed by Duncan's multiple range test for mean comparisons.

Research findings

The analysis of variance revealed that increasing nitrogen application up to 45 kg/ha did not significantly affect plant nitrogen content compared to the control, while 60 kg/ha resulted in a significant difference compared to both 30 kg/ha and the control. Further increases beyond 60 kg/ha had no significant effect on tissue nitrogen content. The findings also indicated that the highest nitrogen content occurred at the tillering and booting stages, while the lowest was observed at the transplanting time. Nitrogen application also had a significant impact on leaf area, with the largest leaf areas recorded at 90 and 105 kg N/ha, and the smallest in the control, which showed no significant difference from the 30 and 45 kg N/ha treatments. The significant interaction effect of nitrogen application and sampling time on biomass indicated that the highest biomass was observed at 105 kg

N/ha during the booting stage. Increasing nitrogen not only increased biomass but also altered the proportion of biomass accumulated at different growth stages relative to total biomass.

Conclusion

Overall, the findings of this study suggest that the optimal nitrogen rate for enhancing nitrogen content in rice tissues ranges between 45 and 60 kg N/ha. To achieve at least 95% of the maximum tissue nitrogen content, a minimum of 57.64 kg N/ha is required. This level of nitrogen application not only boosts nitrogen content and plant biomass but also plays a crucial role in improving efficiency and reducing nitrogen losses in rice paddies.

Keywords: Booting stage, Efficiency, Maximum tillering stage, optimal nitrogen use, Sampling time

Received: August 17, 2024 Accepted: September 1, 2024

Cite this article:

Valiollahi, S., Zavareh, M., Kavoosi, M., & Shahbahrami, A. (2024). Effect of varying nitrogen fertilizer levels on tissue nitrogen content, leaf area, and biomass in rice (*Oryza sativa* L. cv Hashemi). *Cereal Research*, *14*(2), 155-168. doi: 10.22124/CR.2024.25845.1831.

تحقیقات غلات
دوره چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳ (۱۶۸-۱۵۵)
doi: 10.22124/CR.2024.25845.1831
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن بافت، سطح برگ و زیست‌توده برنج (*Oryza sativa* L. cv. Hashemi)

صاحبه ولی‌اللهی[۱]، محسن زواره[۲*]، مسعود کاوسی[۳] و اسداله شاه‌بهرامی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران (* نویسنده مسئول: mzavareh@guilan.ac.ir)
۳- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۴- استاد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیده جامع

مقدمه: بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن برای افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات نامطلوب زیست‌محیطی آن در شالیزارها، اهمیت زیادی دارد. با این‌حال، پیش‌بینی دقیق زمان نیاز گیاه به نیتروژن و مدیریت مناسب آن در زراعت برنج چالش‌برانگیز است، زیرا به‌دلیل کارایی پایین استفاده از آن و دشواری پیش‌بینی دقیق نیاز گیاه، تنها بین ۳۰ تا ۵۰ درصد از کود نیتروژن مصرفی جذب گیاه می‌شود. استفاده از تصاویر دیجیتال و ارتباط دادن آن‌ها با مقدار نیتروژن برگ برنج، می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا بتوانند با برآورد نسبتاً درستی از وضعیت نیتروژن گیاه، میزان کود مصرفی را مدیریت کنند. این کار مستلزم تعیین ارتباط بین مقدار نیتروژن مورد استفاده با محتوای نیتروژن گیاه و پارامترهای تصاویر دیجیتال است. بنابراین، با توجه به اهمیت کشت برنج در استان گیلان و لزوم مصرف بهینه کود نیتروژن، این آزمایش با هدف بررسی اثر تغییرات مقدار نیتروژن مصرفی بر محتوای نیتروژن بافت، سطح برگ و زیست‌توده برنج طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعهٔ پژوهشی دانشکدهٔ علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. هفت مقدار نیتروژن (صفر، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره) به‌عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شدند. رقم برنج استفاده شده در این آزمایش رقم محلی هاشمی بود. نشاکاری در ۱۰ اردیبهشت‌ماه در کرت‌هایی به ابعاد ۲×۳ متر انجام شد و در هر کپه تعداد سه عدد نشا با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر نشا شد. از گیاهان نمونه‌برداری شده در مراحل مختلف رشد، برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن موجود در پیکره گیاه، سطح برگ و وزن خشک زیست‌توده استفاده شد. داده‌های به‌دست آمده پس از تجزیه واریانس، با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

یافته‌های تحقیق: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن تا ۴۵ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر محتوای نیتروژن بافت بوته‌های برنج در مقایسه با تیمار شاهد آزمایش نداشت، اما استفاده از ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری با کاربرد ۳۰ کیلوگرم نیتروژن و همچنین تیمار شاهد آزمایش داشت. این درحالی بود که افزایش مصرف

نیتروژن به بیش از ۶۰ کیلوگرم در هکتار هم تأثیر معنی‌داری بر محتوای نیتروژن بافت‌های برنج نداشت. یافته‌ها همچنین نشان دادند که بیش‌ترین محتوای نیتروژن مربوط به زمان شروع پنجه‌زنی و مرحله آبستنی گیاه و کم‌ترین آن مربوط به زمان نشاکاری بوته‌ها بود. در این آزمایش، نیتروژن مصرفی تأثیر بسیار معنی‌داری بر سطح برگ‌ها داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین سطح برگ در تیمارهای کودی ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد (بدون تفاوت معنی دار با تیمارهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) مشاهده شد. معنی‌دار شدن برهم‌کنش کود نیتروژن × زمان نمونه‌برداری روی زیست‌توده برنج نشان داد که بیش‌ترین زیست‌توده بوته مربوط به تیمار کاربرد ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مرحله آبستنی گیاه به‌دست آمد. نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی نه تنها مقدار زیست‌توده بوته افزایش یافت، بلکه موجب تغییر سهم زیست‌توده انباشته شده در مراحل مختلف نموی نسبت به زیست‌توده کل گیاه هم شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع یافته‌های این آزمایش نشان داد که میزان بهینه نیتروژن برای افزایش محتوای نیتروژن بافت‌های برنج بین ۴۵ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار است. برای رسیدن به حداقل ۹۵ درصد از بیش‌ترین محتوای نیتروژن در بافت گیاه، دست‌کم باید ۵۷/۶۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار استفاده شود. این مقدار مصرف نیتروژن نه تنها می‌تواند به افزایش محتوای نیتروژن و زیست‌توده گیاه کمک می‌کند، بلکه همچنین می‌تواند نقش مهمی در بهبود بهره‌وری و کاهش تلفات نیتروژن در شالیزار داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، زمان نمونه‌برداری، مرحله آبستنی، مرحله حداکثر پنجه‌زنی، مصرف بهینه نیتروژن

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

نحوه استناد به این مقاله:

ولی‌اللهی، صاحبه، زواره، محسن، کاوسی، مسعود، و شاه‌بهرامی، اسداله. (۱۴۰۳). اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن بافت، سطح برگ و زیست‌توده برنج (*Oryza sativa* L. cv Hashemi). *تحقیقات غلات*، ۱۴(۲)، ۱۶۸-۱۵۵.
doi: 10.22124/CR.2024.25845.1831

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌دلیل این که غذای اصلی و تأمین کننده کالری (در حدود ۴۰ درصد) بیش از نیمی از مردم جهان است، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی به‌شمار می‌آید. از این‌رو، تولید جهانی آن در دهه‌های اخیر در برابر افزایش تقاضا، زیاد شده است (Kaur *et al*., 2016). در ۲۰ سال اخیر، سطح زیر کشت و عملکرد جهانی برنج به‌ترتیب ۱۵۸ میلیون هکتار و ۴۳۱۰ کیلوگرم بر هکتار بوده است (FAO, 2022). قاره آسیا به‌عنوان مهم‌ترین قطب تولید برنج در دنیا، ۱۴۰ میلیون هکتار از سطح زیر کشت و ۶۷۶ میلیون تن از تولید جهانی برنج را به‌خود اختصاص داده است (FAO, 2022). میانگین ۲۰ ساله سطح زیر کشت برنج در ایران ۵۴۲ هزار هکتار، مقدار تولید آن دو میلیون و ۳۵۲ هزار تن و عملکرد آن ۴۳۵۳ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAO, 2022). در استان گیلان و در سال ۱۴۰۱ نیز ۲۳۸۵۴۴ هکتار زمین زراعی به کشت برنج اختصاص یافت که از آن بیش از یک میلیون و صد و چهار هزار تن برنج برداشت شده است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2023).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی است که کمبود آن سبب کاهش تولید گیاهان زراعی می‌شود (Evans & Burris, 1992). این عنصر مؤلفهٔ مهمی در ترکیب‌های آلی همانند اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها، کلروفیل، مولکول‌های ATP و نیکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید است (Bredemeier & Schmidhalter, 2005). از این‌رو، نقش مؤثری در استفاده گیاهان از نور، انتقال انرژی و تولید مواد غذایی دارد. به‌علاوه، نیتروژن بخشی از پروتئین‌های مختلف آنزیمی (Sinfield *et al*., 2010) است که در تولید مواد شیمیایی محافظ گیاه در برابر بیماری‌ها و آفات مشارکت دارد (Hoffland *et al*., 2000). فراهمی این عنصر می‌تواند بر میزان تقاضا برای سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر نیز اثر بگذارد (Fairhurst *et al*., 2007). بنابراین، عملکرد و زیست‌توده گیاه زراعی به‌شدت تحت تأثیر کود نیتروژن قرار می‌گیرد (Tremblay *et al*., 2011).

میانگین مقدار نیتروژن در ماده خشک گیاهان یک تا دو درصد است که گاهی به چهار تا شش درصد هم می‌رسد (Evans & Burris, 1992). این مقدار می‌تواند با توجه به محتوای نیتروژن خاک و شرایط گیاه برای جذب آن تغییر کند. به‌همین دلیل، در سیستم‌های تولید گیاهان زراعی، قابلیت دسترسی به نیتروژن موجود در خاک یکی از عوامل مهم و اثرگذار بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان است (Bredemeier & Schmidhalter, 2005). نیاز گیاهان به نیتروژن عمدتاً از راه مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار مدیریت می‌شود (Giller, 2001). مدیریت کود نیتروژن در کشاورزی، شامل بهینه‌سازی مصرف و افزایش کارایی استفاده از آن در سیستم‌ها است و در آن تأکید می‌شود که برای افزایش کارایی استفاده از نیتروژن، از نیتروژن غیرضروری و بیش از نیاز گیاهان استفاده نشود (Lawlor *et al*., 2001). با این‌حال، توصیه مقدار کود نیتروژن مصرفی برای گیاهان زراعی همیشه یک چالش بوده است، زیرا پیش‌بینی مقدار معدنی شدن نیتروژن از منابع آلی خاک طی فصل رشد گیاه، قابلیت تحرک بالای نیترات در پروفیل خاک (Bredemeier & Schmidhalter, 2005) و همچنین، پیش‌بینی دقیق عملکرد دشوار است.

در تولید برنج، حدود ۲۵-۲۱ درصد از کل کود نیتروژن مصرفی در کشاورزی کشورهای جهان و البته با کارآیی بسیار کم استفاده می‌شود (Mahajan *et al*., 2017). برای نمونه، بازده زراعی نیتروژن در هند ۱۳ (Prasad *et al*., 2000) و در چین ۱۰/۴ کیلوگرم (Zhang *et al*., 2007) دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن خالص مصرفی است. از دلایل این کارایی پایین می‌توان به هدرروی نیتروژن از راه رواناب سطحی در زمین‌های شیب‌دار، تبخیر آمونیاکی، انتشار به شکل اکسیدهای نیتروژن (NO و NO_2) و آب‌شویی نیترات و ورود آن به آب‌های جاری (Zou *et al*., 2005; Ussiri & Lal., 2012, 2013; Prasad *et al*., 2014; Prasad & Shivay, 2015) اشاره کرد که آلودگی زیست‌محیطی را به‌دنبال دارد (Crews & Peoples, 2005). N_2O و NO جدای از تأثیر بر کیفیت هوا، در گرم شدن زمین نیز مؤثرند (Aber *et al*., 1989; Muñoz-Huerta *et al*., 2013; Zebarth *et al*., 2009). همچنین، برنج در تمام یا بخشی از طول فصل رشد خود، غرقاب است. شرایط غرقابی محیط رشد ریشه برنج سبب دگرگونی قابلیت دسترسی و جذب چندین عنصر غذایی ضروری و کاهش کارآیی و بازده استفاده از کود می‌شود (Mahajan *et al*., 2017)، به‌طوری که فقط ۳۰ تا ۵۰ درصد از کود نیتروژن داده شده به شالیزار مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد (Tilman *et al*., 2002). روش‌های زراعی استفاده شده

برای کاهش این تلفات بر پایه استفاده متعادل و کافی مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن استوار بوده و شامل قرار دادن نشا در عمق بیش‌تر و استفاده از تقسیط نیتروژن است (Prasad, 2013). هر چند رویکردهای دیگری از جمله استفاده از مهارکننده‌های نیتریفیکاسیون (Prasad & Power, 1995)، مهارکننده‌های اوره‌آز (Kiss *et al*., 2002) و استفاده از کودهای کند آزاد شونده (Shaviv, 2000) نیز مورد توجه و استفاده است.

برای اطمینان از بهره‌وری بیش‌تر برنج، روش‌های مناسب مدیریت عناصر تبدیل به یکی از اجزای کلیدی فناوری مدرن تولید برنج شده است (Mahajan *et al*., 2017). یکی از عوامل مدیریتی برای دست‌یابی به بالاترین کارایی، رعایت درست زمان و مقدار مصرف کود نیتروژن است. برای استفاده بهینه از نیتروژن و افزایش کارایی استفاده از نیتروژن (NUE) دسترسی به اطلاعاتی درباره وضعیت نیتروژن خاک و گیاه ضروری است (Li *et al*., 2010). دسترسی به این داده‌ها نیازمند روش‌ها و ابزارهایی است که بتوانند زمان دقیق مصرف کود نیتروژن را مشخص کنند. روش‌های تجزیه خاک و بافت گیاه و استفاده از کلروفیل‌مترهای دستی و چارت‌های رنگی (Raun *et al*., 2008)، نمونه‌هایی از این ابزار و روش‌ها هستند. استفاده از داده‌های به‌دست آمده از تجزیه خاک و گیاه، اگرچه روش‌های دقیق‌تری هستند، اما به‌دلیل هزینه زیاد و زمان‌بر بودن فرایندهای شیمیایی، استفاده از آن‌ها دشوار است (Thorp *et al*., 2004). از این‌رو، بیش‌تر محققین به ابزارها و روش‌هایی تمایل دارند که بتواند داده‌های مورد نیاز را سریع‌تر، ساده‌تر و ارزان‌تر فراهم کنند، هر چند استفاده از برخی از این ابزارها مانند کلروفیل‌متر دستی، به‌دلیل اندازه‌گیری بخش‌های کوچکی از برگ‌ها مورد انتقاد قرار گرفته است (Jia *et al*., 2004).

استفاده از رنگ برگ‌ها و تصاویر دیجیتال که امروزه به‌کمک فناوری‌های نوین به‌سادگی می‌تواند در دسترس قرار گیرد هم می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه مورد استفاده قرار گیرد (Jia *et al*., 2004; Kawashima & Nakatani, 1998)، که نمونه‌ای از آن در گیاه گندم مورد استفاده قرار گرفته است (Zubillaga & Urricariet, 2005). استفاده از تصاویر دیجیتال و ارتباط دادن آن‌ها با مقدار نیتروژن برگ برنج، می‌تواند به کشاورزان، به‌ویژه در شرایط فراهم نبودن امکانات آزمایشگاهی، کمک کند تا در هر لحظه بتوانند برآورد نسبتاً درستی از وضعیت نیتروژن برگ‌های گیاه داشته باشند و راحت‌تر بتوانند کوددهی را مدیریت کنند. این کار مستلزم تعیین ارتباط مقدار نیتروژن مورد استفاده با محتوای نیتروژن بوته‌ها و سایر پارامترهای گیاهی است. از این‌رو، با توجه گستردگی و اهمیت کشت برنج در استان گیلان و لزوم مصرف بهینه نیتروژن در تولید دانه این گیاه، پژوهش حاضر اجرا شد که هدف از آن، بررسی اثر تغییرات مقدار نیتروژن مصرفی بر محتوای نیتروژن بافت، سطح برگ و زیست‌توده برنج رقم هاشمی در رشت بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه و ۲۸ ثانیه شرقی در نصف‌النهار گرینویچ و در ارتفاع ۲۶ متر بالاتر از سطح دریای آزاد اجرا شد. بارندگی طی دوره آزمایش ۲۹۳ میلی‌متر و میانگین کمینه و بیشینه دمای منطقه طی فصل رشد به‌ترتیب ۱۷/۵ و ۲۸ درجه سلسیوس بود (داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد). برای تعیین ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش، نمونه‌های تصادفی از عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متری نقاط مختلف مزرعه، تهیه و پس از مخلوط کردن و تهیه نمونه مرکب، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن توسط آزمایشگاه خاک مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

بذر رقم هاشمی از موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) تهیه و در اواخر فروردین در خزانه از پیش آماده‌شده بذرپاشی شد. بذرها پس از جوانه‌زنی و سبز شدن، تا زمان سه تا چهار برگی در خزانه نگهداری و پس از آن به زمین اصلی منتقل و نشا شدند. قبل از نشاکاری، مقدار کود هر کرت بر اساس تیمارهای کود نیتروژن به خاک اضافه شد. نشاکاری به‌صورت سه نشا در هر کپه با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در تاریخ دهم اردیبهشت در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۲ متر مربع به‌صورت دستی انجام شد. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل عدم استفاده از کود به‌عنوان شاهد و شش سطح نیتروژن خالص از منبع اوره (۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار) بودند که به نسبت مساوی طی سه مرحله (ابتدای نشاکاری، ابتدای پنجه‌دهی و زمان ظهور خوشه) به زمین داده شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری

Table 1. Physicochemical properties of soil at a depth of 0 to 30 cm in the experimental field

Depth (cm)	Electrical conductivity ($\times 10^3$ dS.m^{-1})	pH	Organic carbon (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
0-30	3.24	6.82	2.34	0.21	11.4	195	1	48	51	Silty clay

آبیاری به روش غرقاب دایم تا ۱۰ روز قبل از برداشت محصول انجام شد. برای جلوگیری از تبادل کودی بین تیمارها، مرز هر کرت با پلاستیکی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر پوشانده شد. سایر عملیات زراعی از قبیل وجین، مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌صورت مشابه در همه کرت‌ها طی فصل رشد انجام شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن موجود در پیکره گیاه، سطح برگ و زیست‌توده، چهار بوته مجاور هم به‌طور تصادفی و با رعایت اثر حاشیه طی شش مرحله از رشد گیاه (نشاکاری، استقرار نشا، آغاز پنجه‌زنی، حداکثر پنجه‌زنی، آغاز آبستنی و آبستنی)، انتخاب و برداشت شد. بوته‌ها بلافاصله با رعایت شرایط سرد به آزمایشگاه منتقل و سطح برگ‌های آن‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta-T Devices-WinDIAS 2 Image analysis system) تعیین شد. سپس، بوته‌ها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و با ترازوی دقیق وزن شدند. بوته‌های خشک شده، آسیاب شد و محتوای نیتروژن آن‌ها با روش هضم کجلدال و با استفاده از دستگاه کجل‌تک (Tecator Kjeltec 1030 Auto Analyzer) تعیین شد. تجزیه واریانس به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel 2019 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس محتوای نیتروژن بافت (جدول ۲) نشان داد که کوددهی تأثیر معنی‌داری بر محتوای نیتروژن بافت‌ها داشت و این تفاوت در زمان‌های مختلف رشد گیاه، متفاوت و معنی‌دار بود. بررسی تغییرات و مقایسه میانگین محتوای نیتروژن بافت در مقادیر مختلف نیتروژن مصرفی در مزرعه (شکل ۱) نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن تا ۴۵ کیلوگرم در هکتار، تأثیر معنی‌داری بر محتوای نیتروژن بافت برنج در مقایسه با شاهد (عدم مصرف نیتروژن) نداشت، در حالی‌که استفاده از ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری با کاربرد ۳۰ کیلوگرم نیتروژن و تیمار شاهد داشت. افزایش مصرف نیتروژن بیش از ۶۰ کیلوگرم هم تأثیر معنی‌داری بر محتوای نیتروژن بافت‌ها نداشت که نشان می‌دهد مصرف بهینه نیتروژن برای تأثیر بر محتوای نیتروژن بافت‌های برنج، مقداری بین ۴۵ تا ۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار است (شکل ۱). همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، بین مقدار نیتروژن مصرفی و محتوای نیتروژن بافت گیاه رابطه درجه دوم زیر برقرار بود:

$$y = 3.2992 + 0.0209x - 0.0001x^2 \qquad (۱)$$

که در آن، y نشان‌دهنده محتوای نیتروژن بافت گیاه به درصد و x مقدار نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) است. از آنجا که رأس رابطه، بیش‌ترین محتوای نیتروژن بافت گیاه را نشان می‌دهد، بنابراین، با توجه به رابطه (۱)، بیش‌ترین محتوای نیتروژن بافت گیاه، در x=145.5 کیلوگرم در هکتار رخ می‌دهد. با جای‌گذاری این مقدار در رابطه (۱)، بیش‌ترین محتوای نیتروژن در بافت گیاه (y_{max}) در حدود $y_{max} = 4.39\%$ خواهد شد. برای تعیین مقدار نیتروژن مصرفی که بتواند حداقل ۹۵ درصد از حداکثر محتوای نیتروژن در بافت گیاه را تضمین کند ($y_{threshold}$)، ۹۵ درصد مقدار حداکثر (y_{max}) محاسبه شد و به این ترتیب مقدار ۴/۱۷ درصد به‌دست آمد:

$$y_{threshold} = 0.95 \times y_{max} = 4.17\% \qquad (۲)$$

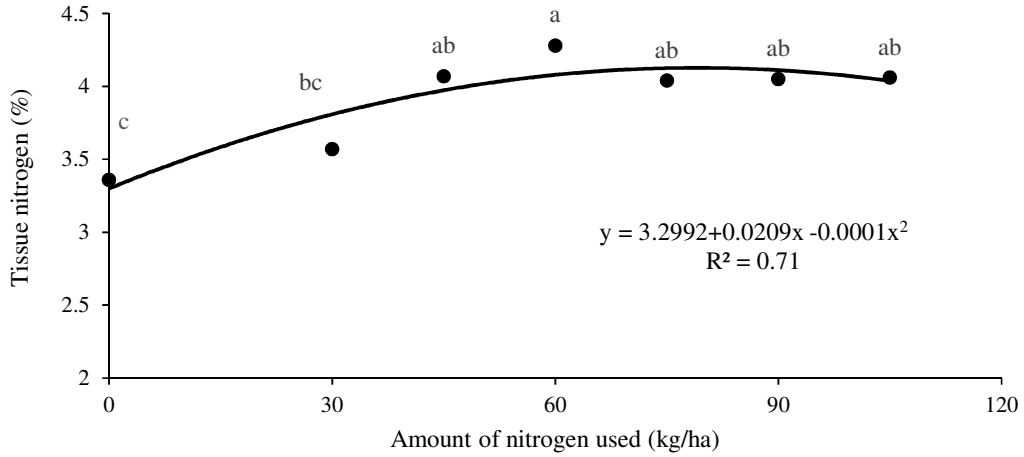
برای به‌دست آوردن مقادیر نیتروژن مصرفی که بتواند محتوای نیتروژن در بافت گیاه را به ۴/۱۷ درصد برساند، رابطه (۱) حل شد و مقادیر x_1 = 57.64 kg/ha و x_2 = 151.36 kg/ha برای x به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهند که برای رسیدن به حداقل ۹۵ درصد از بیش‌ترین محتوای نیتروژن در بافت گیاه، دست‌کم باید ۵۷/۶۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مصرف شود. این مقدار در دامنه ۴۵ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژنی است که پیش‌تر به آن اشاره شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کود نیتروژن و زمان نمونه‌برداری بر مقدار نیتروژن بافت، سطح برگ و زیست‌توده برنج رقم هاشمی

Table 2. Analysis of variance of the effect of nitrogen fertilizer and sampling time on tissue nitrogen content, leaf area, and biomass of rice cv. Hashemi

Source of variation	df	Mean squares		
		Tissue nitrogen	Leaf area	Biological yield
Block	2	0.216 ^{ns}	1701249.7*	1678.73**
Nitrogen (N)	6	1.929*	3463678.3**	1485.21**
Error (a)	12	0.949	257342	111.14
Sampling Date (D)	5	43.33**	40623474.1**	67877.5**
D × N	30	0.45 ^{ns}	539067.4 ^{ns}	396.59*
Error	70	0.606	337971.2	222.51
CV (%)	-	19.87	38.03	31.26

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



شکل ۱- تغییرات محتوای نیتروژن بافت بوته برنج رقم هاشمی در پاسخ به مقادیر مختلف کود نیتروژن مصرفی در رشت. مقادیر با حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Figure 1. Variations in tissue nitrogen content of rice plants cv. Hashemi in response to different levels of nitrogen fertilizer application in Rasht. Values followed by similar letter in each column are not significantly different by Duncan's test.

نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن تا ۱۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار، محتوای نیتروژن بافت گیاه نیز به‌طور پیوسته افزایش یافت تا به بیشینه مقدار خود رسید (شکل ۱). با این‌حال، مصرف بیش از ۱۵۱/۳۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار منجر به کاهش بازدهی از نظر محتوای نیتروژن در بافت گیاه شد. این موضوع با قانون بازدهی نزولی میچرلیخ هماهنگی دارد. مشابه این یافته در مورد درصد نیتروژن دانه‌ها هم گزارش شده است، به‌طوری که رضوی‌پور و همکاران (Razavipour *et al*., 2018) نشان دادند که افزایش کود مصرفی از ۳۰ به ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش درصد نیتروژن دانه‌ها شد، ولی افزایش بیش‌تر کود، تأثیری بر درصد نیتروژن جذب شده در دانه‌ها نداشت. رضایی و همکاران (Rezaei *et al*., 2009) نیز در پژوهش خود به افزایش ۴۰ درصدی عملکرد دانه برنج رقم هاشمی با مصرف ۴۵ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن اشاره کردند. کم‌ترین محتوای نیتروژن بافت در تیمار شاهد (عدم مصرف نیتروژن) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با مقادیر ناشی از کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نداشت (شکل ۱).

مقایسه میانگین داده‌های محتوای نیتروژن بافت بوته‌های برنج در مراحل مختلف نموی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین محتوای نیتروژن بافت بوته‌ها، مربوط به زمان آغاز پنجه‌زنی (۵/۱۵ درصد) و مرحله آبستنی گیاه (۵/۱۸ درصد) بود که با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. در مقابل، کم‌ترین محتوای نیتروژن بافت بوته‌ها در زمان نشاکاری (۱/۳۲ درصد) مشاهده شد

(جدول ۳). این نتیجه دور از انتظار نبود، زیرا مطالعات نشان می‌دهند که به‌طور کلی نیتروژن جذب شده توسط گیاه با افزایش سن گیاه و تولید ماده خشک، افزایش می‌یابد (Sims & Place, 1968).

قابلیت دسترسی به نیتروژن کافی در ابتدای رشد سریع (پنجه‌زنی)، نقش مهمی در رشد و عملکرد مطلوب برنج دارد. با افزایش زیست‌توده گیاه برنج، جذب نیتروژن کل افزایش می‌یابد، اما به‌دلیل اثر رقت، محتوای نیتروژن بافت گیاه کاهش می‌یابد (Fageria & Baligar, 2001). نتایج آزمایش حاضر در مورد افزایش عملکرد زیست‌توده و کاهش محتوای نیتروژن بافت در مراحل پنجه‌زنی و شروع آبستنی (جدول ۳) و مشاهده اثر رقت با نتایج فاجریا و بلیگر (Fageria & Baligar, 2001) مطابقت داشت.

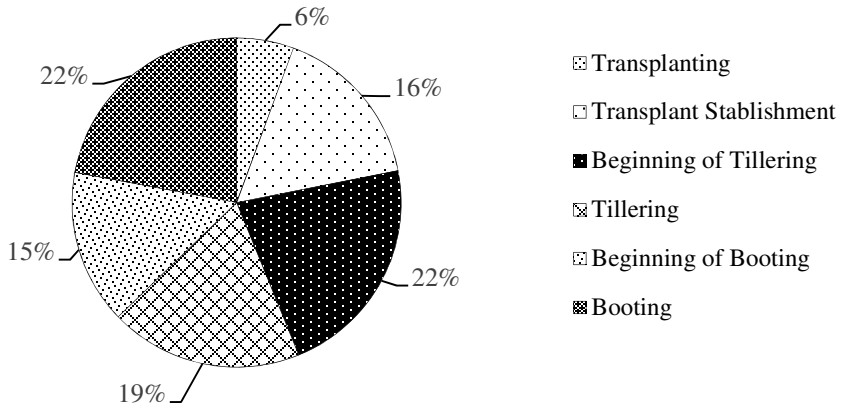
با توجه به سن گیاه، مجموع نیتروژن جذب شده و تجمع ماده خشک برنج روند مشابهی را دنبال می‌کنند. قابلیت دسترسی به نیتروژن کافی در ابتدای رشد سریع (پنجه‌زنی) نقش مهمی در رشد و عملکرد مطلوب برنج دارد. با افزایش ماده خشک گیاه، جذب نیتروژن کل افزایش می‌یابد، اما به‌دلیل اثر رقت، محتوای نیتروژن بافت گیاه کاهش می‌یابد. تقریباً نیمی از کل زیست‌توده، تا شروع مرحله پیدایش خوشه / آبستنی تولید می‌شود و بر این اساس، نیمی از کل نیتروژن در این مرحله جذب می‌شود (Mahajan *et al*., 2017). زمانی‌که کود نیتروژن به‌صورت بهینه در دسترس گیاه باشد، ۵۰ درصد از کل نیتروژن قبل از تولید نیمی از زیست‌توده کل جذب می‌شود و ۵۰ تا ۳۰ درصد باقی‌مانده پس از شروع مرحله پیدایش خوشه جذب می‌شود (Moore Jr *et al*., 1981). در پژوهش حاضر نیز بیش از ۵۰ درصد از محتوای نیتروژن بافت قبل از مرحله آبستنی و قبل از تولید ۵۰ درصد زیست‌توده و حدود ۴۰ درصد از محتوای نیتروژن بافت پس از مرحله آبستنی جذب شد (شکل ۲). به این ترتیب، یافته‌های مور و همکاران (Moore Jr *et al*., 1981) در مورد افزایش زیست‌توده با افزایش کاربرد کود نیتروژن و جذب ۵۰ درصد از کل نیتروژن قبل از تولید حدود نیمی از کل زیست‌توده در مرحله آبستنی گیاه، مورد تایید قرار گرفت.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر زمان نمونه‌برداری بر مقادیر نیتروژن بافت، سطح برگ و زیست‌توده برنج رقم هاشمی در رشت

Table 3. Comparison of means of the effect of sampling dates on tissue nitrogen content, leaf area, and biomass of rice cv. Hashemi in Rasht.

Sampling date	Tissue nitrogen (%)	Leaf area (cm^2)
Transplanting	1.32^{d}	43.2^{e}
Transplant establishment	3.83^{c}	117.8^{e}
Beginning of tillering	5.15^{a}	820.3^{d}
Tillering	4.45^{b}	2234.5^{c}
Beginning of booting	3.56^{c}	2603.9^{b}
Booting	5.18^{a}	3350.4^{a}

Means followed by similar letter in each column are not significantly different by Duncan's test.



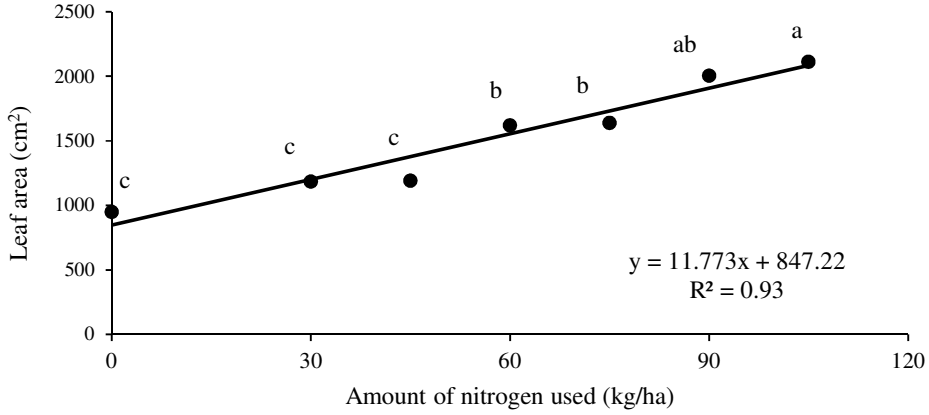
شکل ۲- درصد تجمعی محتوای نیتروژن بافت بوته‌های برنج در نمونه‌برداری‌های مختلف

Figure 2. Cumulative percentage of nitrogen content in rice plant tissues across different samplings

کاربرد شاخص‌های رشد به‌ویژه سطح برگ ابزاری مناسب برای تجزیه و تحلیل رشد گیاه و توانایی آن در استفاده از منابع محیطی به‌ویژه نور است. سطح برگ از طریق تأثیر بر جذب تابش خورشیدی در تولید ماده خشک مؤثر است و می‌تواند تبخیر و تعرق و وضعیت آبی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. با بیشینه شدن سطح برگ سایه‌انداز در بسیاری از گیاهان، جذب تابش و به‌دنبال آن ساخت ماده خشک نیز به حداکثر می‌رسد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که نیتروژن مصرفی تأثیر بسیار معنی‌داری بر سطح برگ داشت. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳) نشان داد که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن، سطح برگ بوته‌ها افزایش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین سطح برگ به‌ترتیب با ۲۰۰۴ و ۲۱۱۱ سانتی‌متر مربع در تیمارهای کودی ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (بدون اختلاف آماری معنی‌دار) و کم‌ترین میزان سطح برگ (۹۴۸ سانتی‌متر مربع) در تیمار شاهد مشاهده شد که تفاوت آماری معنی‌داری با تیمارهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (به‌ترتیب با مقدار ۱۱۸۵ و ۱۱۹۲ سانتی‌متر مربع) نداشت.

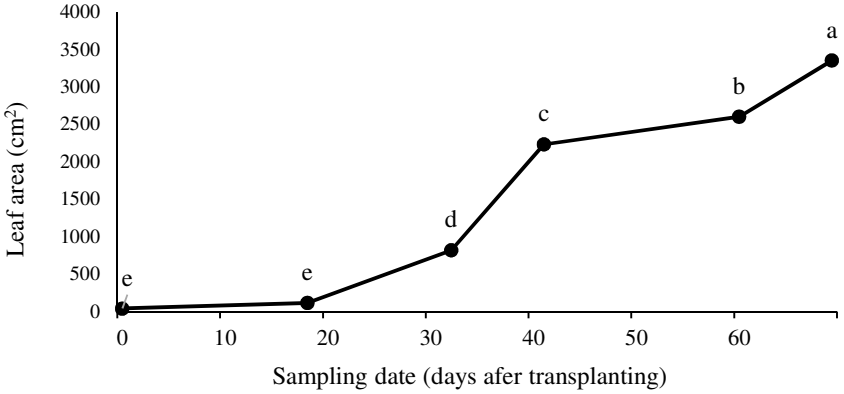
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که سطح برگ تحت تأثیر بسیار معنی‌دار زمان نمونه‌برداری (مراحل مختلف نموی) نیز قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌های سطح برگ بوته‌های برنج رقم هاشمی در مراحل مختلف نموی (مراحل مختلف نمونه‌برداری) نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین سطح برگ به‌ترتیب در مرحله آبستنی و زمان نشاکاری مشاهده شد (شکل ۴). نیتروژن به‌عنوان محرک رشد رویشی (از جمله در افزایش تعداد و سطح برگ) مدت‌هاست که مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. افزایش شاخص سطح برگ در اثر مصرف نیتروژن توسط کومار و همکاران (Kumar *et al*., 2008) نیز گزارش شد. در آزمایش لک و همکاران (Lack *et al*., 2008) نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ بوته‌ها داشت و بیش‌ترین سطح برگ در تیمار بیش‌ترین مقدار نیتروژن مصرفی بوده است.

نیتروژن یکی از عوامل اساسی در کنترل زیست‌توده و عملکرد دانه از راه تأثیر بر سطح برگ (دریافت تابش) و ظرفیت فتوسنتزی به ازای واحد سطح برگ است. افزایش زیاد سطح برگ در گیاهان در چهل سال گذشته به‌دلیل افزایش مصرف کود نیتروژن بوده است که از راه افزایش اندازه، طول عمر برگ‌ها و ازدیاد شاخه‌دهی ایجاد شده است (Lack *et al*., 2008). افزایش میزان نیتروژن و کاربرد آن در دفعات بیش‌تر باعث طولانی شدن دوره رشد رویشی شده که می‌تواند تشکیل مواد پرورده، اختصاص آن به ساقه‌ها و در نهایت رشد گیاه را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار دهد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های زیست‌توده بوته‌های برنج رقم هاشمی در رشت نشان داد که این ویژگی تحت تأثیر بسیار معنی‌دار هر دو عامل کود نیتروژن و زمان نمونه‌برداری (مرحله نموی) و همچنین برهم‌کنش بین آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). معنی‌دار شدن برهم‌کنش کود نیتروژن × زمان نمونه‌برداری بدین معنی است که پاسخ زیست‌توده برنج رقم هاشمی به کود نیتروژن در مراحل مختلف رشدی متفاوت بود. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش کود نیتروژن × زمان نمونه‌برداری بر زیست‌توده برنج هاشمی (شکل ۵) نشان داد که بیش‌ترین زیست‌توده بوته مربوط به تیمار مصرف ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مرحله آبستنی گیاه و کم‌ترین میزان آن مربوط به تیمار کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در زمان نشاکاری بود. علاوه بر این، بررسی برهم‌کنش کود نیتروژن × زمان نمونه‌برداری (شکل ۵) نشان داد که با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی نه‌تنها مقدار زیست‌توده بوته افزایش یافت، بلکه باعث تغییر سهم زیست‌توده انباشته شده در مراحل مختلف نموی گیاه نسبت به زیست‌توده کل شد (شکل ۶). نتایج این آزمایش نشان داد که بیش‌ترین سهم زیست‌توده از کل زیست‌توده تولیدی مربوط به کاربرد مقادیر ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و در آغاز مرحله آبستنی گیاه بود (شکل ۶). مقدار زیست‌توده بوته به مقدار رشد اندام‌های هوایی وابسته است. بنابراین، نیتروژن با تأثیر بر رشد اندام‌های هوایی گیاه، می‌تواند مقدار جذب و تحلیل خالص مواد فتوسنتزی را افزایش داده واز این طریق تولید زیست‌توده را افزایش دهد. پژوهش‌گران دیگر نیز چنین نتیجه‌ای را در گیاهان مختلفی گزارش کرده‌اند (Beech & Norman, 1968; Soleimani, 2008; Miranzadeh & Emamm, 2010).



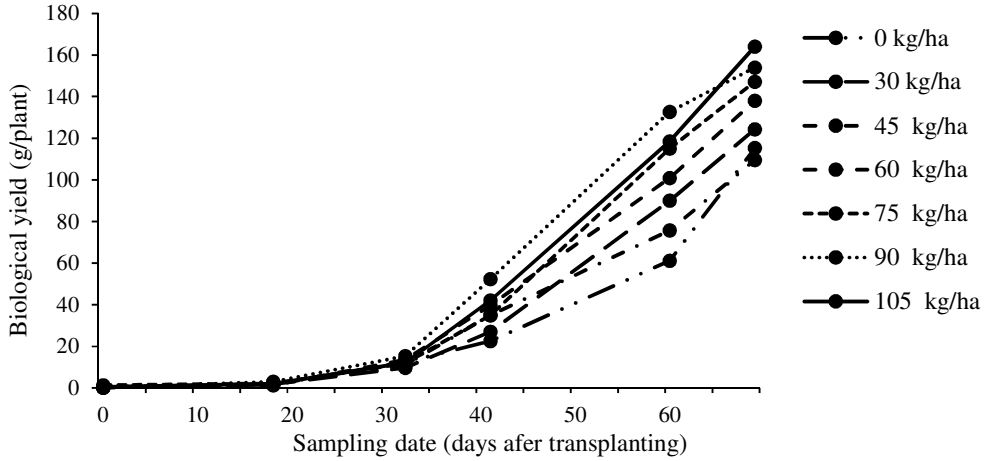
شکل ۳- اثر مقدار نیتروژن بر سطح برگ بوته‌های برنج رقم هاشمی در رشت. مقادیر با حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Figure 3. Effect of nitrogen levels on leaf area of Hashemi rice plants in Rasht. Values followed by similar letter in each column are not significantly different by Duncan's test.



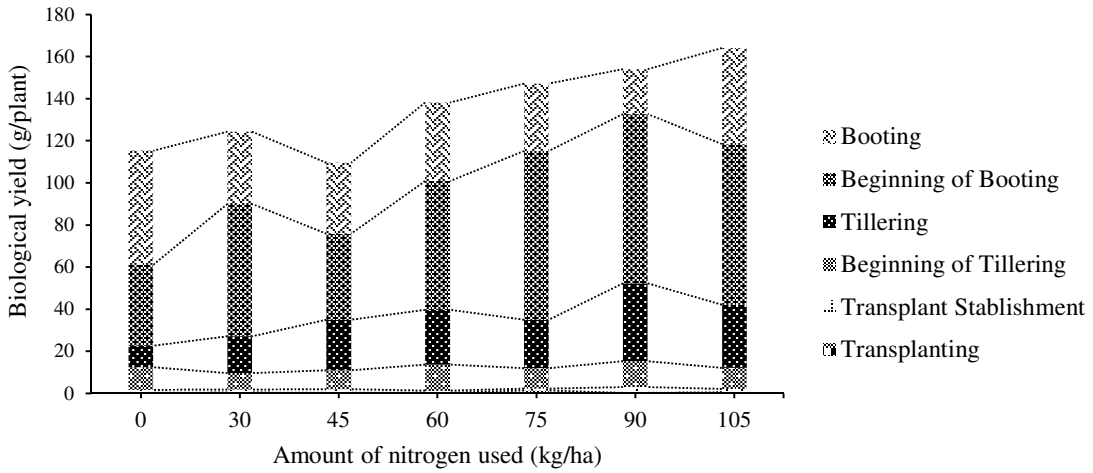
شکل ۴- اثر زمان نمونه‌برداری بر تغییرات سطح برگ برنج رقم هاشمی در رشت. مقادیر با حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Figure 4. Effect of sampling times on leaf area variation of Hashemi rice plants in Rasht. Values followed by similar letter in each column are not significantly different by Duncan's test.



شکل ۵- اثر برهم‌کنش کود نیتروژن × زمان نمونه‌برداری بر زیست‌توده بوته برنج رقم هاشمی

Figure 5. Effect of nitrogen fertilizer × sampling time interaction on biomass of Hashemi rice plants



شکل ۶- سهم زیست‌توده مراحل مختلف رشدی از کل زیست‌توده تولیدی برنج رقم هاشمی در پاسخ به مقادیر مختلف نیتروژن مصرفی

Figure 6. Contribution of biomass of different growth stages from the total produced biomass of rice cv. Hashemi in response to different rates of nitrogen application

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که برای دست‌یابی به بیش‌ترین زیست‌توده برنج رقم هاشمی، دست‌کم به ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نیاز است که بهتر است در زمان پنجه‌زنی تا آبستنی به زمین داده شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از کارکنان مزرعه آزمایشگاه‌های دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان برای همکاری در اجرای این آزمایش قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه روابط تجاری یا مالی می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

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

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Aber, J. D., Nadelhoffer, K. J., Steudler, P., & Melillo, J. M. (1989). Nitrogen saturation in northern forest ecosystems: excess nitrogen from fossil fuel combustion may stress the biosphere. *BioScience*, *39*(6), 378-386. doi: 10.2307/1311067.

Beech, D., & Norman, M. (1968). The effect of wet season land treatment and nitrogen fertilizer on safflower, linseed, and wheat in the Ord River valley. 2. Safflower and linseed. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *8*(30), 66-71. doi: 10.1071/EA9680066.

Bredemeier, C., & Schmidhalter, U. (2005). Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat under controlled environment and field conditions. In: Stafford, J. V. (Ed.). Precision Agriculture. Wageningen Academic Press. pp. 273-280. doi: 10.3920/978-90-8686-549-9_034.

Crews, T. E., & Peoples, M. B. (2005). Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *72*(2), 101-120. doi: 10.1007/s10705-004-6480-1.

Evans, H. J., & Burris, R. H. (1992). Highlights in biological nitrogen fixation during the last 50 years. In: Stacey, G. S., Burris, R. H., & Evans H. J. (Eds.). Biological Nitrogen Fixation. Chapman & Hall, New York. pp. 1-42.

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2001). Lowland rice response to nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, *32*(9-10), 1405-1429. doi: 10.1081/CSS-100104202.

Fairhurst, T., Witt, C., Buresh, R., Dobermann, A., & Fairhurst, T. (2007). Rice: A Practical Guide to Nutrient Management. First Ed. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

FAO. (2022). FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations Production and Protection Series. http://www.faostat.fao.org.

Giller, K. (2001). Cycling of fixed N in tropical cropping systems. In: Giller, K. E. (Ed.). Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. Second Edition. CABI Wallingford UK. pp. 93-107. doi: 10.1079/978085199.

Hoffland, E., Dicke, M., Van Tintelen, W., Dijkman, H., & Van Beusichem, M. L. (2000). Nitrogen availability and defense of tomato against two-spotted spider mite. *Journal of Chemical Ecology*, *26*(12), 2697-2711. doi: 10.1023/A:102647.

Jia, L., Chen, X., Zhang, F., Buerkert, A., & Römheld, V. (2004). Use of digital camera to assess nitrogen status of winter wheat in the northern China plain. *Journal of Plant Nutrition*, *27*(3), 441-450. doi: 10.1081/PLN-120028872.

Kaur, N., Dhawan, M., Sharma, I., & Pati, P. K. (2016). Interdependency of reactive oxygen species generating and scavenging system in salt sensitive and salt tolerant cultivars of rice. *BMC Plant Biology*, *16*(1), 131. doi: 10.1186/s12870-016-0824-2.

Kawashima, S., & Nakatani, M. (1998). An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. *Annals of Botany*, *81*(1), 49-54. doi: 10.1006/anbo.1997.0544.

Kiss, S., Simihăian, M., Kiss, S., & Simihăian, M. (2002). Compounds tested for evaluation of their inhibiting effect on both soil urease activity and nitrification. In: Kiss, S., & Simihăian, M. (Eds.). Improving Efficiency of Urea Fertilizers by Inhibition of Soil Urease Activity. pp. 221-242. doi: 10.1007/978-94-017-1843-16.

Kumar, S., Shrotria, P., & Deshmukh, J. (2008). Characterizing nutrient management effect on yield of sweet sorghum genotypes. *World Journal of Agricultural Sciences*, *4*(6), 787-789.

Lack, S. H., Naderi, A., Saidat, S. A., Ayenehband, A., Nour-Mohammadi, G. H., & Moosavi, S. H. (2008). The effects of different levels of irrigation, nitrogen and plant population on yield, yield components and dry matter remobilization of corn at climatical conditions of Khuzestan. *Journal of Crop Production & Processing*, *11*(42), 1-14. dor: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.1.0. [In Persian].

Lawlor, D. W., Lemaire, G., & Gastal, F. (2001). Nitrogen, plant growth and crop yield. In: Lea, P. J., & Morot-Gaudry, J.-F. (Eds.). Plant Nitrogen. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 343-367. doi: 10.1007/978-3-662-04064-5_13.

Li, Y., Chen, D., Walker, C., & Angus, J. (2010). Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field Crops Research*, *118*(3), 221-227. doi: 10.1016/j.fcr.2010.05.011.

Mahajan, G., Kumar, V., & Chauhan, B. S. (2017). Rice production in India. In: Chauhan, B. S., Jabran, K., & Mahajan, G. (Eds.). Rice Production Worldwide. Springer International Publishing. pp. 53-91. doi: 10.1007/978-3-319-47516-5.

Ministry of Agriculture-Jahad. (2023). Agricultural Statistics. Vol. 1. Crop Plants. Statistics, Information and communication Technology Center, Ministry of Agriculture-Jahad, Tehtan, Iran. [In Persian].

Miranzadeh, H., & Emamm, Y. (2010). Effect of nitrogen and chlormequat chloride on grain yield, phytomass and water use efficiency of four rainfed wheat cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *8*(4), 636-645. doi: 10.22067/gsc.v8i4.795.

Moore Jr, P., Gilmour, J., & Wells, B. (1981). Seasonal patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice. *Soil Science Society of America Journal*, *45*(5), 875-879. doi: 10.2136/sssaj1981.03615995004500050010x.

Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-Gonzalez, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., & Ocampo-Velazquez, R. V. (2013). A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: Advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors*, *13*(8), 10823-10843. doi: 10.3390/s130810823.

Prasad, R. (2013). Fertilizer nitrogen, food security, health and the environment. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, *79B*(4), 997-1010.

Prasad, R., Kumar, D., Rana, D., Shivay, Y., & Tewatia, R. (2014). Text Book of Plant Nutrient Management. Indian Society of Agronomy, New Delhi. 72 p.

Prasad, R., & Power, J. F. (1995). Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. *Advances in Agronomy*, *54*, 233-281. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60901-3.

Prasad, R., & Shivay, Y. S. (2015). Fertilizer nitrogen for the life, agriculture and the environment. *Indian Journal of Fertilizers*, *11*(8), 47-53.

Prasad, R., Singh, R., Archna, R., & Singh, D. (2000). Partial factor productivity of nitrogen and its use efficiency in rice and wheat. *Fertiliser News*, *45*(5), 63-65.

Raun, W. R., Solie, J. B., Taylor, R. K., Arnall, D. B., Mack, C. J., & Edmonds, D. E. (2008). Ramp calibration strip technology for determining midseason nitrogen rates in corn and wheat. *Agronomy Journal*, *100*(4), 1088-1093. doi: 10.2134/agronj2007.0288N.

Razavipour, T., Khaledian, M. R., & Rezaei, M. (2018). Effects of nitrogen levels and its splitting on rice yield and nutrient uptake in rice, Hashemi variety. *Human & Environment*, *16*(2), 153-164. [In Persian].

Rezaei, M., Vahed, H. S., Amiri, E., Motamed, M .K., & Azarpour, E. (2009). The effects of irrigation and nitrogen management on yield and water productivity of rice. *World Applied Sciences Journal*, *7*(2), 203-210.

Shaviv, A. (2000). Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, 7, 1-49, doi: 10.1016/S0065-2113(01)71011-5.

Sims, J. L., & Place, G. A. (1968). Growth and nutrient uptake of rice at different growth stages and nitrogen levels. *Agronomy Journal*, *60*(6), 692-696. doi: 10.2134/agronj1968.00021962006000060033x.

Sinfield, J. V., Fagerman, D., & Colic, O. (2010). Evaluation of sensing technologies for on-the-go detection of macro-nutrients in cultivated soils. *Computers & Electronics in Agriculture*, *70*(1), 1-18. doi: 10.1016/j.compag.2009.09.017.

Soleimani, R. (2008). Effect of rate and time of nitrogen application on grain yield and yield components in spring safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *10*(1), 47-59. dor: 20.1001.1.15625540.1387.10.1.4.7. [In Persian].

Thorp, K. R., Tian, L., Yao, H., & Tang, L. (2004). Narrow-band and derivative-based vegetation indices for hyperspectral data. *Transactions of the ASAE*, *47*(1), 291-299. doi: 10.13031/2013.15854.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, *418*(6898), 671-677. doi: 10.1038/nature01014.

Tremblay, N., Fallon, E., & Ziadi, N. (2011). Sensing of crop nitrogen status: Opportunities, tools, limitations, and supporting information requirements. *HortTechnology*, *21*(3), 274-281. doi: 10.21273/horttech.21.3.274.

Ussiri, D., & Lal, R. (2012). Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-94-007-5364-8.

Ussiri, D., & Lal, R. (2013). Nitrous Oxide Emissions from Rice Fields. In: Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation. Springer, Dordrecht. pp. 213-242. doi: 10.1007/978-94-007-5364-8_7.

Zebarth, B., Drury, C., Tremblay, N., & Cambouris, A. (2009). Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. *Canadian Journal of Soil Science*, *89*(2). doi: 10.4141/CJSS07102.

Zhang, F., Zhang, W., Fan, M., & Wang, J. (2007). Improving fertilizer use efficiency through management practices-Chinese experience. The Fertilizer Association of India Annual Seminar Papers, 5-7 December 2007, New Delhi, India.

Zou, J., Huang, Y., Jiang, J., Zheng, X., & Sass, R. L. (2005). A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: Effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. *Global Biogeochemical Cycles*, *19*(2). doi: 10.1029/2004GB002401.

Zubillaga, M., & Urricariet, S. (2005). Assessment of nitrogen status in wheat using aerial photography. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, *36*(13-14), 1787-1798. doi: 10.1081/CSS-200062446.