University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 12, No. 3, Autumn 2022 (225-240)
doi: 10.22124/CR.2023.23747.1756
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Effect of nitrogen fertilizer rates and mepiquat chloride application on lodging resistance indices and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.cv. Hashemi)

Mersad Ghanaati Gilpordsari[1], Masoud Esfahani[2*] and Ali Aalami[3]

1. Gradute M.Sc. Student, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran (*Corresponding author: esfahani@guilan.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Rice is a valuable and strategic cereal that plays an important role in providing food security for more than 50% of the world's population. New rice production systems require stable management operations. The role of nitrogen as a key determining factor is necessary to achieve optimal yield. As a synthtic growth regulator, mepiquat chloride is one of the important management tools in reducing stress damage and overcoming many agricultural problems, such as lodging. Mepiquat chloride reduces the distance between nodes in the main stem and tillers. The objective of this experiment was to investigate the effect of nitrogen fertilizer and mepiquat chloride on yield, yield components and lodging resistance indicators in rice.

Materials and methods

To investigate the effect of nitrogen fertilizer rates and the foliar application of the growth retardant mepiquat chloride on lodging resistance and grain yield of rice cv. Hashemi, a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was carried out during the spring of 2020 in the experimental field of Agriculture and Natural Resource Research Center in the village of Keshel Varzal in Rasht County, Guilan province, Iran. The experimental treatments included mepiquat chloride at four levels (no foliar application, and foliar application at the maximum tillering stage, stem elongation stage, and maximum tillering + stem elongation stages) and nitrogen (N) fertilizer at three levels (13 kg.ha^{-1}, 32.5 kg.ha^{-1}, and 52 kg.ha^{-1}). The studied traits also included the morphological characteristics (bending moment of internodes) related to the third and fourth internodes lodging, breaking resistance at the middle point of third and fourth internodes and lodging index, grain yield, number of panicles per plant, total number of grains per panicle, number of filled and unfilled grains per panicle and 1000-grain weight.

Research findings

The results showed that the highest grain yield (3999 kg.ha^{-1}) was obtained from the foliar application of mepiquat chloride at the maximum tillering stage along with the application of 52 kg.ha^{-1} N and the lowest (2169.6 kg.ha^{-1}) from no foliar application along with the application of 13 kg.ha^{-1} N. The maximum number of panicles per plant, number of total grains and filled grains per panicle were recorded in the mepiquat chloride foliar treatment at the maximum tillering stage and the application of 52 kg.ha^{-1} N. The lowest number of panicles per plant (and the number of filled grains per panicle) was obtained in the treatment of mepiquat chloride foliar application in the treatment of stem elongation and application of 13 kg.ha^{-1} N. The highest bending momentum of the third and fourth

internodes (1563 and 1663.9 $g.cm^{-1}$, respectively) was related to the foliar application of mepiquat chloride at the maximum tillering stage. Among the N fertilizer levels, the highest bending momentum of the third and fourth internodes (1521.1 and 1581.6 $g.cm^{-1}$, respectively) were obtained from the application of 32.5 $kg.ha^{-1}$ nitrogen.

Conclusion

Application of growth regulators and optimal use of nitrogen fertilizer are ways to prevent decline in rice grain yield. Foliar application of plant growth regulators and nitrogen chemical fertilizer on the plant characteristics of rice can help to improve resistance to plant lodging. According to the results of this experiment, it seems that foliar application of mepiquat chloride at the stage of maximum tillering and consumption of 52 $kg.ha^{-1}$ nitrogen is the most suitable treatment for Hashemi rice cultivar in terms of increasing grain yield and resistance to plant lodging in climatic conditions of Rasht.

Keywords: Bending momentum, Growth retardant, Internode, Lodging, Nutrition, Stem elongation stage, Tillering stage

Received: June 1, 2022 Accepted: October 12, 2022

Cite this article:

Ghanaati Gilpordasari, M., Esfahani, M. and Aalami, A. 2022. Effect of nitrogen fertilizer rates and mepiquat chloride application on lodging resistance indices and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.cv. Hashemi). *Cereal Research,* 12(3), pp. 225-240.

تحقیقات غلات
دوره دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱ (۲۴۰-۲۲۵)
doi: 10.22124/CR.2023.23747.1756
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

اثر مقادیر کود نیتروژن و محلول‌پاشی مپیکوات کلراید بر شاخص‌های مقاومت به خوابیدگی بوته، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی

مرصاد قناعتی گیل‌پردسری[۱]، مسعود اصفهانی[۲*] و علی اعلمی [۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران (* نویسنده مسئول: esfahani@guilan.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیده جامع

مقدمه: برنج از غلات با ارزش و راهبردی است که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی بیش از ۵۰ درصد از مردم دنیا دارد. روش‌های جدید تولید برنج نیازمند عملیات مدیریتی پایدار هستند. نقش نیتروژن به‌عنوان یک عنصر کلیدی تعیین کننده برای رسیدن به عملکرد مطلوب، ضروری است و مپیکوات کلراید نیز به‌عنوان یک تنظیم کننده مصنوعی رشد، یکی از ابزارهای مدیریتی مهم در کاهش خسارت تنش‌ها و برای غلبه بسیاری از مشکلات زراعی از جمله خوابیدگی بوته است که باعث کاهش فاصله میانگره‌ها در ساقه اصلی و پنجه‌ها می‌شود. هدف از اجرای این آزمایش، بررسی اثر کود نیتروژن و مپیکوات کلراید بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خوابیدگی بوته در برنج بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر مقادیر کود نیتروژن و محلول‌پاشی ماده کندکننده رشد مپیکوات کلراید بر شاخص‌های مقاومت به خوابیدگی بوته، عملکرد و اجزای عملکرد دانه برنج رقم هاشمی، آزمایشی به صورت فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار سال ۱۳۹۹ در مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان در روستای کشل‌ورزل شهرستان رشت، استان گیلان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل مپیکوات کلراید در چهار سطح (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، محلول‌پاشی در مرحله آغاز طویل‌شدن ساقه، محلول‌پاشی در مراحل حداکثر پنجه‌زنی+ آغاز طویل‌شدن ساقه) و نیتروژن (از منبع کود اوره) در سه سطح (۱۳ کیلوگرم در هکتار، ۳۲/۵ کیلوگرم در هکتار، ۵۲ کیلوگرم در هکتار) بود. صفات مورد مطالعه نیز شامل ویژگی‌های مورفولوژیک (گشتاور خمشی میانگره‌ها) مرتبط با خوابیدگی میانگره‌های سوم و چهارم، مقاومت به شکستگی در نقطه میانی میانگره‌های سوم و چهارم، شاخص خوابیدگی بوته، عملکرد دانه، تعداد خوشه در بوته، تعداد کل دانه در خوشه، تعداد دانه پر و پوک در خوشه و وزن هزار دانه بود.

یافته‌های تحقیق: نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۳۹۹۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین عملکرد دانه (۲۱۶۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار بدون محلول‌پاشی و مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه و دانه پر در خوشه در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ثبت شد. کم‌ترین تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در تیمار طویل شدن ساقه و

مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین گشتاور خمشی میانگره سوم و چهارم (به‌ترتیب ۱۵۶۳ و ۱۶۶۳/۹ گرم در سانتی‌متر) مربوط به تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و در تیمارهای کودی نیز بیش‌ترین گشتاور خمشی میانگره سوم و چهارم (به‌ترتیب۱۵۲۱ و ۱۵۸۱/۶ گرم در سانتی‌متر) در تیمار ۳۲/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. بیش‌ترین ضخامت میانگره سوم (۲/۱۳ میلی‌متر)، در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ثبت شد.

نتیجه‌گیری: محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و مصرف بهینه کود شیمیایی نیتروژن در برنج، ضمن جلوگیری از کاهش عملکرد، می‌تواند به بهبود مقاومت به خوابیدگی بوته کمک کند. با توجه به نتایج این پژوهش و مقایسه تیمارهای آزمایشی، به‌نظر می‌رسد که مصرف ۵۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، مناسب‌ترین تیمار برای برنج رقم هاشمی به‌منظور تولید حداکثر عملکرد دانه و بهبود مقاومت به خوابیدگی بوته در شرایط آب و هوایی رشت باشد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه، کندکننده رشد، گشتاور خمشی، مرحله پنجه‌زنی، مرحله طویل‌شدن ساقه، میانگره

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰

نحوه استناد به این مقاله:

قناعتی گیل‌پردسری، مرصاد، اصفهانی، مسعود و اعلمی، علی. ۱۴۰۱. اثر مقادیر کود نیتروژن و محلول‌پاشی مپیکوات کلراید بر شاخص‌های مقاومت به خوابیدگی بوته، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی. *تحقیقات غلات*، ۱۲(۳): ۲۴۰-۲۲۵.

مقدمه

برنج از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی و یکی از غلات مهم در دنیاست که بعد از گندم منبع اساسی و عمده غذایی بیش از ۵۰ درصد مردم دنیا را تشکیل می‌دهد (Mubeen *et al.*, 2014; Jabran and Chauhan, 2015). سطح زیر کشت برنج در دنیا ۱۶۵،۲۵۰،۶۲۰ و در ایران ۴۳۳،۳۱۱ هکتار می‌باشد (FAO, 2022). شیوه نوین مدیریت کشت برنج، یکی از روش‌های مدیریت مزرعه است که ضمن کاهش مصرف نهاده‌هایی هم‌چون مقدار بذر، آب آبیاری، کودها و سموم شیمیایی، باعث افزایش عملکرد در واحد سطح می‌شود. یکی از مهم‌ترین راه‌کارها برای افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، استفاده صحیح از نهاده‌ها، به‌ویژه کودهای شیمیایی است (FAO, 2022). نیتروژن یکی از عناصر غذایی کلیدی و تعیین‌کننده رشد گیاهان زراعی است که باعث شادابی، سبزماندن، نمو سریع، ازدیاد شاخ و برگ و افزایش کمی و کیفی محصول شده و همچنین علاوه بر کمیت، روی کیفیت محصول مانند رنگ، اندازه دانه و میوه، ارزش تغذیه‌ای میزان قند، اسیدهای آمینه ضروری و ویتامین‌ها تأثیر مثبت دارد (Malakouti and Kavousi, 2004). برای افزایش تولید پایدار برنج و تأمین نیتروژن ارقام برنج، استفاده از کودهای شیمیایی اجتناب ناپذیر است. نیتروژن از طریق تحریک رشد رویشی، موجب آبدار شدن اندام گیاهی و مستعد شدن گیاه به حمله بیماری‌ها و خوابیدگی بوته شده و پتاسیم این حساسیت را با ایجاد مقاومت از بین می‌برد (Rabiei *et al.*, 2021).

گزارش شده است که در صورت عدم فراهم بودن نیتروژن در ابتدای پنجه‌زنی، باعث کاهش ارتفاع بوته و در مرحله خوشه‌دهی باعث کاهش وزن هزار دانه، حرکت خمشی بوته و حساس شدن بوته به خوابیدگی می‌شود (Khosravi *et al.*, 2011). با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیک بیشتر غلات که خوشه‌ها و دانه‌ها در قسمت انتهایی ساقه تشکیل می‌شوند، تناسب بین استحکام بخش پایینی بوته و وزن قسمت‌های بالایی آن، تعیین کننده میزان مقاومت گیاه نسبت به خوابیدگی است (Hoshikawa and Wang, 1990). خوابیدگی بوته بسته به زمان وقوع می‌تواند تا ۵۰ درصد کاهش عملکرد محصول را به‌دنبال داشته باشد. مقاومت به خوابیدگی به مقاومت ساقه در برابر نیروی خارجی که عنوان مقاومت به شکستگی نشان داده می‌شود، بستگی داشته و در واقع مقدار نیروی لازم برای شکستن بافت گیاهی است (Broomand *et al.*, 2013). گزارش شده است که شاخص خوابیدگی همبستگی مثبتی با طول ساقه و طول میانگره‌ها داشته و خوابیدگی بوته غالباً در میانگره‌های پایینی (۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر از سطح زمین) گزارش شد (Li *et al.*, 2009). از آنجایی که گشتاور خمشی صفتی است که در آن طول و وزن میانگره‌ها و خوشه مستتر است (Faraji *et al.*, 2014). همبستگی مثبت و معنی‌دار مقاومت به شکستگی میانگره‌ها با قطر، ضخامت، نسبت وزن به طول میانگره‌ها گزارش شده است. بین مقاومت به شکستگی میانگره‌ها با درجه خوابیدگی در مزرعه همبستگی منفی وجود دارد و مقاومت به شکستگی میانگره سوم و چهارم، مهم‌ترین صفت در انتخاب ارقام مقاوم به خوابیدگی معرفی شده است (Islam *et al.*, 2007). خوابیدگی بوته برنج در مرحله رسیدگی علاوه بر اینکه از طریق سایه‌اندازی روی سایر بوته‌ها باعث کاهش فتوسنتز و کاهش عملکرد آن‌ها می‌شود، با قطع مسیر آوندها از انتقال آب، عناصر غذایی و مواد پرورده در امتداد آوندهای چوب و آبکش جلوگیری کرده و باعث کاهش فراهمی مواد پرورده در فرآیند پرشدن دانه‌ها می‌شود (Kashiwagi *et al.*, 2005).

تنظیم‌کننده رشد مپیکوات کلراید (Mepiquat Chloride) با نام عمومی پیکس (PIX) به‌صورت کریستال‌های قرمزرنگ بی‌بو است که در آب به‌خوبی حل می‌شود. مپیکوات کلراید توسط کمپانی BASF (آلمان) ساخته شده و متشکل از ۴/۲ درصد، N-N dimethyl piperi dinidm chloride و یک ترکیب چهار جزیی Ammonia است که در ممانعت از سنتز جیبرلین نقش دارد (Stewart, 2005). مپیکوات کلراید رشد رویشی و زایشی را با کاهش محتوای اسید جیبرلیک در گیاه و ممانعت از طویل شدن میانگره‌ها ، کنترل می‌کند. کاهش طول ساقه بیش‌تر از قسمت‌های وسط به طرف بالای بوته صورت می‌گیرد، در نتیجه رشد قسمت‌های انتهایی گیاه متوقف می‌شود. در گیاه محلول‌پاشی شده با پیکس تعادلی بین نسبت ریشه به اندام‌های هوایی گیاه به‌وجود می‌آید که در تعادل کلی گیاه نقش عمده‌ای دارد. استفاده از تنظیم کننده رشد مپیکوات کلراید از راهبردهای مهم زراعی برای غلبه بسیاری از مشکلات زراعی است (Souza and Rosolem, 2007).

این پژوهش با هدف بررسی اثر مقادیر کود نیتروژن و محلول‌پاشی ماده کندکننده رشد مپیکوات کلراید بر شاخص‌های مقاومت به خوابیدگی بوته و عملکرد دانه برنج رقم هاشمی طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۹ در مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان در روستای کشل‌ورزل استان گیلان، به صورت فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عرض جغرافیایی محل آزمایش ۳۷ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی بود. محل آزمایش دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است و میزان بارندگی سالانه بر حسب میانگین ۱۰ ساله برابر با ۱۳۳۰ میلی‌متر می‌باشد. قبل از اجرای آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه گیلان، اندازه‌گیری شد (جدول ۱). تیمارهای آزمایشی شامل عامل مپیکوات کلراید در چهار سطح (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، محلول‌پاشی در مرحله آغاز طویل شدن ساقه، محلول‌پاشی در مراحل حداکثر پنجه‌زنی+ آغاز طویل‌شدن ساقه) و کود نیتروژن (از منبع اوره؛ ۴۶ درصد نیتروژن) در سه سطح (۱۳ کیلوگرم در هکتار، ۳۲/۵ کیلوگرم در هکتار، ۵۲ کیلوگرم در هکتار) بودند. در این پژوهش از برنج رقم هاشمی استفاده شد که دارای کیفیت و بازارپسندی مناسبی است. بذر برنج رقم هاشمی از موسسه تحقیقات برنج کشور تهیه شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Physical and chemical properties of soil of the experimental soil

Year	Total N (%)	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	pH	Organic matter (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	Soil texture
2020	0.18	280	17.8	7.4	1.4	1.2	Clay loam

خاک مزرعه محل انجام آزمایش سه بار شخم زده شد که شخم اول در اسفند ماه، شخم دوم در اواسط اردیبهشت همزمان با احداث خزانه و شخم سوم (گلخرابی یا پادلینگ) همزمان با نشاءکاری برنج انجام شد. بذور در خزانه و زیر پوشش پلاستیکی پرورش داده شده و در سن ۲۵ روزگی از خزانه انتخاب و به زمین اصلی منتقل و به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۲۵ بوته در مترمربع) به تعداد یک گیاهچه در هر کپه، نشاءکاری شدند. اندازه واحدهای آزمایشی نه متر مربع (به ابعاد کرت ۳× ۳ متر) بود. در طول دوره رشد برنج برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج از سم دیازینون (گرانول ۵ درصد) و برای مدیریت علف‌های هرز از دو نوبت وجین دستی (حدود ۴ هفته و ۷ هفته پس از نشاءکاری) و مبارزه شیمیایی (بوتاکلر به میزان سه لیتر در هکتار ۴ روز پس از نشاءکاری) استفاده شد. مپیکوات کلراید (از منبع تجارتی مداکس تاپ ۳۵ درصد سوسپانسیون، ساخت شرکت BASF) به صورت محلول‌پاشی و با غلظت نیم لیتر در هکتار (بر اساس توصیه شرکت سازنده) با استفاده از سمپاش پشتی (دستی) ۲۰ لیتری بعد از کالیبره کردن جهت واحدهای آزمایشی مورد نظر، مصرف شد (هر لیتر از ماده تجاری مداکس تاپ (Medax Top 35% SC) حاوی ۳۰۰ گرم مپیکوات کلراید و ۵۰ گرم پروهگزادیون-کلسیم می‌باشد). در زمان محلول‌پاشی، بین کرت‌های مجاور پوشش پلاستیکی نصب شد تا از انتقال ناخواسته محلول به کرت‌ها و بوته‌های مجاور جلوگیری شود.

توزیع کود نیتروژن ۳۰ درصد در مرحله نشاکاری و ۴۰ درصد به صورت سرک در ابتدای پنجه‌زنی و ۳۰ درصد باقی‌مانده به صورت سرک دوم در انتهای پنجه‌زنی قبل از گلدهی به کرت‌های مورد نظر داده شد

جهت جلوگیری از انتقال کود نیتروژن به کرت‌های مجاور، بین کرت‌ها و بلوک‌های آزمایشی، فاصله کافی گذاشته شد و علاوه بر این، فواصل بین آنها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با پلاستیک پوشانده شده و برای ورود و خروج آب نیز کانال‌های آبیاری جداگانه احداث شد. کود پتاسیمی (۵۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سولفات پتاسیم و کود فسفر (۵۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سوپر فسفات تریپل بر اساس نتایج آزمون تجزیه خاک به کرت‌ها افزوده شدند. در مرحله رسیدگی تعداد ۱۰ بوته از هرکرت (پس از حذف دو ردیف کناری طولی و دو ردیف عرضی، به عنوان حاشیه) بصورت تصادفی انتخاب و طول میانگره‌ها

(میانگره‌های اول، دوم، سوم و چهارم از بالا به پایین) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری‌ها روی بوته‌های فضای نمونه‌برداری (Sampling area) انجام شد. با توجه به اینکه خوابیدگی بوته برنج در میانگره‌های سوم و چهارم اتفاق می‌افتد (Hoshikawa and Wang, 1990)، ویژگی‌های مورفولوژیک یا گشتاور خمشی (Bending moment) مرتبط با خوابیدگی میانگره‌های سوم و چهارم با استفاده از روابط (۱) و (۲) اندازه‌گیری شدند (Islam *et al*., 2007):

$$BM_3 = L_3 (W_P + W_1 + W_2 + W_3) \quad (۱)$$

$$BM_4 = L_4 (W_P + W_1 + W_2 + W_3 + W_4) \quad (۲)$$

که در آن، BM_3، BM_4 به‌ترتیب گشتاور خمشی میانگره‌های سوم و چهارم بر حسب گرم بر سانتی‌متر، L_3 و L_4 به‌ترتیب طول میانگره‌های سوم و چهارم از پایین میانگره تا نوک خوشه بر حسب سانتی‌متر، W_P، وزن تر خوشه، W_1 و W_2 به‌ترتیب وزن تر میانگره‌های اول و دوم همراه با برگ و غلاف و W_3 و W_4 به‌ترتیب وزن تر میانگره‌های سوم و چهارم بر حسب گرم هستند. مقاومت به شکستگی (Breaking resistance) در نقطه میانی میانگره‌های سوم و چهارم همراه با غلاف برگ اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت انتخاب و با وارد کردن فشار به بوته‌ها در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری از کف زمین، بوته‌ها از حالت عمودی به مایل (تا حد ۴۵ درجه) خم شده و در این حالت میزان مقاومت آنها با استفاده از نیروسنج دیجیتالی (Lutron FG-500 A, Taiwan) بر حسب نیوتن اندازه‌گیری شد. شاخص خوابیدگی بوته‌ها (LIN) نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Amano *et al*., 1993):

$$LIN=\frac{B_m}{B_r}\times 100 \quad (۳)$$

که در آن، B_m گشتاور خمشی و B_r مقاومت به شکستگی است. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته تصادفی از هرکرت انتخاب و ارتفاع آنها (بدون احتساب ریشک) با استفاده از خط‌کش چوبی اندازه‌گیری شد. جهت تعیین تعداد خوشه در بوته، ۳۰ بوته تصادفی از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه انتخاب و تعداد خوشه‌ها شمارش شد. برای شمارش تعداد دانه کل در خوشه، تعداد دانه پر و پوک در خوشه و وزن هزار دانه نیز تعداد ۳۰ خوشه تصادفی با در نظر گرفتن اثر حاشیه از هر کرت انتخاب و پس از بوجاری و شمارش آن‌ها، میانگین این صفات در هر خوشه محاسبه شد. برای محاسبه وزن هزار دانه، تعداد ۱۰۰۰ دانه بوجاری شده از هر کرت به‌طور تصادفی شمارش و با ترازوی الکتریکی با دقت یک هزارم گرم توزین شدند. جهت تعیین عملکرد دانه نیز با رعایت اثر حاشیه (حذف دو ردیف از اطراف هر کرت)، مساحت دو مترمربع از هر کرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، برداشت و عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد.

برای انجام محاسبات آماری و تجزیه داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی و سپس تجزیه واریانس داده‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها نیز از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. کلیه تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و طول میانگره‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و اثر ساده کود نیتروژن روی طول میانگره سوم و برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی طول میانگره چهارم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۲۰/۶ سانتی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و طویل‌شدن ساقه با مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵).

مصرف کود نیتروژن باعث افزایش ارتفاع بوته برنج شده و زیاد بودن ارتفاع بوته اغلب باعث کاهش مقاومت به شکستگی، کاهش مقاومت فشاری و افزایش شاخص خوابیدگی بوته در برنج می‌شود (Broomand *et al*., 2013). گزارش شده است که افزایش مقاومت به خوابیدگی بوته به کاهش طول ساقه و ارتفاع بوته بستگی دارد و افزایش ضخامت ساقه نیز نقش مهمی در افزایش مقاومت در برابر خوابیدگی بوته برنج دارد. البته در گزارش‌هایی نیز اعلام شده که ارتفاع بوته برنج مهم‌ترین

دلیل برای خوابیدگی بوته نیست (Ookawa and Ishihara, 1992). مپیکوات کلراید در آزمایش اسلام و همکاران (Islam *et al.*, 2007) روی ۱۶ ژنوتیپ برنج و بررسی صفات مورفولوژیک مرتبط با خوابیدگی بوته، گزارش شد که میانگین ارتفاع بوته پنج رقم با مقاومت بالا نسبت به خوابیدگی بوته ۱۲۳ سانتی‌متر و میانگین ارتفاع پنج رقم حساس به خوابیدگی بوته ۱۱۴ سانتی‌متر بوده است.

گزارش شده است که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در اوایل رشد طولی، باعث کاهش ارتفاع ساقه جو شد (Bahrami *et al*., 2013). گزارش شده است که با مصرف کلرمکوات کلراید ارتفاع بوته کاهش می‌یابد که نتیجه اثر آن در جلوگیری از رشد طولی سلول‌ها است (Khosravi *et al.*, 2011). نتایج تحقیقات نشان داده است که مصرف تنظیم‌کننده رشد مپیکوات کلراید باعث کاهش طول میانگره و کاهش ارتفاع بوته گیاه پنبه شد (Kheirjo *et al*., 2011). خسروی و همکاران (Khosravi *et al.*, 2011) اظهار داشتند که با مصرف کلرمکوات کلراید ارتفاع بوته برنج نسبت به عدم مصرف آن، ۷/۲ درصد کاهش یافت، زیرا طول ساقه و طول خوشه نیز با مصرف کلرومکوات کلراید کاهش یافتند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین طول میانگره سوم به مقدار ۲۹/۸ سانتی‌متر در تیمار بدون محلول‌پاشی و در بین تیمارهای کودی، بیش‌ترین طول میانگره سوم (۲۹/۹ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. کم‌ترین طول میانگره سوم (۲۵/۸ سانتی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و طویل شدن ساقه و در بین تیمارهای کودی کم‌ترین طول میانگره سوم (۲۶/۹ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۳۲/۵ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار بود (جدول ۴). بیش‌ترین طول میانگره چهارم (۱۶/۵۳ سانتی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و تیمار ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین طول میانگره چهارم (۱۰/۲ سانتی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و طویل شدن ساقه با مصرف ۱۳ کیلوگرم کود نیتروژنی در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵).

نتایج یک آزمایش نشان داد که با مصرف کلرمکوات کلراید طول میانگره سوم در برنج رقم طارم دیلمانی ۲۳/۷ درصد کاهش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین (۳۸ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۲۹ سانتی‌متر) آن در تیمار بدون مصرف و مصرف سه لیتر کلرمکوات کلراید در هکتار به‌دست آمد. مقدار سه لیتر کلرمکوات کلراید در هکتار به‌علت تعداد افزایش شاخص‌های مطلوب زراعی و کاهش صفات وابسته به خوابیدگی بوته و در نتیجه کاهش احتمال خوابیدگی و کاهش فاصله منبع و مخزن و رشد رویشی کمتر، به عنوان تیمار مناسب شناخته شد (Khosravi *et al.*, 2011). گزارش شده است که شاخص خوابیدگی همبستگی مثبتی با طول ساقه و طول میانگره‌ها داشته و خوابیدگی بوته برنج غالباً در میانگره‌های پایینی و در فاصله ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر از سطح زمین اتفاق می‌افتد (Li *et al.*, 2009). نتایج یک آزمایش نشان داد که طول میانگره‌های سوم و چهارم در برنج در تیمارهای مختلف کلرمکوات کلراید تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما مقادیر کود نیتروژن باعث افزایش طول آن‌ها شد، به طوری که تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به دو تیمار ۴۶ کیلوگرم و بدون مصرف نیتروژن، به ترتیب باعث افزایش ۱۹ و ۱۶ درصد در طول میانگره سوم و چهارم شدند. استفاده از تنظیم کننده رشد کلرمکوات کلراید باعث کاهش وزن خشک بوته شد، اما افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش سرعت رشد رویشی و در نتیجه افزایش صفات مورفولوژیک گیاه می‌شود (Ghanbari-Malidarreh *et al.*, 2012). نتایج یک آزمایش دیگر نشان داد که با مصرف کلرمکوات کلراید طول میانگره چهارم ۱۰/۱ درصد کاهش یافت، به طوریکه بیشترین (۲۷/۷ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۲۴/۹ سانتیمتر) طول میانگره چهارم به ترتیب در تیمار بدون مصرف و مصرف سه لیتر کلرمکوات کلراید در هکتار به‌دست آمد (Khosravi *et al.*, 2011).

قطر و ضخامت میانگره‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی قطر متوسط میانگره چهارم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و اثر ساده کود نیتروژن روی قطر متوسط میانگره سوم در سطح احتمال پنج درصد و روی ضخامت میانگره چهارم مپیکوات معنی‌دار بودند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین قطر متوسط میانگره چهارم (۵/۲۶ میلی‌متر) مربوط به تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مراحل حداکثر پنجه‌زنی و طویل شدن ساقه و مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. کم‌ترین قطر میانگره چهارم (۴/۴۱ میلی‌متر)

در تیمار بدون محلول‌پاشی همراه با مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). بیش‌ترین قطر متوسط میانگره سوم (۴/۳ میلی‌متر) در تیمار حداکثر پنجه‌زنی و در بین تیمارهای کودی، بیش‌ترین قطر متوسط میانگره سوم (۴/۲۶ میلی‌متر) با مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ثبت شد. کم‌ترین قطر متوسط میانگره سوم (۳/۹۹ میلی‌متر) در تیمار بدون محلول‌پاشی در تیمارهای کودی، کم‌ترین قطر متوسط میانگره سوم (۴ میلی‌متر) با مصرف ۵۲ کیلوگرم کود نیتروژنی در هکتار ثبت شد (جدول ۳). بیش‌ترین ضخامت میانگره سوم (۲/۱۳ میلی‌متر)، در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ثبت شد. کم‌ترین ضخامت میانگره سوم (۱/۶ میلی‌متر) در تیمار بدون محلول‌پاشی و در تیمارهای کودی، با مصرف ۱۳ کیلوگرم کود نیتروژنی در هکتار ثبت شد (جدول ۵). بیش‌ترین ضخامت میانگره چهارم (۲/۳۲ میلی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین ضخامت میانگره چهارم (۱/۸ میلی‌متر) در تیمارهای کودی، بدون محلول‌پاشی و در بین تیمارهای کودی، کم‌ترین ضخامت میانگره سوم (۱/۷۲ میلی‌متر) مربوط به مصرف ۱۳ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار بود (جدول ۴). گزارش شده است که افزایش ضخامت ساقه، مؤثرترین صفت مورفولوژیک در افزایش مقاومت به خوابیدگی بوته گیاه برنج است (Broomand *et al*., 2013). ژانگ و همکاران (Ju *et al*., 2009) نیز گزارش کردند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقاومت به شکستگی و ضخامت میانگره‌ها در برنج وجود دارد. از عوامل افزایش مقاومت به شکستگی و کاهش شاخص خوابیدگی در برنج، افزایش ضخامت میانگره‌های سوم و چهارم و افزایش وزن در واحد طول میانگره می‌باشد (Broomand *et al*., 2013). نتایج یک تحقیق نشان داد که قطر میانگره سوم برنج در تیمار بدون مصرف نیتروژن ۶/۲ و در تیمار محلول‌پاشی کلرمکوات کلراید ۵/۹۸ میلی‌متر بود و قطر میانگره چهارم در تیمار بدون مصرف نیتروژن کم‌ترین مقدار را داشت (Ghanbari-Malidarreh *et al*., 2012).

گشتاور خمشی میانگره‌ها و شاخص خوابیدگی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی گشتاور خمشی میانگره سوم و چهارم و روی شاخص خوابیدگی میانگره سوم معنی‌دار بودند. برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی شاخص خوابیدگی میانگره چهارم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین گشتاور خمشی میانگره سوم (۱۵۶۳ گرم در سانتی‌متر) مربوط به تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و در تیمارهای کودی، بیش-ترین گشتاور خمشی میانگره سوم (۱۵۲۱/۱ گرم در سانتی‌متر) در تیمار ۳۲/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به-دست آمد. کم‌ترین گشتاور خمشی میانگره سوم (۱۲۸۸/۳ گرم در سانتی‌متر) مربوط به تیمار بدون محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و در بین تیمارهای کودی، کم‌ترین گشتاور خمشی میانگره سوم (۱۲۷۵/۳ گرم در سانتی‌متر) در تیمار ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین گشتاور خمشی میانگره چهارم (۱۶۶۳/۹ گرم در سانتی‌متر) مربوط به تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و در تیمارهای کودی، بیش‌ترین گشتاور خمشی میانگره سوم (۱۵۸۱/۶ گرم در سانتی‌متر) در تیمار مصرف ۳۲/۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. کم‌ترین گشتاور خمشی میانگره چهارم مربوط به تیمارهای بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو مرحله و در مرحله طویل شدن ساقه بود که در یک گروه آماری قرار داشتند. در تیمارهای کودی، کم‌ترین گشتاور خمشی میانگره چهارم (۱۳۴۴/۷ گرم در سانتی‌متر) در تیمار مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد.

جدول ۲ – میانگین مربعات شاخص‌های مرتبط با خوابیدگی بوته در برنج رقم هاشمی تحت تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن

Table 2. Mean squares of plant loading indices in rice cv. Hashemi affected by mepiquat chloride application and nitrogen foliar treatments

Source of variation	df	Plant height	3th internode diameter	4th internode diameter	3th internode bending moment	4th internode bending moment	3th internode loading index	4th internode loading index	3th internode length	4th internode length	3th internode breaking resistance	4th internode breaking resistance
Block	2	35.57	0.045	0.0556	11452.7	86115	131.5	33.5	3.81	13.75	1.2	0.0259
Foliar application (F)	3	47.8*	0.166*	0.265**	147961*	171019**	26.7	25.8*	28.5**	2.6	2.89**	3.57**
Nitrogen (N)	2	18.4*	0.184*	0.114*	179077**	170209**	89.8*	65.9**	31.8**	15.4**	3.22**	0.088
F×N	6	27.5*	0.11	0.141**	8855	25116	25.4	51.12**	5.7	10.01**	0.753	1.28**
Error	22	16.8	0.041	0.024	8639.8	13980	18.8	8.49	3.28	1.44	0.386	0.108
CV (%)	-	3.2	4.9	3.1	6.7	8.04	15.1	10.2	6.44	9.32	24.5	6.26

* and ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- میانگین مربعات صفات زراعی برنج رقم هاشمی در تیمارهای محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن

Table 3. Mean squares of agronomic traits in rice cv. Hashemi affected by mepiquat chloride application and nitrogen fertilizer treatments

Source of variation	df	Grain yield	No. of panicles per plant	No. of grains per panicle	No. of filled grains per panicle	No. of unfilled grains per panicle	1000-grain weight
Block	2	14672	0.36	0.75	1.82	2.52	2.8
Foliar application (F)	3	2908995**	6.7**	213.9**	215.4**	0.356	5.13
Nitrogen (N)	2	784398**	14.1**	111.6**	135.3**	1.62**	3.27
F×N	6	103270**	2.4**	2.77	2.55	0.132	3.21
Error	22	23459	0.331	2.08	2.85	0.406	1.84
CV (%)	-	5.5	4.6	1.4	1.79	9.2	5.3

** Significant at 1% probability level.

شاخص خوابیدگی میانگره سوم در تمامی تیمارهای زمان محلول‌پاشی در یک گروه آماری قرار داشتند و در تیمارهای کودی، بیش‌ترین شاخص خوابیدگی میانگره سوم (۳۲ درصد) با مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. (جدول ۴). بیش‌ترین شاخص خوابیدگی میانگره چهارم (۳۴/۵ درصد) مربوط به تیمار بدون محلول‌پاشی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین شاخص خوابیدگی میانگره چهارم (۲۲/۶ درصد) مربوط به تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مراحل حداکثر پنجه‌زنی و طویل شدن ساقه و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. گزارش شده است که مصرف کود نیتروژن بر گشتاور خمشی میانگره چهارم در برنج رقم طارم دیلمانی موثر بود و همانند نتایج حاصل از تحقیق حاضر، کم‌ترین مقدار گشتاور خمشی هنگامی حاصل شد که گیاه با تنش کمبود نیتروژن در مراحل ابتدایی کاشت مواجه بوده است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۰). دستان و همکاران (Dastan *et al*., 2012) گزارش کردند که افزایش مصرف کود نیتروژن با افزایش طول میانگره چهارم می‌تواند سبب افزایش گشتاور خمش میانگره چهارم و ایجاد خوابیدگی در ساقه برنج شود. ارتباط معنی‌دار و مثبت بین گشتاور خمشی میانگره سوم با قطر متوسط میانگره سوم، ضخامت میانگره سوم و گشتاور خمشی میانگره چهارم با قطر متوسط میانگره چهارم و ضخامت میانگره چهارم گزارش شده است (Broomand *et al*., 2013). دیررسی ایجاد شده به‌دلیل استفاده از نیتروژن اضافی، می‌تواند یکی از دلایل ایجاد خوابیدگی بوته در غلات باشد (Berry *et al*., 2004).

مقاومت به شکستگی میانگره‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی مقاومت به شکستگی میانگره سوم و برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی مقاومت به شکستگی میانگره چهارم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین زمان محلول‌پاشی نشان داد که بیش‌ترین مقاومت به شکستگی میانگره سوم (۳/۳۷ نیوتن) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و کم‌ترین مقاومت (۲/۱ نیوتن) در تیمار بدون محلول‌پاشی به‌دست آمد. مقایسه تیمارهای کودی نیز نشان داد که بیش‌ترین مقاومت به شکستگی میانگره سوم در تیمارهای ۳۲/۵ و ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به‌ترتیب ۳/۰۲ و ۲/۵۶ نیوتن) و کم‌ترین مقاومت در تیمار ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱/۹۹ نیوتن) به‌دست آمد (جدول ۴).

مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن نیز نشان داد که بیش‌ترین مقاومت به شکستگی میانگره چهارم (۶/۸۴ نیوتن) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن و کم‌ترین مقاومت به شکستگی میانگره چهارم (۴/۲۴ نیوتن) در تیمار بدون محلول‌پاشی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ثبت شد (جدول ۵).

جدول ۴- اثر ساده محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن بر صفات زراعی برنج رقم هاشمی

Table 4. Simple effect of foliar application of mepiquat chloride and nitrogen fertilizer on agronomic traits of rice cv. Hashemi

Treatment	3th internode breaking resistance (N)	3th internode bending moment (g.cm)	4th internode bending moment (g.cm)	3th internode loading index (%)	3th internode thickness (mm)	4th internode thickness (mm)	3th internode diameter (mm)	3th internode length (cm)
Foliar application time								
Maximum tillering	3.37 a	1563 a	1663.9 a	26.7 a	2.11a	2.32 a	4.3 a	27.5 ab
Maximum tillering and stem elongation	2.30 b	1296 b	1360.3 b	28.3 a	1.94 b	2.01a	4.0 b	25.8 b
Stem elongation	2.30 b	1357 b	1473.2 b	29.9 a	1.85 bc	1.9 a	4.19ab	29.3 a
No foliar application	2.10 b	1288 b	1384.4 b	30.5 a	1.78 c	1.8 a	3.99 b	29.8 a
Nitrogen fertilizer ($kg.ha^{-1}$)								
13	1.99 b	1275 b	1344.7 c	32.0 a	1.6 b	1.72 b	4.26 a	27.4 b
32.5	3.02 a	1512 a	1581.6 a	27.6 b	2.11 a	1.95 b	4.15 ab	26.9 b
52	2.56 a	1342 b	1485.0 b	26.9 b	2.06 a	2.33 a	4.0 b	29.9 a

Means followed by common letter in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

جدول ۵- برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن بر صفات زراعی و شاخص‌های خوابیدگی بوته در برنج رقم هاشمی

Table 5. Interaction effect of foliar application of mepiquat chloride and nitrogen fertilizer on agronomic traits and plant loading indicators in rice cv. Hashemi

Foliar application time	Nitrogen fertilizer ($kg.ha^{-1}$)	Plant height (cm)	Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	No. of panicles per plant	4th internode diameter	4th internode length (cm)	4th internode breaking resistance (N)	4th internode loading index (%)
Maximum tillering	13	129.7a	2993cd	12d	5.17ab	11.9cd	5.64ab	26.2c
	32.5	123.4bc	3402b	13bc	5.03b	10.9de	5.96ab	31.2ab
	52	125.5b	3999a	15a	4.9bc	16.5a	6.84a	24.7cd
Maximum tillering and stem elongation	13	120.6cd	2698ef	12d	5.26a	10.2e	4.71c	25.1cd
	32.5	124.6b	3066cd	13bc	5.15ab	12cd	4.8c	32.4ab
	52	126.3bc	3130cd	12d	4.69de	14.6b	5.93ab	22.6d
Stem elongation	13	124.3b	2172h	10e	4.96bc	13.1bc	5.31b	26.6c
	32.5	127.8ab	2321fg	11de	4.81cd	14.7b	5.07b	30.1b
	52	129.9a	2556ef	13bc	4.86cd	12.6c	4.33cd	34.3a
No foliar application	13	122.3c	2169h	11de	4.41f	12.3cd	5.12b	25.6cd
	32.5	127.6ab	2177h	12d	4.9bc	12.7c	4.89c	28.2bc
	52	128.5ab	2396fg	14b	4.72de	12.7c	4.24cd	34.5a

Means followed by common letter in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

جدول ۶- اثر ساده محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن بر صفات گیاهی برنج رقم هاشمی

Table 6. Simple effect of foliar application of mepiquat chloride and nitrogen fertilizer on plant traits of Hashemi rice cultivar

Treatment	No. of total grains per panicle	No. of filled grains per panicle	No. of unfilled grains per panicle	1000-grain weight
Foliar application time				
Maximum tillering	106a	99.6a	6.8a	26.1a
Maximum tillering and stem elongation	104b	96.9b	7a	25.7ab
Stem elongation	98c	88.6d	7a	25.2ab
No foliar application	95d	92.2c	6.6a	24.4b
Nitrogen fertilizer ($kg.ha^{-1}$)				
13	93c	90c	4.7c	25.7a
32.5	101b	94.3b	6.7b	25.6a
52	104a	97.7a	7.3a	24.7a

Means followed by common letter in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

اسلام و همکاران (Islam *et al.*, 2007) گزارش کردند که مقاومت به خوابیدگی بوته در برنج به بیشتر بودن مقاومت به شکستگی میانگره‌های پایه گیاه ارتباط دارد. مقاومت به شکستگی می‌تواند شاخص مناسبی جهت تعیین مقاومت به خوابیدگی بوته برنج باشد و با توجه به همبستگی بالای ضخامت، قطر میانگره و سطح مقطع با مقاومت به شکستگی میانگره سوم و چهارم، این شاخص می‌تواند به‌عنوان شاخص غیرمستقیم جهت تعیین میزان مقاومت به شکستگی میانگره سوم و چهارم مورد استفاده قرار گیرد. گزارش شده است که افزایش قطر ساقه و نسبت وزن به طول ساقه عاملی اصلی در افزایش مقاومت به شکستگی ساقه در برنج است. افزایش ضخامت و قطر میانگره سوم و چهارم، نسبت وزن خشک به میانگره سوم و چهارم و نسبت وزن تر به میانگره سوم و چهارم افزایش مقاومت به شکستگی میانگره سوم و چهارم را به دنبال دارد (Faraji *et al.*, 2014). گزارش شده است که همبستگی مقاومت به شکستگی میانگره سوم و چهارم با شاخص خوابیدگی میانگره سوم و چهارم منفی و معنی‌دار است. افزایش ضخامت، نسبت وزن به طول و قطر میانگره باعث افزایش مقاومت به شکستگی میانگره‌ها و به دنبال آن کاهش شاخص خوابیدگی و درجه خوابیدگی در مزرعه می‌شود (Broomand *et al.*, 2013).

تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن روی تعداد خوشه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد خوشه در بوته (۱۵ عدد) در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ثبت شد. کم‌ترین تعداد خوشه در بوته (۱۰ عدد) در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در تیمار طویل شدن ساقه و مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). گزارش شده است که محلول‌پاشی کلرومکوات کلراید قبل از شروع رشد طولی ساقه در جو با کاهش غالبت انتهایی در ساقه اصلی، موجب تسهیم بیش‌تر مواد پرورده به رشد بخش‌های دیگر گیاه شده و در نتیجه امکان باروری پنجه‌های بیش‌تری در گیاهان تیمار شده فراهم می‌شود (Emam and Karimi Mazraeh Shah, 1996).

نتایج تجزیه واریانس برای صفات تعداد کل دانه و تعداد دانه پر در خوشه نشان داد که اثر ساده محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه کل در خوشه (۱۰۶/۴ عدد) در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و برای تیمارهای کود نیتروژن، با مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۰۴/۴ عدد) به‌دست آمد (جدول ۶). همچنین، بیش‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۹۹/۶ عدد) در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و برای تیمارهای کودی، با مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۹۷/۷ عدد) مشاهده شد. کم‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۹۲/۲ عدد) نیز در تیمار بدون محلول‌پاشی و برای تیمارهای کودی، در تیمار ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۹۰ عدد) به‌دست آمد.

گزارش شده است که ماده کنندکننده رشد کلرومکوات کلراید اثر مثبت بر تعداد دانه در سنبله گندم داشت و در بوته‌های تحت تیمار، ۱۴ درصد نسبت به شاهد عدم مصرف بیش‌تر بود که علت این موضوع افزایش تعداد دانه در سنبله اصلی بوده است (Bahrami *et al*., 2013). با مصرف کلرومکوات کلراید تسهیم مواد پرورده به رشد رویشی کم‌تر شده و سهم دانه‌ها از این مواد افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان دلیل افزایش تعداد دانه را نتیجه تسهیم بیش‌تر مواد پرورده به سنبلک‌ها نسبت داد (Bahrami *et al*., 2013).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر معنی‌دار برهمکنش محلول‌پاشی مپیکوات کلراید و کود نیتروژن را بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیش‌ترین عملکرد دانه (۳۹۹۹/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی با مصرف ۵۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین عملکرد دانه (۲۱۶۹/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار بدون محلول‌پاشی و مصرف ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). گزارش شده است که با افزایش مصرف کود نیتروژن، محتوای نیتروژن برگ‌ها (به‌عنوان مهم‌ترین اندامی فتوسنتز کننده)، افزایش می‌یابد. محتوای نیتروژن برگ ارتباط نزدیکی با واکنش‌های فتوسنتزی دارد و اثر مثبت روی عملکرد می‌گذارد. بعلاوه افزایش وزن برگ‌ها همراه با گسترش سطح آن‌ها در اثر مصرف کود نیتروژن، جذب و تحلیل دی‌اکسیدکربن را افزایش داده و رشد رویشی و رشد زایشی گیاه را بهبود می‌بخشد (Wang *et al*., 2018). ژو و همکاران (Ju *et al*., 2009) نیتروژن عامل کلیدی تعیین‌کننده عملکرد و مهم‌ترین نهاده مصرفی در تولید برنج برشمرده شده است. در یک آزمایش کمترین عملکرد دانه برنج در تیمار عدم مصرف نیتروژن و بیشترین آن در تیمار مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد (Belder *et al*., 2005). ارزیابی اثرات مقادیر کود نیتروژن بر عملکرد برنج نشات داد که کم‌ترین عملکرد دانه در تیمار عدم مصرف نیتروژن و بیش‌ترین آن در تیمار ۹۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. با افزایش میزان نیتروژن از ۳۰ به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه نیز افزایش یافت (Niknejad *et al*., 2016).

گزارش شده است که عملکرد برنج، تفاوت معنی‌داری در اثر محلول‌پاشی کلرمکوات کلراید (۵۴۹۳ کیلوگرم در هکتار) و پاکلوبوترازول (۵۳۷۹ کیلوگرم در هکتار) نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما با محلول‌پاشی ترینگزاپگ-اتیل (کند کننده رشد، ضد جیبرلین) (۴۹۲۹ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌دار داشتند (Espindula *et al*., 2009). گزارش شده است که بین عملکرد دانه در

ژنوتیپ‌های برنج با صفات ارتفاع بوته، طول ساقه، طول میانگره‌ها، گشتاور خمشی میانگره سوم و چهارم و شاخص خوابیدگی میانگره سوم و چهارم همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد، بنابراین به‌نظر می‌رسد صفاتی که تأثیر بیشتری بر مقاومت به خوابیدگی بوته دارند، با عملکرد دانه نیز همبستگی بالایی دارند و این موضوع نشان می‌دهد که نقصان عملکرد دانه تا حد زیادی تحت تأثیر خوابیدگی بوته قرار دارد و می‌توان با تقویت صفات مؤثر بر مقاومت خوابیدگی، عملکرد دانه را بهبود بخشید (Faraji *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

یکی از راه‌های جلوگیری از کاهش عملکرد برنج، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد و مصرف بهینه کود نیتروژن است. بر اساس نتایج آزمایش حاضر، به‌نظر می‌رسد که مقاومت به شکستگی می‌تواند شاخص مناسبی جهت تعیین مقاومت به خوابیدگی بوته‌ها در برنج باشد. از طرف دیگر، با توجه به همبستگی بالای بین ضخامت و قطر میانگره‌ها با مقاومت به شکستگی میانگره‌های سوم و چهارم، احتمالاً این شاخص می‌تواند به‌عنوان شاخص غیرمستقیم جهت تعیین میزان مقاومت به شکستگی میانگره‌های سوم و چهارم مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تمرکز روی اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌همراه مقدار مناسب و بهینه کود شیمیایی نیتروژن روی صفات زراعی برنج می‌تواند به بهبود مقاومت به خوابیدگی بوته کمک کند. در مجموع بر اساس نتایج آزمایش حاضر، محلول‌پاشی مپیکوات کلراید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و مصرف ۵۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، می‌تواند مناسب‌ترین تیمار قابل توصیه برای برنج (رقم هاشمی) از نظر مقاومت به خوابیدگی بوته و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری کارشناسان آزمایشگاه‌های زراعت و خاکشناسی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

نویسنده (گان) 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

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال 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 و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Amano, T., Zhu, Q., Wang, Y., Inoue, N. and Tanaka, H. 1993. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu province, China. II. Analysis of characters related to lodging. *Journal of Crop Science,* 62(2), pp. 275-281. http://doi.org/10.1626/jcs.62.275.

Bahrami, K., Piristeh Anoushe, H. and Imam, Y. 2013. The response of yield and yield components of barley cultivars to Psycocel shoot solution spraying. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products,* 4(12), pp. 27-36. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1393.4.12.3.9.

Belder, P., Spiertz, J.H., Bouman, B.A., Lu, G. and Tuong, T.P. 2005. Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. *Field Crops Research,* 93, pp. 169-185. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.022.

Berry, P.M., Sterling, M., Spink, J.H., Baker, C.J., Sylvester-Bradley, R., Mooney, D.J., Tams, A.R. and Ennos, A.R. 2004. Understanding and reducing loding in cereals. *Advances in Agronomy,* 84, pp. 217-271. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)84005-7.

Broomand, M., Esfahani, M., Alizadeh, M.R. and Alami, A. 2013. Evaluation of morphological characteristics related to lodging in native and improved rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Cereal Research,* 3(3), pp. 181-195. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1392.3.3.2.3.

Dastan, S., Siavoshi, M., Zakavi, D., Ghanbari Malidarreh, A., Yadi, R., Ghorbannia Delavar, E. and Nasiri, A.R. 2012. Application of nitrogen and silicon rates on morphological and chemical lodging related characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) at North of Iran. *Journal of Agricultural Science,* 4(6), pp. 11-18. https://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n6p12.

Emam, Y. and Karimi Mazraeh Shah, H.R. 1997. Effect of Chloromequat Chloride (CCC), a growth retarder, on growth, development and grain yield of rice. *Iranian Journal of Agriculture Science,* 28(1), pp. 65-72. [In Persian].

Espindula, M.C., Rocha, V.S., Grossi, J.A.S., Souza, M.A., Souza, L.T. and Favarto, L.F. 2009. Use of growth retardants in wheat. *Planta Daninha,* 27(2): 379-387. https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000200022.

FAO. 2022. World Food and Agriculture. Statistical Yearbook 2022. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. https://doi.org/10.4060/cc2211en.

Faraji, F., Esfahani, M., Kavousi, M., Nahvi, M. and Rabiei, B. 2014. Effect of split application and levels of nitrogen fertilizer on growth indices and grain yield of rice (*Oryza sativa* cv. Khazar). *Iranian Journal of Field Crop Science,* 43(2), pp. 323-333. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2012.28492.

Ghanbari-Malidarreh, A., Habibi, E. and Mobasser, H.R. 2012. Response of morphological traits related-lodging of rice (*Oryza sativa* L.) to chlormequat chloride application time and nitrogen rates in the North of Iran. International Conference on Agriculture, Chemical and Environmental Sciences. Oct. 6-7, Dubai, UAE. pp. 69-72.

Hoshikawa, K. and Wang, S.B. 1990. Studies on lodging in rice plants. I. A jeneral observation on lodged rice culms. *Japanese Journal of Crop Science,* 59(4), pp. 809-814. https://doi.org/10.1626/jcs.59.809.

Islam, M.S., Peng, S., Visperas, R.M., Erful, N., Bhuiya, M.S.U. and Julwquar, A.W. 2007. Lodging related morphological trait of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem. *Field Crops Research,* 101(2), pp. 240-248. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.12.002.

Jabran, K. and Chauhan, B.S. 2015. Weed management in aerobic rice systems. *Crop Protection,* 78: 151-163. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.005.

Ju, X.T., Xing, G.X., Chen, X.P., Zhang, S.L., Zhang, L.J., Liu, X.J., Cui, Z.L., Yin, B., Christiea, P., Zhu, Z.L. and Zhang, F.S. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* 106(9), 3041-3046. https://doi.org/10.1073/pnas.0813417106.

Kashiwagi, T., Sasaki, H. and Ishimaru, K. 2005. Factors responsible for decreasing sturdiness of the lower part in lodging of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science,* 8(2), pp. 166-172. https://doi.org/10.1626/pps.8.166.

Kheirjo, A., Shahrokhi, Sh. and Esferm Meshgin Shahr, H. 2018. The effect of the chemical mepiquat chloride on the cotton plant. *Quarterly Journal of Applied Chemistry in the Environment,* 2(6), pp. 63-68. [In Persian].

Khosravi, Y., Dastan, S., Mobaser, H. and Nasri, M. 2011. Effects of nitrogen stress and cycocel application on lodging related characteristics and grain yield in rice Taroom Deylamani cultivar. *Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plant Sciences),* 3(4), pp. 409-419. [In Persian].

Li, H.J., Zhang, X.J., Li, W.J., Xu, Z.J. and Xu, H. 2009. Lodging resistance in Japonica rice varieties with different panicle types. *Chinese Journal of Rice Science,* 23(2), pp. 191-196.

Malakouti, M. and Kavousi, M. 2004. Balanced Nutrition of Rice Plant. Sana Publications. [In Persian].

Mubeen, K., Nadeem, M.A., Tanveer, A. and Jhala, A.J. 2014. Effects of seeding time and weed control methods in direct seeded rice. *Journal of Animal and Plant Sciences,* 24(2), pp. 534-542.

Niknejad, Y., Daneshian, J., Shirani Rad, A.H. and Pirdashti, H. and Arzanesh, M.H. 2016. Evaluation of efficiency of growth promoting bacteria on yield and yield components of rice under deficit irrigation and reduced rate of nitrogen. *Applied Field Crops Research,* 29(3), pp. 9-19. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/AJ.2016.112591.

Ookawa, T. and Ishihara, K. 1992. Varietal difference of physical characteristics of the culm related to loading resistance in paddy rice. *Japanese Journal of Crops Science,* 61, pp. 419-425. https://doi.org/10.1626/jcs.61.419.

Rabiei, Z., Mohammadian Roshan, N., Sadeghi, S.M., Amiri, E. and Doroudian, H.R. 2021. Effects of potassium and nitrogen fertilizer applications on yield and lodging of rice (*Oryza sativa* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Crop Ecophysiology,* 15(60), pp. 493-514. [In Persian]. https://doi.org/10.30495/JCEP.2022.689802.

Souza, F.S. and Rosolem, C.A. 2007. Rainfall intensity and mepiquat chloride persistence in cotton. *Scientia Agricola,* 64(2), pp. 125-130. https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000200004.

Stewart, S. 2005. Suggested Guidelines for Plant Growth Regulator Use on Louisiana Cotton. Louisiana Cooperative Extension Service. Publication Number 2918.

Wang, J., Lu, Y.P., Wang, J., Xu, R.X., Li, J., Hu, W. and Tian, X.H. 2018. Effects of elevated nitrogen application on nitrogen partitioning, plant growth, grain quality and key genes involved in glutamate biosynthesis among three rice genotypes. *Chilean Journal of Agricultural Research,* 78(2), pp. 152-164. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392018000200152.