University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 16, No. 1, 2026 (33-46)
Home page: https://cr.guilan.ac.ir/
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

Impact of nitrogen levels on appearance, cooking and nutritional quality of rice grain under direct seeding on wet bed

Fatemeh Habibi[1]✉, Farzin Pouramir[2] and Mina Ebrahimi[3]

1. Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; 2. Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; 3. Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
✉ Corresponding author: f.habibi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 3 January 2026
Revised: 6 March 2026
Accepted: 11 March 2026
Available online: 21 March 2026

Keywords:
Grain quality
Milling recovery
Nutritional value
Paste viscosity properties

Abstract

Introduction: Nitrogen (N) management is a critical factor influencing rice yield and grain quality, particularly under wet-bed direct seeding, where crop establishment and nutrient dynamics differ from conventional transplanting systems. Cooking and eating quality in rice, including amylose content, gelatinization temperature, and protein content, depends not only on the genetic characteristics of the variety but also on environmental factors, particularly the N application rate. The aim of this study was to investigate the effect of N application rate on the quality characteristics including appearance, cooking, and nutritional properties of rice grain under wet-bed direct seeding conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted as split-plot in a randomized complete block design with three replications at the Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran. Five levels of pure nitrogen (0, 60, 90, 120, and 150 kg.ha^{-1}) and three rice varieties (Hashemi, Anam, and Shiroudi) were considered as the main and sub factors, respectively. The studied traits included paddy yield and grain appearance, milling, cooking, and nutritional quality characteristics. Data analysis was performed using SAS software and means were compared using the least significant difference (LSD) test.

Results and Discussion: The results showed that paddy yield was significantly affected by nitrogen levels and rice varieties. Maximum yields of Hashemi (4.20 t.ha^{-1}) were obtained at 90 kg.ha^{-1} N, whereas Anam and Shiroudi achieved their highest yields at 120 kg.ha^{-1} N (4.79 and 6.56 t.ha^{-1}, respectively). Generally, with increasing N application, milling recovery, head rice yield, raw grain length and slenderness increased, while cooked grain length and elongation ratio decreased. Also, with increasing N application, grain protein content and gelatinization temperature increased, while amylose content decreased from approximately 24.5% in control treatment (without N application) to 23.7% at 150 kg.ha^{-1} N. The response of grain mineral elements to nitrogen was different, such that Mn concentration increased, while changes in Fe and Zn were dependent on the variety and nitrogen level. Pasting properties were also significantly affected by N, so that with increasing N level, peak viscosity decreased by about 10%, while setback viscosity and pasting temperature increased, indicating less desirable cooking quality under excessive N application.

Conclusion: The results of this study showed that the response of rice varieties to N fertilizer under wet-bed direct seeding is nonlinear and genotype-dependent. Accordingly, the best balance between yield, milling quality, and desirable grain cooking and nutritional characteristics was achieved with the application of about 90 kg.ha^{-1} N for Hashemi variety and 120 kg.ha^{-1} N for Anam and Shiroudi varieties, whereas higher N application caused a decrease in some grain quality indices.

Cite this article: Habibi, F., Pouramir, F., & Ebrahimi, M. (2026). Impact of nitrogen levels on appearance, cooking and nutritional quality of rice grain under direct seeding on wet bed. *Cereal Research*, *16*(1), 33-46. doi: 10.22124/CR.2026.32887.1891.

© The Author(s) retain the copyright.
DOI: https://doi.org/10.22124/CR.2026.32887.1891 **Punlisher:** University of Guilan

تحقیقات غلات
دوره شانزدهم، شماره اول، ۱۴۰۵ (۴۶-۳۳)
Home page: https://cr.guilan.ac.ir/
شاپا چاپی: ۰۱۶۳-۲۲۵۲ شاپا الکترونیکی: ۶۱۱۵-۲۵۳۸

اثر سطوح نیتروژن بر کیفیت ظاهری، پخت و تغذیه دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب

فاطمه حبیبی[۱]✉، فرزین پورامیر[۲] و مینا ابراهیمی[۳]

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران؛ ۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران؛ ۳- کارشناس، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

✉ نویسنده مسئول: f.habibi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۰
انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

واژه‌های کلیدی:
ارزش تغذیه‌ای
راندمان تبدیل
کیفیت دانه
ویژگی‌های چسبندگی خمیر

چکیده

مقدمه: مدیریت نیتروژن یکی از عوامل اصلی در تعیین عملکرد و کیفیت دانه برنج، به‌ویژه در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب است که از نظر استقرار گیاه و پویایی عناصر غذایی با روش نشاکاری تفاوت دارد. عوامل تعیین کننده کیفیت پخت و خوراک دانه برنج بستگی به ماهیت ژنتیکی رقم دارند، اما تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر میزان نیتروژن مصرفی نیز قرار می‌گیرند. هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر مقدار نیتروژن مصرفی بر عملکرد شلتوک و کیفیت ظاهری، پخت و تغذیه‌ای دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب کرت‌های خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اجرا شد. پنج سطح نیتروژن خالص (صفر، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل اصلی و سه رقم برنج (هاشمی، آنام و شیرودی) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد شلتوک و ویژگی‌های مربوط به کیفیت ظاهری، تبدیل، پخت و تغذیه‌ای دانه بودند. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که عملکرد شلتوک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح نیتروژن و رقم قرار گرفت. بیش‌ترین عملکرد شلتوک در رقم هاشمی در سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد، در حالی‌که رقم‌های آنام و شیرودی بیش‌ترین عملکرد خود را با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن تولید کردند. به‌طور کلی با افزایش مصرف نیتروژن، راندمان تبدیل، درصد برنج سالم و طول و ضریب رعنایی دانه خام افزایش یافت، اما طول دانه پخته و ضریب ری‌آمدن کاهش یافت. همچنین با افزایش نیتروژن، محتوای پروتئین دانه و دمای ژلاتینی شدن افزایش یافت، اما مقدار آمیلوز از حدود ۲۴/۵ درصد در تیمار بدون نیتروژن به حدود ۲۳/۷ درصد در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کاهش یافت. پاسخ عناصر معدنی دانه به نیتروژن متفاوت بود، به‌طوری‌که غلظت منگنز روند افزایشی داشت، در حالی‌که تغییرات آهن و روی به رقم و سطح نیتروژن وابسته بود. ویژگی‌های خمیر نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نیتروژن قرار گرفت، به‌طوری که با افزایش نیتروژن، حداکثر چسبندگی در حدود ۱۰ درصد کاهش یافت، در حالی‌که مقدار برگشت‌پذیری و دمای خمیری شدن افزایش یافت که بیانگر کاهش نسبی کیفیت پخت با مصرف بیش از حد نیتروژن است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که واکنش رقم برنج به نیتروژن در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب، غیرخطی و وابسته به ژنوتیپ است. بر این اساس، بهترین توازن بین عملکرد، کیفیت تبدیل و ویژگی‌های مطلوب پخت و تغذیه‌ای دانه با کاربرد حدود ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن برای رقم هاشمی و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برای رقم‌های آنام و شیرودی به‌دست آمد و مصرف بیش از آن، موجب افت برخی شاخص‌های کیفی دانه شد.

نحوه استناد به این مقاله: حبیبی، فاطمه، پورامیر، فرزین، و ابراهیمی، مینا. (۱۴۰۵). اثر سطوح نیتروژن بر کیفت ظاهری، پخت و تغذیه دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب. *تحقیقات غلات*، *۱۶*(۱)، ۴۶-۳۳. doi: 10.22124/CR.2026.32887.1891

ناشر: دانشگاه گیلان
© حق چاپ برای نویسنده(گان) محفوظ است.

مقدمه

برنج غذای نزدیک به نیمی از جمعیت جهان را تامین می‌کند و منبع خوبی از ریز مغذی‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، کربوهیدراتها، فیبرهای غذایی، مواد معدنی و ویتامین‌هاست (Fukagawa & Ziska, 2019). کیفیت برنج یک ویژگی بسیار پیچیده است که شامل چهار جنبه (کیفیت تبدیل، کیفیت ظاهری، کیفیت پخت و خوراک و کیفیت تغذیه‌ای) است (Lu *et al*., 2023). کیفیت پخت و خوراک عمدتاً به ترکیبات ذاتی یا درونی دانه مثل نشاسته، آمیلوز، پروتئین و چربی بستگی دارد (Rabiei *et al*., 2004; Chen *et al*., 2022). بین محتوای آمیلوز و سختی برنج پخته شده همبستگی مثبتی وجود دارد (Li *et al*., 2019). اگرچه محتوای پروتئین، کیفیت تغذیه‌ای برنج را تعیین می‌کند، اما با تأثیر بر انسجام و سختی دانه، تأثیر منفی بر ویژگی‌های پخت دارد.

علاوه بر مواد تشکیل دهنده ذاتی و ماهیت ژنتیکی رقم، تغییر روش کشت می‌تواند بر مراحل رشدی و همچنین کیفیت دانه برنج موثر باشد. در ایران بیش از ۹۰ درصد زراعت برنج به‌صورت نشاکاری است، اما طی سالیان اخیر تحقیقات گسترده‌ای در زمینه امکان گسترش کشت مستقیم برنج صورت گرفته است تا درصورت موفقیت، این شیوه کشت‌وکار جایگزین کشت نشایی شود (Pouramir *et al*., 2024). در واقع تغییر شیوه کشت از طریق تغییر زمان بذرپاشی، تغییر مدیریت‌های زراعی از قبیل مدیریت آبیاری، مدیریت زمان و مقدار کوددهی و سایر موارد می‌تواند اثر قابل توجهی بر رشد و نمو و همچنین تشعشع، دما و سایر منابع دریافتی توسط گیاه زراعی داشته باشد و از این طریق بر کیفیت دانه اثر بگذارد (Bian *et al*., 2018). واکنش برنج به مصرف نیتروژن می‌تواند تحت تأثیر سیستم استقرار گیاه قرار گیرد. در روش نشایی مرسوم، به‌دلیل انتقال نشا و تأخیر نسبی در استقرار ریشه، جذب نیتروژن در مراحل اولیه رشد محدودتر است و بخش قابل توجهی از نیتروژن در مراحل بعدی رشد جذب می‌شود. این امر می‌تواند موجب تجمع بیش‌تر نیتروژن در دانه و در نتیجه افزایش محتوای پروتئین و تغییر در ویژگی‌های کیفی پخت مانند کاهش چسبندگی خمیر و افزایش دمای ژلاتینی شدن شود. در مقابل، در کشت مستقیم بر بستر مرطوب، گیاه از ابتدای فصل رشد در مزرعه مستقر می‌شود و به‌دلیل توسعه سریع‌تر سیستم ریشه و دسترسی پیوسته‌تر به نیتروژن خاک، الگوی جذب نیتروژن یکنواخت‌تر است. این تفاوت در الگوی جذب و توزیع نیتروژن می‌تواند منجر به تفاوت در تجمع ترکیبات ذخیره‌ای دانه، به‌ویژه نسبت نشاسته به پروتئین و بنابراین تغییر در صفات ظاهری، کیفیت پخت و برخی شاخص‌های تغذیه‌ای دانه شود (Fageria, 2014).

کاربرد کود نیتروژن یک راه‌کار زراعی معمول است که برای افزایش عملکرد (Sano *et al*., 2008) و تنظیم کیفیت برنج (Zhou *et al*., 2022) استفاده می‌شود. کود نیتروژن نه تنها بر رشد و نمو برنج تأثیر می‌گذارد و متابولیسم فیزیولوژیک و بیوشیمیایی برنج را تنظیم می‌کند، بلکه بر محتوای ترکیبات بیوشیمیایی در دانه‌های بالغ نیز موثر است (Zhao *et al*., 2022). کاربرد کود نیتروژن با تغییر در بافت و ویژگی‌های نشاسته، تأثیر قابل توجهی بر خواص پخت برنج دارد (Liang *et al*., 2022). استفاده از سطوح بالاتر نیتروژن معمولاً باعث افزایش محتوای پروتئین و کاهش میزان آمیلوز در دانه‌های برنج می‌شود، تغییری که به‌نوبه خود می‌تواند بر کیفیت پخت و طعم دانه تأثیر منفی داشته باشد (Liu *et al*., 2023a). سطوح مناسب کود نیتروژن می‌تواند موجب بهبود راندمان تبدیل برنج شود و با افزایش محتوای پروتئین، مقاومت دانه‌ها در برابر شکستگی طی فرایند تبدیل را افزایش دهد (Leesawatwong *et al*., 2005). با این‌حال، مصرف بیش از حد نیتروژن ممکن است منجر به کاهش کیفیت شود، به‌طوری که درصد برنج سالم کاهش یابد و ویژگی‌های خوراکی دانه نیز به‌دلیل تغییر در ترکیب نشاسته و پروتئین تضعیف شود. به‌طور خلاصه، مدیریت کود نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در بیشینه‌سازی عملکرد و هم‌زمان کاهش اثرات منفی بر پارامترهای کیفی ایفا کند (Ma *et al*., 2024)، به‌گونه‌ای که با تنظیم و کاهش هدف‌مند میزان نیتروژن مصرفی، دستیابی به عملکرد پایدار و کیفیت مطلوب امکان‌پذیر می‌شود.

از آنجایی که بیش‌تر تحقیقات پیشین در زمینه تاثیر مقدار نیتروژن بر ویژگی‌های کیفی دانه برنج به‌صورت محدود و بر سیستم کشت نشایی تمرکز داشتند، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر مقدار نیتروژن مصرفی بر ویژگی‌های کیفی شامل ویژگی‌های ظاهری، پخت و تغذیه‌ای دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب انجام شد.

مواد و روش ها

مواد گیاهی این مطالعه، سه رقم برنج شامل هاشمی (به‌عنوان یک رقم بومی با سطح زیر کشت وسیع)، آنام

(رقم اصلاح شده و پرمحصول) و شیرودی (رقم پرمحصول با بیش‌ترین سطح زیر کشت در بین رقم‌های اصلاح شده) بود. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اجرا شد. مقدار نیتروژن خالص (صفر، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) به‌عنوان عامل اصلی و رقم (آنام، شیرودی و هاشمی) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. به‌منظور انجام آزمون‌های مرتبط با کیفیت، پس از برداشت محصول از هر کرت، مقدار ۲۰۰ گرم شلتوک به‌عنوان نمونه برداشت و پس از قرار دادن در پاکت‌های کاغذی، به آزمایشگاه منتقل شد. رطوبت اولیه نمونه‌ها (بر مبنای وزن تر) با استفاده از رطوبت‌سنج ویژه غلات مدل GMK-303RS ساخت کره جنوبی اندازه‌گیری و سپس نمونه‌های شلتوک با دمای ۱±۴۵ درجه سلسیوس توسط خشک‌کن آزمایشگاهی تا رسیدن به رطوبت ۱۰- ۹ درصد خشک شدند. برای تبدیل شلتوک به برنج سفید با سیستم اصطکاکی، ۱۵۰ گرم شلتوک خشک‌شده از تیمار مورد نظر وزن و پوستهٔ اولیهٔ نمونه‌ها با دستگاه پوست‌کن غلتک لاستیکی آزمایشگاهی ساتاکه جدا شد. برای جداسازی سبوس از سفیدکن آزمایشگاهی نوع اصطکاکی (Mac Gill No. 2) به‌مدت ۴۵ ثانیه استفاده شد. پس از عملیات پوست‌کنی و جداسازی سبوس، برنج‌های سفید سالم با الک دوار آزمایشگاهی ایندنت ساخت شرکت ساتاکه ژاپن از برنج‌های شکسته جدا و صفات راندمان تبدیل، درصد برنج سالم، ضریب رعنایی یا لاغری و ضریب ری‌آمدن به‌ترتیب با استفاده از روابط (۱) الی (۴) محاسبه شدند:

$$MR(\%) = \frac{W_r}{W_p} \times 100 \quad (۱)$$

$$HR(\%) = \frac{W_{hr}}{W_r} \times 100 \quad (۲)$$

$$R = \frac{L}{W} \quad (۳)$$

$$E = \frac{C}{L} \times 100 \quad (۴)$$

در این روابط، MR راندمان تبدیل کل برنج (درصد)، W_r وزن کل برنج سفید (گرم)، W_p وزن شلتوک (گرم)، HR درصد برنج سالم، W_{hr} وزن برنج سالم (گرم)، R ضریب لاغری، L طول دانه خام (میلی‌متر)، W عرض دانه خام (میلی‌متر)، E میزان ری‌آمدن و C طول دانه پخته شده (میلی‌متر) است.

میزان آمیلوز

تعیین آمیلوز با استفاده از روش رنگ‌سنجی در طول موج ۶۲۰ نانومتر با تشکیل کمپلکس ید- نشاسته انجام شد (Juliano, 1971). پس از قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cecil 3000 میزان آمیلوز بر حسب درصد توسط منحنی استاندارد محاسبه شد.

نمره ژلاتینی شدن

برای تعیین نمره ژلاتینی شدن، میزان هضم دانه‌های برنج در محیط قلیایی (محلول هیدروکسید پتاسیم رقیق) در مقایسه با نمونه‌های شاهد در مقیاس یک تا هفت نمره‌دهی شدند (Habibi, 2013).

میزان پروتئین

برای اندازه‌گیری پروتئین دانه، میزان نیتروژن دانه با روش کجلدال اندازه‌گیری و در ضریب ۵/۹۵ ضرب شد (AOAC, 2000).

مواد معدنی (آهن، روی، منگنز)

برای اندازه‌گیری مواد معدنی از دستگاه جذب اتمی پرکن المر (Perken Elmer) و روش استاندارد (AOAC, 1990) استفاده شد. به‌منظور تعیین مقدار خاکستر نمونه‌ها و آماده‌سازی آن‌ها برای اندازه‌گیری مواد معدنی، از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس و مدت زمان پنج ساعت استفاده شد. نمونه‌های هضم شده به بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و حجم آن‌ها با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از فیلتر کردن محلول، نمونه‌ها به دستگاه جذب اتمی تزریق و با مقایسه با منحنی استاندارد و فرآیند رقیق‌سازی، مقدار عناصر مورد نظر بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد.

ویژگی‌های چسبندگی خمیر

برای تعیین خواص خمیری شدن یا چسبندگی، از دستگاه اندازه‌گیری سریع ویسکوزیته (RVA-4, Newpot Australia) استفاده شد. در این دستگاه یک برنامه دمایی زمان‌بندی شده وجود دارد که شامل دوره پختن و سرد کردن نمونه است (AACC, 1995).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.2) انجام شد. پیش از انجام تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع خطاها و همگنی واریانس‌ها بررسی شد. پس

از انجام تجزیه واریانس و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد ($P\leq0.05$) انجام شد. نمودارهای مورد نیاز نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود نیتروژن و رقم و همچنین برهمکنش کود نیتروژن×رقم بر عملکرد شلتوک، ویژگی‌های فیزیکی، کیفیت تبدیل، کیفیت پخت، چسبندگی و عناصر معدنی دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین اثر ساده سطوح نیتروژن نشان داد که افزایش میزان نیتروژن مصرفی موجب افزایش راندمان تبدیل، طول دانه خام و ضریب رعنایی شد، اما طول دانه پخته و ضریب ری‌آمدن روندی کاهشی نشان دادند، به‌طوری که کم‌ترین طول دانه پخته و ضریب ری‌آمدن در مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر سطوح نیتروژن بر عملکرد شلتوک و ویژگی‌های کیفی دانه سه رقم برنج

Table 1. Analysis of variance of the effect of nitrogen levels on paddy yield and grain quality characteristics of three rice varieties

Source of variation	df	Mean square					
		Paddy yield	Milled rice yield	Head rice yield	Grain length	Slenderness ratio	Cooked grain length
Replication	2	24507 ^{ns}	7.10**	1.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0009 ^{ns}
Nitrogen (N)	4	8394257**	2.80**	38.44**	0.01 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.06 ^{ns}
Error a	8	48040	0.26	0.09	0.007	0.003	0.03
Variety (V)	2	15231573**	75.03**	2997**	0.57**	0.29**	2.66**
N × V	8	616943**	0.68*	34.66**	0.02**	0.005*	0.09*
Error b	20	30838	0.21	0.69	0.003	0.002	0.04
CV (%)	-	4.20	0.68	1.40	0.8	1.22	1.61

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

Table 1. Continued

جدول ۱- ادامه

Source of variation	df	Mean square					
		Amylose content	Gelatinization temperature	Grain protein	Grain iron	Grain manganese	Grain zinc
Replication	2	0.06 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.78**	0.15**	0.05 ^{ns}	0.93*
Nitrogen (N)	4	0.62**	0.07**	9.72**	8.01**	13.50**	127.45**
Error a	8	0.05	0.005	0.02	0.008	0.02	0.15
Variety (V)	2	14.20**	0.86**	12.43**	8.01**	228.37**	333.54**
N × V	8	0.24**	0.10**	2.55**	23.96**	4.44**	26.52**
Error b	20	0.06	0.008	0.02	0.024	0.04	0.24
CV (%)	-	1.04	2.21	1.13	1.54	1.72	1.77

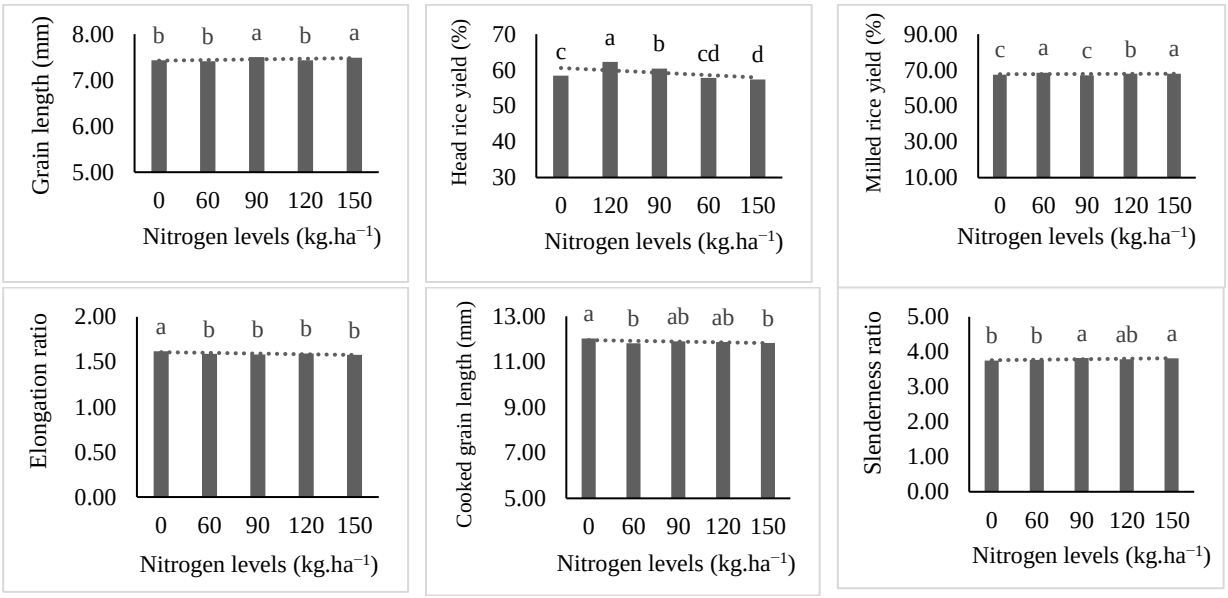
^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 1. Continued

جدول ۱- ادامه

Source of variation	df	Mean square					
		Peak viscosity	Minimum viscosity	Breakdown viscosity	Final viscosity	Setback viscosity	Pasting temperature
Replication	2	1088 ^{ns}	258 ^{ns}	1452 ^{ns}	1100 ^{ns}	500.6 ^{ns}	0.78 ^{ns}
Nitrogen (N)	4	127620**	36861**	62790**	10126*	69901**	1.57*
Error a	8	2504	562	3055	2989	965	0.20
Variety (V)	2	1645**	728788**	1472957	1854041**	2631134**	46.86**
N × V	8	27053**	18907**	15106**	7124*	23478**	1.35*
Error b	20	1951	2364	961	1653	1267	0.28
CV (%)	-	1.47	2.26	3.61	1.03	3.72	0.62

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



شکل ۱- مقایسه اثر سطوح نیتروژن بر راندمان تبدیل، درصد برنج سالم، طول دانه خام و پخته، ضریب رعنایی و ضریب ری‌آمدن

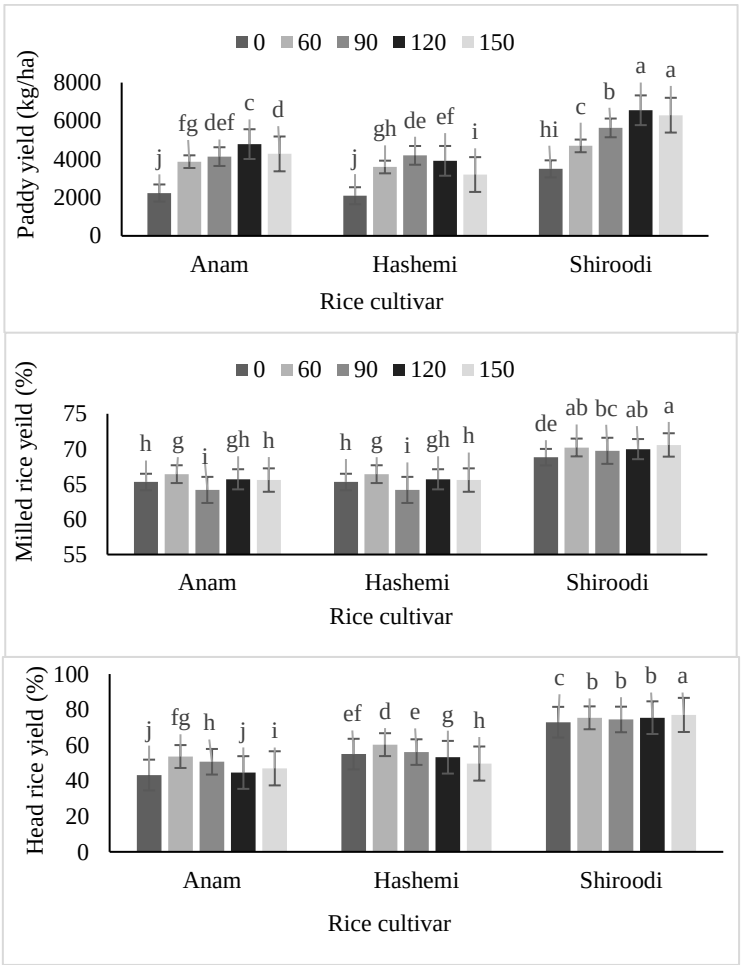
Figure 1. Comparison of the effect of nitrogen levels on milling recovery, head rice, raw and cooked grain length, slenderness and elongation coefficients

نتایج نشان داد که عملکرد شلتوک تحت تأثیر رقم و سطح نیتروژن قرار گرفت و واکنش سه رقم متفاوت بود. رقم هاشمی بیش‌ترین عملکرد خود را در سطح ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۴۲۰۲ کیلوگرم در هکتار) نشان داد و اختلاف معنی‌داری با سطح ۱۲۰ کیلوگرم نداشت. در مقابل، بیش‌ترین عملکرد دو رقم اصلاح شده آنام و شیرودی در سطح ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب با ۴۷۸۸ و ۶۵۵۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و البته در رقم شیرودی اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مشاهده نشد (شکل ۲).

بالاترین راندمان تبدیل مربوط به رقم شیرودی در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۷۰/۵۷ درصد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به رقم آنام در سطح ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۶۴/۱۸ درصد بود (شکل ۲). بالاترین درصد استحصال برنج سفید سالم در دو رقم آنام (۵۳/۶۱ درصد) و هاشمی (۶۰/۲۹ درصد) در تیمار ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد، در حالی‌که در رقم شیرودی، بیش‌ترین درصد برنج سفید سالم در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد و مقدار آن به ۷۷/۰۱ درصد رسید.

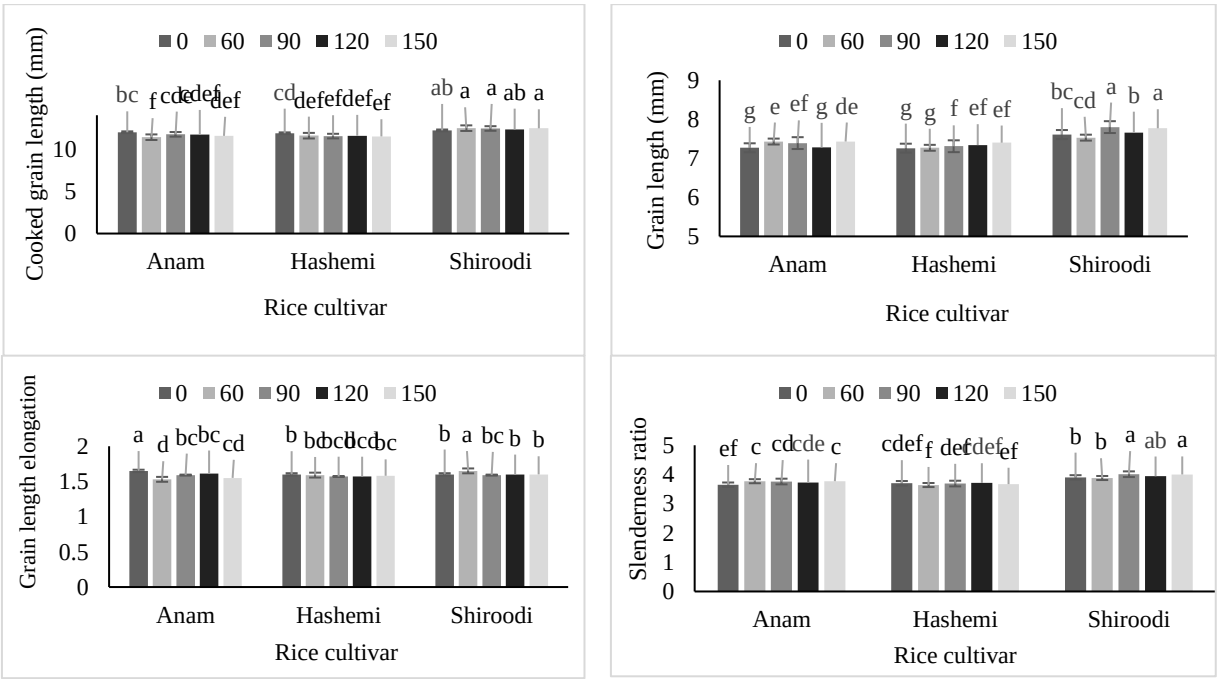
بلندترین طول دانه خام به رقم شیرودی در تیمار ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۷/۸۰ میلی‌متر) و کوتاه‌ترین طول دانه به رقم هاشمی در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۷/۲۶ میلی‌متر) اختصاص داشت. ضریب رعنایی در رقم آنام تحت تأثیر سطوح نیتروژن قرار گرفت، اما در رقم هاشمی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و در رقم شیرودی نیز سطوح بالاتر از ۹۰ کیلوگرم نیتروژن اثر معنی‌داری نداشت (شکل ۳). کمترین طول دانه پخته در رقم آنام در تیمار کودی ۶۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۱۱/۴ میلی‌متر و در رقم هاشمی در تیمار کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۱۱/۴۹ میلی‌متر مشاهده شد (شکل ۳). بالاترین میزان ضریب ری‌آمدن (نسبت طول دانه پخته به طول دانه خام)، در دو رقم محلی هاشمی و اصلاح شده آنام در تیمار کودی شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) مشاهده شد، در حالی‌که در رقم شیرودی بالاترین ضریب ری‌آمدن با مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن مشاهده شد.

مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف کود نیتروژن نشان داد که افزایش میزان نیتروژن مصرفی بر مقدار آمیلوز دانه روند کاهشی داشت و با مصرف مقادیر بیش‌تر کود نیتروژن، میزان آمیلوز دانه کاهش یافت، در حالی‌که اثر مقدار میتروژن بر نمره ژلاتینی شدن و محتوای پروتئین دانه روند افزایشی نشان داد (شکل ۴). همچنین، تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر مقدار آهن دانه یکنواخت نبود، در حالی‌که اثر آن بر مقدار منگنز دانه روند افزایشی نشان داد و بر میزان روی دانه نیز به‌غیر از تیمار شاهد، در سایر مقادیر روند افزایشی مشاهده شد (شکل ۴).



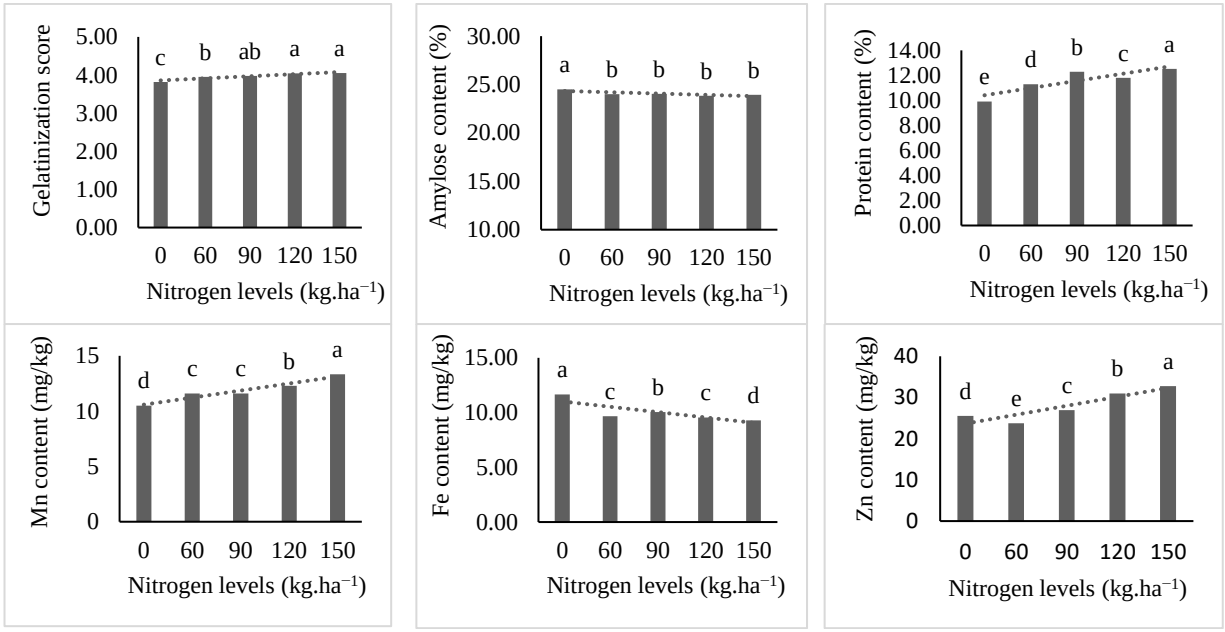
شکل ۲- تاثیر سطوح نیتروژن بر عملکرد و ویژگی‌های تبدیل دانه در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب

Figure 2. Effect of nitrogen levels on yield and milling quality of rice grain under direct seeding on wet bed



شکل ۳- تاثیر سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های فیزیکی و پخت دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب

Figure 3. Effect of nitrogen levels on physical and cooking properties of rice grain under direct seeding on wet bed

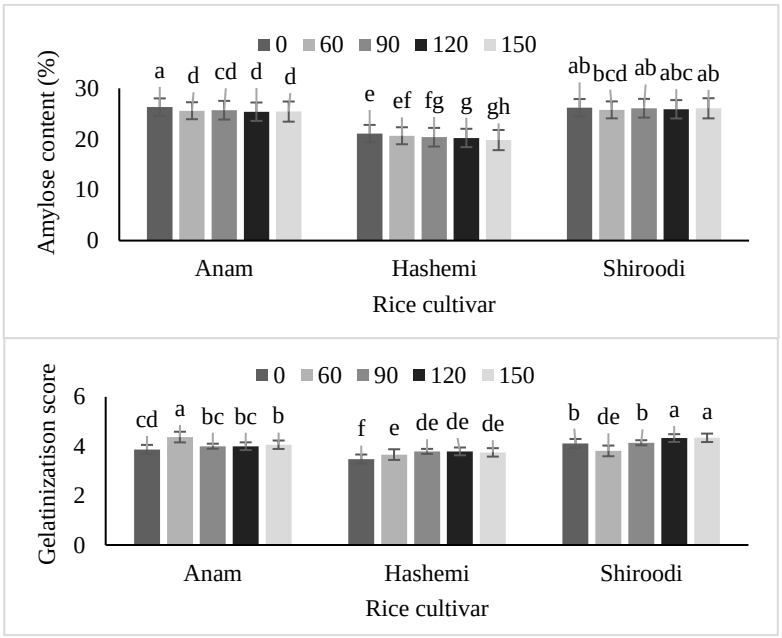


شکل ۴- اثر سطوح نیتروژن بر درصد آمیلوز، نمره ژلاتینی‌شدن، درصد پروتئین، مقدار آهن، روی و منگنز دانه برنج

Figure 4. Effect of nitrogen levels on amylose content, gelatinazation score, protein, iron, manganese and zinc content of rice grain

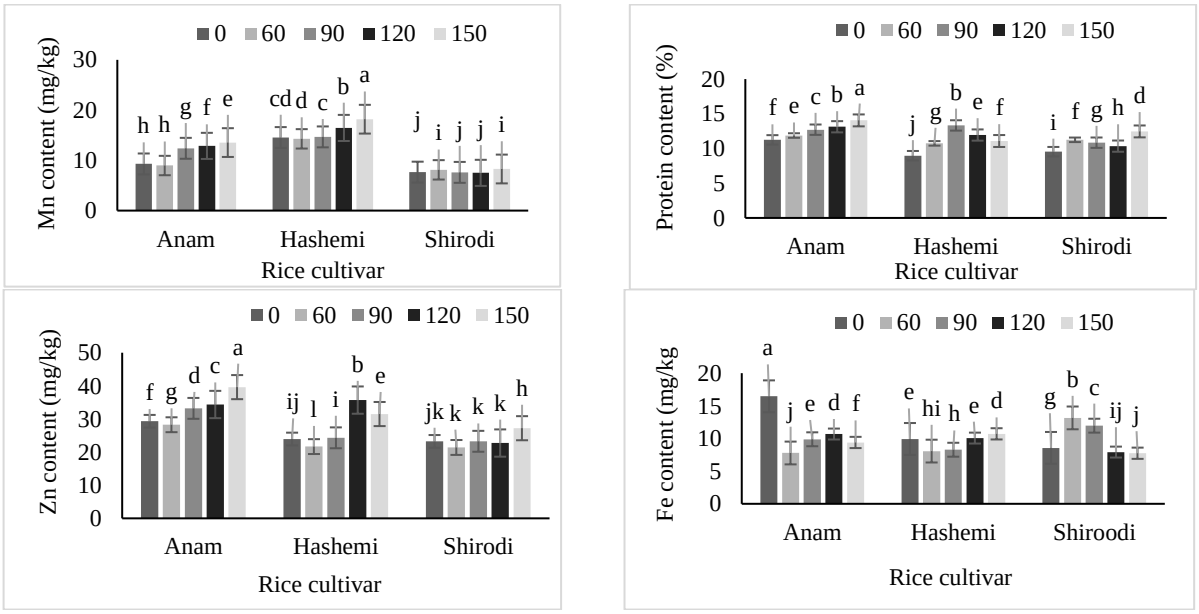
بررسی اثر سطوح کود نیتروژن بر میزان آمیلوز دانه سه رقم برنج مورد مطالعه نشان داد که بیش‌ترین مقدار آمیلوز در هر سه رقم آنام، هاشمی و شیرودی در تیمار کودی شاهد مشاهده شد. در حالی‌که از نظر نمره ژلاتینی‌شدن، رقم آنام در تیمار کودی ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۴/۳۷ بیش‌ترین مقدار را نشان داد و در مقابل، کم‌ترین نمره ژلاتینی‌شدن در رقم هاشمی در تیمار کودی شاهد با میانگین نمره ۳/۴۸ مشاهده شد. این در حالی بود که بیش‌ترین نمره ژلاتینی‌شدن در رقم شیرودی در سطوح کودی ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (با میانگین نمره ۴/۳۴) مشاهده شد (شکل ۵). از نظر میزان پروتئین دانه، نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار پروتئین در رقم آنام در تیمار کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۱۴/۰۵ درصد مشاهده شد. در رقم شیرودی نیز بیش‌ترین مقدار پروتئین در تیمار کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۱۲/۴۶ درصد ثبت شد، در حالی‌که بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه در رقم هاشمی با میانگین ۱۳/۳۲ درصد در تیمار کودی ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (شکل ۶).

اثر سطوح کود نیتروژن بر میزان آهن دانه سه رقم برنج مورد مطالعه کاملاً متفاوت بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت آهن دانه در رقم آنام در تیمار کودی شاهد (با میانگین ۱۶/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ثبت شد، در حالی‌که بالاترین میزان آهن دانه در رقم شیرودی در تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (با میانگین ۱۳/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در رقم هاشمی در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (با میانگین ۱۰/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۶). بررسی اثر سطوح کود نیتروژن بر محتوای منگنز دانه سه رقم برنج نیز نشان داد که محتوای منگنز دانه در رقم هاشمی در تمامی سطوح کودی نسبت به دو رقم آنام و شیرودی بالاتر بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت منگنز دانه با میانگین ۱۸/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رقم هاشمی و در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. در مقابل، رقم شیرودی در تمامی سطوح کودی دارای کم‌ترین میزان منگنز دانه بود (شکل ۶). در مقابل، مقایسه میزان روی دانه سه رقم برنج در سطوح کود نیتروژن نشان داد که بیش‌ترین غلظت روی دانه (۳۹/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در رقم آنام در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار وجود داشت. در رقم شیرودی نیز بیش‌ترین غلظت روی دانه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۲۷/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد، در حالی‌که در رقم هاشمی، بیش‌ترین میزان روی دانه در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۳۵/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۵- تاثیر سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های شیمیایی دانه برنج تحت شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب

Figure 5. Effect of nitrogen levels on chemical properties of rice grain under direct seeding on wet bed



شکل ۶- تاثیر سطوح نیتروژن بر پروتئین و مواد معدنی دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب

Figure 6. Effect of nitrogen levels on protein and mineral content of rice grain under direct seeding on wet bed

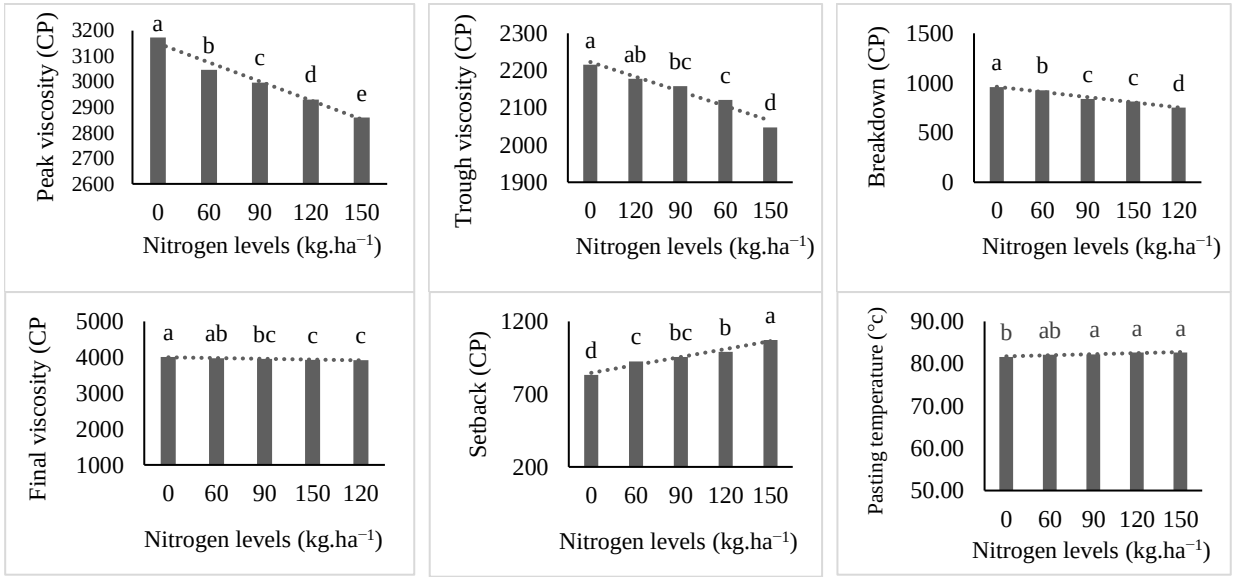
مقایسه اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بر ویژگی‌های چسبندگی نشاسته (خمیری‌شدن آرد دانه برنج) در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که افزایش سطح نیتروژن باعث تغییر معنی‌دار در پارامترهای مختلف چسبندگی شامل حداکثر چسبندگی (Peak viscosity)، حداقل چسبندگی (Minimum viscosity)، شکست چسبندگی (Breakdown viscosity)، پسرفت چسبندگی (Setback viscosity)، چسبندگی نهایی (Final viscosity) و دمای خمیری‌شدن (Pasting temperature) شد. با افزایش میزان نیتروژن، مقادیر حداکثر و حداقل چسبندگی روند کاهشی نشان دادند. روند مشابهی برای چسبندگی نهایی نیز مشاهده شد. همچنین، مقدار شکست چسبندگی نیز با افزایش نیتروژن کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش پایداری خمیر در برابر تنش حرارتی و برشی است. در مقابل، دمای خمیری‌شدن با افزایش سطح نیتروژن روند افزایشی داشت که بیانگر نیاز به انرژی حرارتی بیش‌تر برای شروع ژلاتینه‌شدن نشاسته در مقادیر بالاتر نیتروژن است (شکل ۷). در

مجموع نتایج نشان داد که افزایش سطح نیتروژن با تأثیر بر ترکیب شیمیایی دانه، رفتار خمیری‌شدن دانه برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مقایسه برهمکنش کود نیتروژن × رقم بر ویژگی‌های چسبندگی (شکل ۸) نیز نشان داد که بالاترین میزان حداکثر چسبندگی در رقم آنام و در تیمار شاهد با مقدار ۳۱۸۷ سانتی‌پویز مشاهده شد. همچنین، بالاترین میزان حداقل چسبندگی در رقم آنام و در تیمار شاهد با مقدار ۲۵۶۶ سانتی‌پویز مشاهده شد، در حالی‌که کم‌ترین مقدار آن در رقم هاشمی و در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با مقدار ۱۸۷۶ سانتی‌پویز به‌دست آمد. بیش‌ترین چسبندگی نهایی نیز در رقم آنام و در تیمارهای شاهد و ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب با مقادیر ۴۲۸۳ و ۴۲۴۰ سانتی‌پویز مشاهده شد، در حالی‌که کم‌ترین میزان چسبندگی نهایی در رقم هاشمی و در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با مقدار ۳۵۱۶ سانتی‌پویز ثبت شد. در رقم‌های آنام و هاشمی، با افزایش سطح نیتروژن، میزان پسرفت چسبندگی نسبت به رقم شیرودی افزایش بیش‌تری نشان داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان پسرفت در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در رقم آنام و هاشمی به‌ترتیب با مقادیر ۱۴۹۱ و ۶۳۴ سانتی‌پویز مشاهده شد، در حالی‌که این مقادیر در تیمار شاهد در این دو رقم به‌ترتیب ۱۰۹۶ و ۳۶۸ سانتی‌پویز بود. همچنین، میانگین میزان پسرفت در رقم هاشمی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از دو رقم آنام و شیرودی بود. بررسی دمای خمیری‌شدن نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار این صفت در بین هر سه رقم در تیمارهای ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۸۲/۶۳ درجه سلسیوس مشاهده شد. همچنین، در برهم‌کنش رقم و تیمار نیتروژن، بیش‌ترین دمای خمیری‌شدن در رقم آنام و در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با مقدار ۸۵/۵۳ درجه سلسیوس به‌دست آمد.

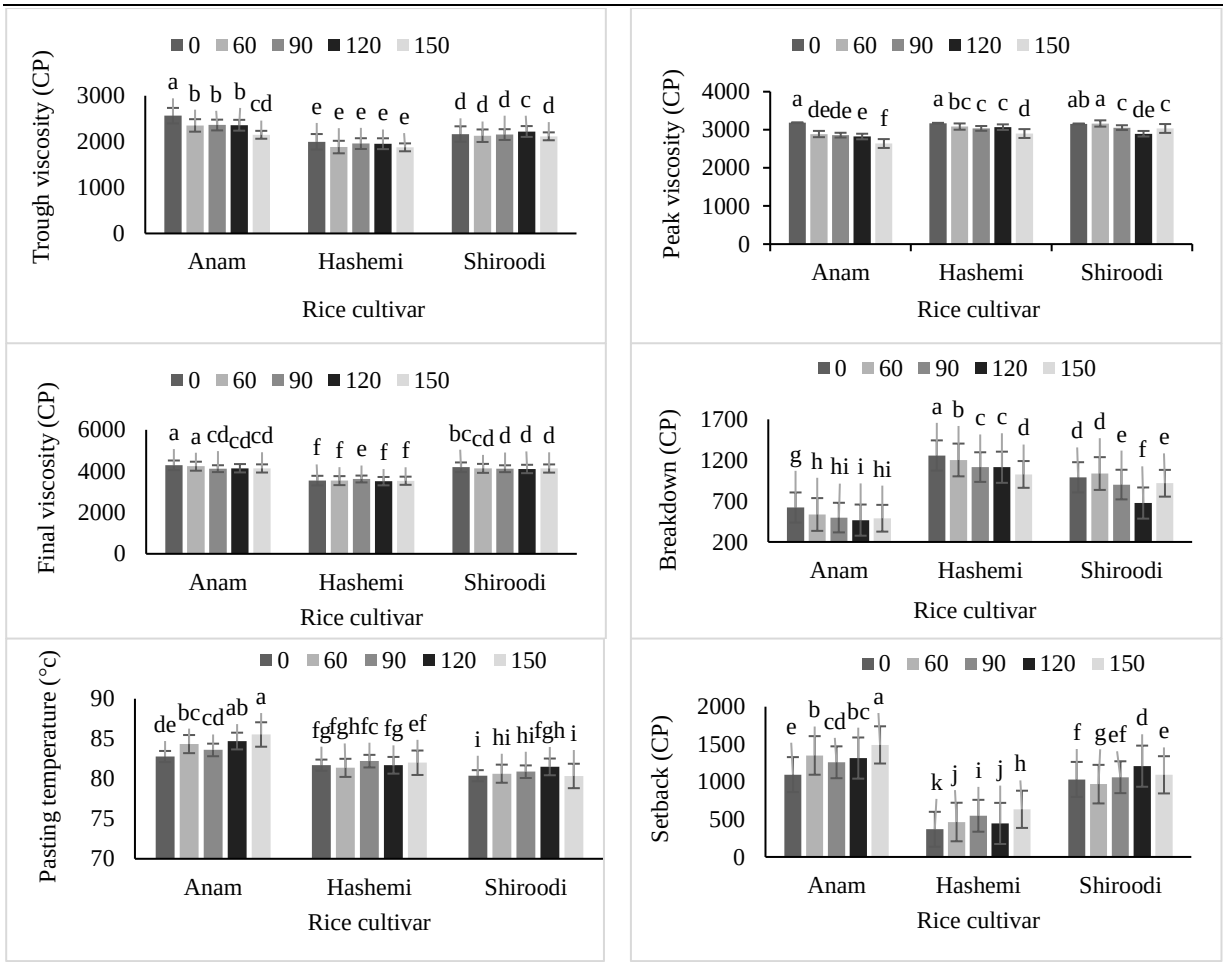
بحث

پاسخ برنج به نیتروژن به شدت تحت تأثیر شرایط رشد و مدیریت زراعی است و تغییر در استقرار گیاه، توسعه ریشه و جذب نیتروژن می‌تواند باعث تفاوت در صفات عملکردی و کیفی دانه شود (Fageria, 2014). نتایج این پژوهش نشان داد که پاسخ عملکردی، فیزیکوشیمیایی و تغذیه‌ای رقم‌های برنج به سطوح نیتروژن، غیرخطی و وابسته به ژنوتیپ است. بهبود کیفیت تبدیل، افزایش تجمع نشاسته و کاهش گچی‌شدن دانه در سطوح بهینه نیتروژن، با نتایج مطالعات پیشین هم‌خوانی داشت (Ma *et al.*, 2024). نیتروژن کافی با افزایش رشد رویشی، گسترش سطح برگ و افزایش کارآیی فتوسنتز موجب بهبود انتقال مواد فتوسنتزی به دانه شد و در نتیجه افزایش عملکرد شلتوک و بهبود برخی صفات ظاهری دانه را به‌همراه داشت. با این‌حال، تفاوت واکنش رقم‌های مختلف به سطوح نیتروژن نشان دهنده وجود تفاوت‌های ژنتیکی در کارآیی جذب و مصرف نیتروژن در رقم‌های مختلف برنج است (Ohnishi *et al.*, 1999).



شکل ۷- اثر سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های چسبندگی دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب

Figure 7. Effect of nitrogen levels on viscosity properties of rice grain under direct seeding on wet bed



شکل ۸- برهمکنش سطوح نیتروژن × رقم بر ویژگی‌های چسبندگی دانه برنج در شرایط کشت مستقیم بر بستر مرطوب

Figure 8. Interaction of nitrogen levels × cultivar on viscosity properties of rice grain under direct seeding on wet bed

افزایش راندمان تبدیل در سطوح متوسط تا بالای نیتروژن در برخی از رقم‌ها، احتمالاً در اثر افزایش پروتئین ماتریکسی اطراف گرانول‌های نشاسته و کاهش شکنندگی ساختار آندوسپرم رخ داده است (Shi *et al*., 2023). در مقابل، کاهش درصد برنج سالم در سطوح بالای نیتروژن در برخی از رقم‌ها را می‌توان به افزایش گچی‌شدن، ناهمگونی ساختاری آندوسپرم و افزایش رطوبت دانه در زمان برداشت نسبت داد (Zhou *et al*., 2023). گچی شدن ارتباط مستقیم با دمای محیط و سرعت پرشدن دانه دارد که همگی می‌توانند تحت اثر نیتروژن قرار گیرند (Wang *et al*., 2024). کاهش طول دانه پخته و افزایش دمای ژلاتینی‌شدن در اثر افزایش نیتروژن، عمدتاً به‌دلیل افزایش نسبت پروتئین به نشاسته، کاهش نفوذپذیری غشاهای آندوسپرم، کاهش تورم دانه‌های نشاسته و افزایش پیوندهای پروتئین- نشاسته است (Bhattacharya, 2011; Zhu *et al*., 2023). کاهش محتوای آمیلوز با افزایش نیتروژن که در این تحقیق مشاهده شد، به تغییر تخصیص کربن به‌سمت سنتز پروتئین و کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز آمیلوز نسبت داده می‌شود (Zhou *et al*., 2020). کاهش آمیلوز بسته به رقم، می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر بافت برنج پخته داشته باشد. در رقم‌های آمیلوز بالا مانند آنام و شیرودی، کاهش آمیلوز منجر به نرمی مطلوب بافت می‌شود، اما در رقم هاشمی (آمیلوز متوسط) افت کیفیت پخت مشاهده می‌شود. این تفاوت‌های ژنوتیپی در مطالعات سینگ و همکاران (Singh *et al*., 2011) و تیان- یانگ و همکاران (Tian-Yang *et al*., 2023) نیز تأیید شده است.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پاسخ غلظت عناصر کم‌مصرف دانه به سطوح مختلف کود نیتروژن از الگوی یکسانی پیروی نکرد، به‌طوری که منگنز روند افزایشی منظمی را نشان داد، اما تغییرات آهن و روی غیرخطی و به‌شدت تحت تأثیر رقم قرار داشت. یکی از دلایل اصلی این پدیده، اثر رقیق‌سازی است، به‌طوری که با افزایش سطح نیتروژن و متعاقباً افزایش عملکرد دانه و تجمع

کربوهیدرات‌ها، غلظت عناصر معدنی در واحد وزن دانه ممکن است کاهش یابد (Yuan *et al*., 2013). در واقع، زمانی که سرعت افزایش زیست‌توده بیش از سرعت جذب و انتقال عنصر به دانه باشد، غلظت آن در دانه کاهش می‌یابد. در مقابل، روند افزایشی غلظت منگنز با بالا رفتن سطح نیتروژن را می‌توان به تغییرات در محیط ریشه نسبت داد. مصرف کودهای نیتروژنه (به‌ویژه اوره) با تأثیر بر pH ریزوسفر و افزایش ترشحات ریشه‌ای، موجب افزایش حلالیت منگنز در خاک‌های غرقابی برنج می‌شود (Zhang *et al*., 2025). برخلاف آهن که به سرعت در خاک‌های غرقابی به فرم‌های غیرقابل جذب تبدیل می‌شود، منگنز پایداری و حلالیت بیش‌تری در حضور نیتروژن نشان می‌دهد. تفاوت پاسخ رقم‌های آنام، هاشمی و شیرودی در جذب این عناصر نیز بیانگر تفاوت در کارآیی استفاده از عناصر و تفاوت‌های ژنتیکی در بیان ژن‌های مرتبط با ناقل‌های فلزی است. نتایج این پژوهش نشان داد که رقم هاشمی در جذب منگنز و رقم آنام در تجمع روی در سطوح بالای نیتروژن، پتانسیل بالاتری دارند. این موضوع اهمیت تعامل ژنوتیپ و مدیریت تغذیه را در برنامه‌های غنی‌سازی زیستی برنج برجسته می‌کند (Liu *et al*., 2023b).

تغییرات مشاهده‌شده در ویژگی‌های خمیری‌شدن یا چسبندگی نیز با یافته‌های ما و همکاران (Ma *et al*., 2017) و زو و همکاران (Xu *et al*., 2022) همسو بود. افزایش نیتروژن و در نتیجه افزایش پروتئین دانه، با محدود کردن تورم دانه‌های نشاسته موجب کاهش حداکثر چسبندگی، چسبندگی نهایی و شکست چسبندگی و همچنین افزایش پسرفت یا برگشت‌پذیری چسبندگی شد، شاخص‌هایی که معمولاً با سفت‌تر شدن بافت برنج پس از پخت مرتبط هستند (Zhu *et al*., 2023). کاهش حداکثر چسبندگی در سطوح بالاتر نیتروژن می‌تواند نشان‌دهنده تغییر در ویژگی‌های ساختاری نشاسته و برهم‌کنش آن با سایر ترکیبات دانه باشد. در این راستا، زو و همکاران (Xu *et al*., 2022) نیز گزارش کردند که با افزایش مصرف کود نیتروژن، حداکثر چسبندگی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش چسبندگی نهایی در تیمارهای با مصرف کم‌تر نیتروژن می‌تواند با سفت‌تر شدن بافت برنج پخته مرتبط باشد. گیو و همکاران (Gu *et al*., 2015) نیز بیان کردند که کاهش مصرف کود نیتروژن سبب افزایش چسبندگی نهایی می‌شود و برنج پخته‌شده بافت سفت‌تری پیدا می‌کند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت.

کاهش معنی‌دار پسرفت چسبندگی در رقم هاشمی نسبت به دو رقم دیگر نشان می‌دهد که این رقم پس از سرد شدن، بافت نرم‌تری را حفظ می‌کند. به‌عبارت دیگر، پایین‌تر بودن پسرفت می‌تواند بیانگر تمایل کم‌تر نشاسته به بازآرایی مجدد و در نتیجه حفظ مطلوب‌تر ویژگی‌های بافتی پس از پخت باشد. افزایش دمای خمیری‌شدن در سطوح بالاتر نیتروژن نیز می‌تواند بیانگر نیاز به انرژی حرارتی بیش‌تر برای شروع ژلاتینه‌شدن نشاسته باشد. این موضوع احتمالاً با تغییر در نسبت زنجیره‌های بلند آمیلوپکتین مرتبط است که می‌تواند مدت زمان و انرژی لازم برای پخت را افزایش دهد. در این زمینه، زو و همکاران (Xu *et al*., 2022) نیز گزارش کردند که افزایش مصرف نیتروژن موجب افزایش دمای خمیری‌شدن می‌شود. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سطح نیتروژن با کاهش چسبندگی نهایی و افزایش پسرفت چسبندگی همراه بود که می‌تواند اثر منفی بر ویژگی‌های کیفی و حسی برنج پخته داشته باشد.

نتیجه گیری کلی

پاسخ برنج به مصرف نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر شرایط رشد و مدیریت زراعی قرار دارد، به‌گونه‌ای که تغییر در استقرار گیاه، توسعه سامانه ریشه و کارایی جذب نیتروژن می‌تواند منجر به بروز تفاوت در صفات عملکردی و ویژگی‌های کیفی دانه شود. افزایش نیتروژن تا سطوح بهینه (حدود ۹۰ کیلوگرم در هکتار برای رقم هاشمی و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برای رقم‌های آنام و شیرودی) عملکرد شلتوک را افزایش داد. با این‌حال، مصرف بیش از حد نیتروژن منجر به افت نسبی در جنبه‌های کیفی مانند درصد برنج سالم، طول دانه پخته و بافت آن شد. از نظر تغذیه‌ای، نیتروژن محتوای پروتئین و منگنز را افزایش داد، اما بر غلظت آهن و روی تأثیر متغیر داشت. تغییر در محتوای آمیلوز و دمای ژلاتینه شدن نیز بر رفتار خمیری و چسبندگی دانه موثر بود. مدیریت بهینه نیتروژن بر اساس نیاز رقم و خاک، برای دستیابی به توازن پایدار میان بهره‌وری تولید، کیفیت مصرف و سلامت تغذیه‌ای ضروری است و باید بر بهینه‌سازی مصرف نیتروژن متمرکز شود.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که 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 تا کنون 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

AACC. (1995). Determination of the pasting properties of rice with the rapid visco analyzer. American Association of Cereal Chemists AACC) Method, 61-02.01.

AOAC. (1990). Official Method of Analysis. The Association of the Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. The Association of the Official Analytical Chemists. Washington D.C., USA.

Bhattacharya, K.R. (2011). Rice quality: A guide to rice properties and analysis. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.

Bian, J.L., Xu, F.F., Han, C., Qiu, S., Ge, J.L., Xu, J., Zhang, H.C., & Wei, H.Y. (2018). Effects of planting methods on yield and quality of different types of japonica rice in Northern Jiangsu plain, China. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(12), 2624-2635. doi: 10.1016/S2095-3119(18)62141-0.

Chen, S., Chen, S., Jiang, Y., Lu, Q., Liu, Z., Liu, W., Wang, X., Shi, W., Xu, Q., Sun, J., Zhang, F., & Tang, L. (2022). Dissecting of the deterioration in eating quality for erect panicle (Ep) type high yield *Japonica* super rice in Northest China. *Rice*, *15*(1), 15. doi: 10.1186/s12284-022-00561-9.

Fageria, N.K. (2014). Nitrogen Management in Crop Production. CRC Press. doi: 10.1201/b17101.

Fukagawa, N.K., & Ziska, L.H. (2019). Rice: Importance for global nutrition. *Journal of Nutritional Science & Vitaminology*, *65*(Supplement), S2-S3. doi: 10.3177/jnsv.65.S2.

Gu, J., Chen, J., Chen, L., Wang, Z., Zhang, H., & Yang, J. (2015). Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s. *The Crop Journal*, *3*(4), 285-297. doi: 10.1016/j.cj.2015.03.007.

Habibi, F. (2013). Experimental methods for measuring quality characteristics in rice grain. Rice Reasearch Institute of Iran, Rasht, Iran. 27 p. [In Persian]

Juliano, B.O. (1971). Simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, *16*, 334-338.

Leesawatwong, M., Jamjod, S., Kuo, J., Dell, B., & Rerkasem, B. (2005). Nitrogen fertilizer increases seed protein and milling quality of rice. *Cereal Chemistry*, *82*(5), 588-593. doi: 10.1094/CC-82-0588.

Li, H., Yang, J., Yan, S., Lei, N., Wang, J., & Sun, B. (2019). Molecular causes for the increased stickiness of cooked non-glutinous rice by enzymatic hydrolysis of the grain surface protein. *Carbohydrate Polymers*, *216*, 197-203. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.04.031.

Liang, H., Gu, B., Wang, T., Rong, L., Sun, W., & Wu, Z. (2022). Relationship between protein structure and eating quality of rice under different nitrogen application rate. *Cereal Chemistry*, *99*(3), 692-703. doi: 10.1002/cche.10530.

Liu, H., Yang, L., Guo, J., Yang, J., Li, N., Dai, J., Feng, H., Liu, N., & Han, X. (2023a). Contrasting effects of nitrogen and organic fertilizers on iron dynamics in soil after 38–year fertilization practice. *Agronomy*, *13*(2), 371. doi: 10.3390/agronomy13020371.

Liu, Y., Chu, G., Stirling, E., Zhang, H., Chen, S., Xu, C., Zhang, X., Ge, T., & Wang, D. (2023b). Nitrogen fertilization modulates rice seed endophytic microbiomes and grain quality. *Science of the Total Environment*, *857*(Pt2), 159181. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159181.

Lu, Z., Fang, Z., Liu, W., Lu, D., Wang, X., Wang, S., Xue, J., & He, X. (2023). Grain quality characteristics analysis and application on breeding of Yuenongsimiao, a high-yielding and disease-resistant rice variety. *Scientific Reports*, *13*(1), 6335. doi: 10.1038/s41598-022-21030-9.

Ma, Z.H., Cheng, H.T., Nitta, Y., Aoki, N., Chen, Y., Chen, H.X., Ohsugj, R., & Lyu, W.Y. (2017). Differences in viscosity of superior and inferior spikelets of japonica rice with various percentages of apparent amylose content. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, *65*(21), 4237-4246. doi: 10.1021/acs.jafc.7b00048.

Ma, Z., Zhu, Z., Song, W., Luo, D., Cheng, H., Wang, X., & Lyu, W. (2024). Effects of nitrogen fertilizer on the endosperm composition and eating quality of rice varieties with different protein components. *Agronomy*, *14*(3), 469. doi: 10.3390/agronomy14030469.

Ohnishi, M., Horie, T., Homma, K., Supapoj, N., Takano, H., & Yamamoto, S. (1999). Nitrogen management and cultivar effects on rice yield and nitrogen use efficiency in Northeast Thailand. *Field Crops Research*, *64*(1-2), 109-120. doi: 10.1016/S0378-4290(99)00054-4.

Pouramir, F., Habibi, F., & Yaghoubi, B. (2024). The effect of planting method on grain yield and quality characteristics of some rice varieties in Guilan province. *Cereal Research*, *14*(2), 139-154. doi: 10.22124/CR.2024.27559.1822.

Rabiei, B., Valizadeh, M., Ghareyazie, B., Moghaddam, M., & Ali, A.J (2004). Identification of QTLs for rice grain size and shape of Iranian cultivars using SSR markers. *Euphytica*, *137*, 325-332. doi: 10.1023/B:EUPH.0000040452.76276.76.

Sano, O., Ito, T., & Saigusa, M. (2008). Effects of co-situs application of controlled-availability fertilizer on fertilizer and soil nitrogen uptake by rice (*Oryza sativa* L.) in paddy soils with different available nitrogen. *Soil Science & Plant Nutrition*, *54*(5), 769-776. doi: 10.1111/j.1747-0765.2008.00304.x.

Shi, S., Zhang, G., Chen, L., Zhang, W., Wang, X., Pan, K., Li, L., Wang, J., Liu, J., Cao, C., & Jiang, Y. (2023). Different nitrogen fertilizer application in the field affects the morphology and structure of protein and starch in rice during cooking. *Food Research International*, *163*, 112193. doi: 10.1016/j.foodres.2022.112193.

Singh, N., Pal, N., Mahajan, G., Singh, S., & Shevkani, K. (2011). Rice grain and starch properties: Effects of nitrogen fertilizer application. *Carbohydrate Polymers*, *86*(1), 219-225. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.04.039.

Tian-Yang, Z., Zhi-Kang, L. I., En-Peng, L. I., Wei-Lu, W., Li-Min, Y., Hao, Z. H. A. N. G., ... & Jian-Chang, Y. (2022). Optimization of nitrogen fertilization improves rice quality by affecting the structure and physicochemical properties of starch at high yield levels. Journal of Integrative Agriculture, 21(6), 1576-1592. doi: 10.1016/S2095-3119(21)63678-X.

Wang, J., Zhang, X., Xiao, Y., Chen, H., Wang, X., & Hu, Y. (2024). Effect of nitrogen fertilizer on the quality traits of Indica rice with different amylose contents. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, *104*(14), 8492-8499. doi: 10.1002/jsfa.13676.

Xu, F., Ruan, Y., & Lin, X. (2022). Nitrogen-induced variations in starch chain length distribution and gelatinization behavior in rice grain. *International Journal of Biological Macromolecules*, *216*, 256-265. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.06.095.

Yuan, L., Wu, L., Yang, C., & Lv, Q. (2013). Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, *93*(2), 254-261. doi: 10.1002/jsfa.5749.

Zhang, Y., Li, X., Fang, X., Tian, X., Ji, W., Zeng, X., Chen, Z., & Ao, H. (2025). Effects of nitrogen form and application rate on cadmium and mineral element uptake and translocation in rice. *Agronomy*, *15*(12), 2904. doi: 10.3390/agronomy15122904.

Zhao, C., Liu, G., Chen, Y., Jiang, Y., Shi, Y., Zhao, L., Liao, P., Wang, W., Xu, K., Dai, Q., & Huo, Z. (2022). Excessive nitrogen application leads to lower rice yield and grain quality by inhibiting the grain filling of inferior grains. *Agriculture*, *12*(7), 962. doi: 10.3390/agriculture12070962.

Zhou, H., Xia, D., & He, Y. (2020). Rice grain quality—traditional traits for high quality rice and health-plus substances. *Molecular Breeding*, *40*, 1. doi: 10.1007/s11032-019-1080-6.

Zhou, T.Y., Li, Z.K., Li, E.P., Wang, W.L., Yuan, L.M., Zhang, H., Liu, L.J., Wang, Z.Q., Gu, J.F., & Yang, J.C. (2022). Optimization of nitrogen fertilization improves rice quality by affecting the structure and physicochemical properties of starch at high yield levels. *Journal of Integrative Agriculture*, *21*(6), 1576-1592. doi: 10.1016/S2095-3119(21)63678-X.

Zhou, Y., Zhang, Y., Cui, J., Gao, J., Guo, L. & Zhang, Q. (2023). Nitrogen fertilization application strategies improve yield of the rice cultivars with different yield types by regulating phytohormones. *Scientific Reports*, *13*(1), 21803. doi: 10.1038/s41598-023-48491-w.

Zhu, H., Wen, T., Sun, M., Ali, I., Sheteiwy, M. S., Wahab, A., Tan, W., Wen, C., He, X., & Wang, X. (2023). Enhancing rice yield and nitrogen utilization efficiency through optimal planting density and reduced nitrogen rates. *Agronomy*, *13*(5), 1387. doi: 10.3390/agronomy13051387.