



Determining the optimal plant density in two types of soil with different physicochemical properties in manual and machine transplanting of rice (*Oryza sativa* L).

Ebrahim Rezaei¹, Morteza Sam Daliri², Hamid Reza Mobasser^{3*} , Amir Abbas Mousavi Mirkolaei⁴, Morteza Moballeghi⁵

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, Iran
5. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, Iran

Citation: Rezaei, E., Sam Daliri, M., Mobasser, H.R., Mousavi Mirkolaei, A.A., Moballeghi, M. (2024). Determining the optimal plant density in two types of soil with different physicochemical properties in manual and machine transplanting of rice (*Oryza sativa* L). *Plant Productions*, 47(3), 405-423.

Abstract

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L) is recognized as an important food product in the world. The survival of approximately 3 billion people depends on the production of this crop. Increasing yield and sustainable production of rice is necessary for food security in the world. The transplanting of rice seedlings in Iran is by machine and manual-traditional. Machine transplanting is a promising technology that is more efficient and requires less labor than traditional manual transplanting. Having little land and the poor financial status of farmers are among the shortcomings of adopting this technology. Rice production is determined mostly by the soil. Soil is one of the most important environmental factors and the main source of nutrients and water for the growth of plants. Decreasing soil quality will reduce rice production. Maintaining soil properties at the desired level is one of the important management issues. Determining the appropriate plant density is the most basic and critical consideration for high-yield rice planting. Because it can accelerate tillering in each plant, balance the variables and promote the harmonious growth of the plant and the plant community. By determining the optimal plant density, it is possible to achieve

* Corresponding Author: Hamid Reza Mobasser
E-mail: drmobasser.neg@gmail.com



the maximum yield of the crop. The current study aims to determine the optimal plant density in two soils with different physicochemical properties in a region under manual and machine rice transplanting methods.

Materials and Methods

A split-split plot experiment was conducted based on a randomized complete block design with four replications in 2021 and 2022. The experimental site is located along the coast of the Caspian Sea (36°50'N, 52°83'E; 29 m asl) at the Faculty of Agriculture and Natural Resources of Qaemshahr Azad University, Mazandaran Province (Northern Iran). Physical and chemical properties of soil (first type soil and second type soil) as the main factor, planting method (manual and machine transplanting) as a sub-factor, and plant density (15.9, 20.8, and 27.8 plants m⁻² with spaces of 30 × 21, 30 × 16, and 30 × 12 cm², respectively) as a sub-sub-factor were studied. In the current experiment, phenological traits (the number of days from transplanting to the beginning of flowering and the beginning of flowering to maturity), root morphological characteristics (root length and root fresh weight in tillering, panicle initiation, and maturity stages), and other agronomical traits (panicle length, number of panicles m⁻², total spikelet panicle⁻¹, 1000 - grain weight, grain yield, straw yield and harvest index) were measured.

Results and Discussion

Results showed that in the panicle initiation stage, the maximum root length in 2022 was obtained at a density of 27.8 plants m⁻² (23.9 cm). At the same stage, the maximum fresh weight of the root in 2022 was observed with the second type soil (66.2 g). In the maturity stage, the maximum root length was recorded with the second type of soil during manual transplanting (22.4 cm). At the same stage, the highest root fresh weight was observed with the second type of soil at a density of 15.9 plants m⁻² (86.4 g). The highest number of panicles m⁻² in the second type of soil was obtained, respectively, during machine transplanting with a density of 27.8 plants m⁻² (554.6 panicles) and during manual transplanting with the same plant density (547.4 panicles). The maximum total number of spikelets panicle⁻¹ was observed in the first type of soil during manual transplanting and the density of 27 plants m⁻² (134.1 spikelets), which was due to the number of panicles m⁻² (427.0 panicles). The minimum 1000- grain weight in 2021 was obtained with the first type of soil during manual transplanting (26.6 g). The grain yield in the second type soil was 8.7% higher than the first type soil. Also, the highest grain yield was observed at a density of 27.8 plants m⁻² (8687 kg ha⁻¹).

Conclusion

Based on the results obtained in the present study, the second type of soil and a density of 27.8 plants m⁻² are separately suggested to achieve the highest grain yield.

Keywords: Grain yield, Paddy soil, Plant density, Rice, Transplanting method,

توليدات گیاهی، ۱۴۰۳، ۴۷(۳)، ۴۰۵-۴۲۳

<https://plantproduction.scu.ac.ir/>

ISSN (P): 2588-543X; ISSN (E): 2588-5979

Doi: 10.22055/ppd.2024.47425.2191

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷



توليدات گیاهی

مقاله پژوهشی

تعیین تراکم مطلوب گیاهی در دو نوع خاک با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف در نشاکاری دستی و ماشینی برنج (*Oryza sativa* L.)

ابراهیم رضایی^۱، مرتضی سام‌دلیری^۱، حمیدرضا مبصر^{۲*} ID، امیرعباس موسوی میرکلایی^۳، مرتضی مبلغی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

۳- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران

۴- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

۵- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

چکیده

خاک یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی و منبع اصلی تأمین مواد مغذی و آب برای رشد گیاهان است. از اینرو خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌طور مستقیم بر رشد گیاه و در نتیجه بر تولید محصول برنج تأثیر می‌گذارد. همچنین تعیین تراکم مطلوب گیاهی اساسی‌ترین و حیاتی‌ترین اقدامات زراعی برای کاشت ارقام برنج پرمحصول می‌باشد. با توجه به نشاکاری برنج در ایران به هر دو صورت دستی و ماشینی، آزمایش جاری با هدف تعیین تراکم مطلوب گیاهی در دو نوع خاک با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف در نشاکاری دستی و ماشینی برنج انجام شد. آزمایش حاضر به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد قائم‌شهر، استان مازندران انجام شد. عوامل آزمایشی شامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (خاک نوع اول و خاک نوع دوم) به‌عنوان عامل اصلی، روش کاشت (نشاکاری دستی و ماشینی) به‌عنوان عامل فرعی و تراکم بوته (به‌ترتیب ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ بوته در متر مربع) به‌عنوان عامل فرعی-فرعی بودند. نتایج نشان دادند که در مرحله آغازش خوشه، بیشترین طول ریشه در سال ۱۴۰۱ در تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۲۳/۹ سانتی‌متر) به‌دست آمد. در همان مرحله، بیشینه وزن تر ریشه در سال ۱۴۰۱ با خاک نوع دوم (۶۶/۲ گرم) مشاهده شد. در مرحله رسیدگی، بیشینه طول ریشه با خاک نوع دوم در نشاکاری دستی (۲۲/۴ سانتی‌متر) ثبت شد. در همان مرحله، بیشترین وزن تر ریشه با خاک نوع دوم در تراکم ۱۵/۹ بوته در متر مربع (۸۶/۴ گرم) مشاهده شد. بیشترین تعداد خوشه در متر مربع در خاک نوع دوم به‌ترتیب در نشاکاری ماشینی و تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۵۵۴/۶ خوشه) و در نشاکاری دستی با همان تراکم بوته (۵۴۷/۴ خوشه) به‌دست آمد. بیشترین تعداد کل خوشه‌چه در خوشه در خاک نوع اول در نشاکاری دستی و

* نویسنده مسئول: حمیدرضا مبصر

رایانامه: drmobasser.neg@gmail.com

تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۱۳۴/۱ خوشه‌چه) مشاهده شد که به خاطر تعداد خوشه در متر مربع (۴۲۷/۰ خوشه) بود. کمترین وزن هزار دانه در سال ۱۴۰۰ با خاک نوع اول در نشاکاری دستی (۲۶/۶ گرم) به دست آمد. عملکرد دانه در خاک نوع دوم، ۸/۷ درصد بیشتر از خاک نوع اول بود. همچنین بیشترین عملکرد دانه در تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۸۶۸۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر، خاک نوع دوم و تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع هر کدام به تنهایی به منظور دستیابی به بالاترین عملکرد دانه به عنوان پیشنهادات قابل ارائه می‌باشند.

کلید واژه‌ها: برنج، تراکم بوته، خاک شالیزاری، روش نشاکاری، عملکرد دانه

مقدمه

در سن‌های مختلف به صورت دستی (سنتی) و یا ماشینی نشاکاری شوند (Ebrahimi et al., 2020). در روش ماشینی، علاوه بر راندمان بالا، زمین کمتری برای پرورش گیاهچه مورد نیاز است (Zhang and Gong, 2014). محدودیت‌هایی نیز در این روش وجود دارد که از آن جمله می‌توان به ضعیف بودن گیاهچه ناشی از میزان کاشت زیاد و آسیب شدید وارده به گیاهچه توسط ماشین‌آلات در حین نشاکاری اشاره کرد (Xing et al., 2017). علی‌رغم برتری روش نشاکاری ماشینی نسبت به روش مرسوم، داشتن زمین کم و وضعیت مالی ضعیف از کاستی‌های پذیرش این فناوری است (Saha et al., 2021). تعیین تراکم مناسب کاشت، اساسی‌ترین و حیاتی‌ترین ملاحظات برای کشت برنج پرمحصول است (Hu et al., 2020). با تعیین تراکم مطلوب گیاهی می‌توان به بیشینه عملکرد محصول زراعی رسید (Afa et al., 2023). تراکم بوته باعث ایجاد رقابت بین گیاهان (اندام‌های بالا و پایین سطح زمین) می‌شود (Pithaloka et al., 2015)، که اگر به درستی مدیریت شود، گیاهان می‌توانند از عوامل رشدی به طور کارآمد استفاده کنند و عملکرد را افزایش دهند (Kulig et al., 2019). نتایج یک مطالعه مزرعه‌ای بر روی یک خاک لومی با ماده آلی ۲/۷۰-۲/۸۲ درصد نشان داد که عملکرد دانه برنج در واحد سطح با افزایش تراکم بوته در نشاکاری دستی (۲۰ × ۲۵، ۱۱ × ۳۰ و ۱۰ × ۲۵ سانتی‌متر مربع) افزایش یافت (Yahyazadeh et al., 2023). دوو و همکاران (Dou et al., 2021) با بررسی تراکم‌های مختلف بوته در نشاکاری ماشینی (۱۱/۵ × ۳۰، ۱۲/۸ × ۳۰، ۱۴/۴ ×

برنج (*Oryza sativa* L.) به عنوان یک محصول غذایی مهم در جهان شناخته شده است (Peng et al., 2023). گزارشات از دو برابر شدن تقاضای جهانی برنج تا سال ۲۰۵۰ خبر دادند (Food and Agriculture Organization, 2009). در حالیکه تولید جهانی برنج در سال ۲۰۲۲-۲۳، ۵۱۳/۷ میلیون تن بود که نسبت به سال قبل کاهش نشان داد (United States Department of Agriculture, 2023). بنابراین افزایش عملکرد و تولید پایدار برنج برای امنیت غذایی در دنیا الزامی است (Peng et al., 2023). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با نقش‌هایی که در خاک ایفا می‌کنند بر رشد گیاه و در نتیجه بر مورفولوژی گیاه تأثیر می‌گذارند (Mangosongo et al., 2019). به عنوان مثال، pH خاک، قلیایی بودن خاک را تعیین می‌کند که بر واکنش‌های شیمیایی بین آب و مواد معدنی خاک تأثیر می‌گذارد (Imran et al., 2010). بافت خاک نیز با تأثیر بر نفوذ ریشه و حرکت آب و مواد مغذی، نقش مهمی بر رشد محصول و تولید نهایی دارد (Landon, 1991). قابل ذکر است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بسته به بافت، آب و هوا، محتوای مواد آلی، فعالیت زیستی خاک و شیوه‌های خاک‌ورزی، از نظر زمانی و مکانی به شدت متغیر است (Alletto et al., 2010). از این رو ارزیابی شرایط مزرعه برنج بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک امری ضروریست (Safitri et al., 2021). کشت برنج می‌تواند روی بسترهای خزانه یا سینی‌های نشاء انجام شود و گیاهچه‌ها

منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، استان مازندران انجام شد. محل اجرای آزمایش در امتداد ساحل دریای خزر با ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۸۳ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۲۹ متر بالاتر از سطح دریا واقع شده است. داده‌های هواشناسی ثبت شده در طول دوره رشد برنج در جدول ۱ ارائه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (خاک نوع اول و خاک نوع دوم) به‌عنوان عامل اصلی بررسی شد که در جدول ۲ تشریح شده‌اند. این دو نوع خاک مربوط به دو مزرعه با فاصله تقریبی ۴۰۰ متر از یکدیگر بوده‌اند. روش کاشت (نشاکاری دستی و ماشینی) و تراکم بوته (به-ترتیب ۱۵/۹، ۲۰/۸ و ۲۷/۸ بوته در متر مربع به‌ترتیب با فضاهای ۲۱ × ۳۰، ۱۶ × ۳۰ و ۱۲ × ۳۰ سانتی‌متر مربع) به‌ترتیب به‌عنوان عوامل فرعی و فرعی-فرعی مورد مطالعه قرار گرفتند. برنج شیرودی، رقم مورد مطالعه بود. این رقم جزء ارقام پرمحصول، دیررس و پاکوتاه محسوب می‌شود و از خصوصیات بارز آن می‌توان به عملکرد بالا، کیفیت پخت مناسب و بازار پسندی بسیار خوب از نظر شکل دانه اشاره کرد. همچنین در برابر آفات و بیماری‌های مهم نیز مقاوم است (Rice Research Institute of Iran, 2015). گیاهچه‌ها برای نشاکاری ماشینی به‌طور مستقیم از بانک نشاء تهیه و در تاریخ نشاکاری به مزرعه منتقل شدند. به‌منظور تهیه گیاهچه‌ها برای نشاکاری دستی، ابتدا بذرهای به‌ظاهر سالم به مدت ۲۴ ساعت در آب (به‌منظور رشد قارچ‌های احتمالی در شکاف بذرها) خوابانیده شدند. سپس در مدت مشابه با محلول قارچ‌کش کاربوکسین تیرام با غلظت ۲ در هزار (۳ گرم سم و ۱/۵ لیتر آب به ازای هر کیلوگرم بذر) ضدعفونی شدند. کاربوکسین تیرام با نام تجاری ویتاواکس به‌منظور کنترل بیماری‌های لکه قهوه‌ای (*Cochliobolus miyabeanus*) و پوسیدگی طوقه برنج (*Gibberella fujikuroi*) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳۰، ۱۵/۷ × ۳۰ و ۱۶/۷ × ۳۰ سانتی‌متر مربع) بر روی خاکی با ماده آلی ۳۵/۶ گرم بر کیلوگرم دریافتند که تعداد خوشه و عملکرد دانه در هکتار با کاهش تراکم بوته روند کاهشی نشان دادند. ارشد و همکاران (Arshad et al., 2020)، در مزرعه‌ای با زهکشی ضعیف، خاک لومی‌سیلتی و ماده آلی ۱/۶۷ درصد، فواصل مختلف کاشت در نشاکاری دستی (۱۵ × ۲۵، ۲۰ × ۲۰، ۱۵ × ۲۰ و ۱۰ × ۲۰ سانتی‌متر مربع) را بررسی کردند و نشان داده‌اند که بیشینه عملکرد دانه در فواصل کاشت ۱۵ × ۲۰ سانتی‌متر مربع به‌دست آمد که به‌خاطر مقادیر بالاتر تعداد پنجه مؤثر در بوته، طول خوشه و تعداد دانه در خوشه و همچنین تعداد کمتر خوشه‌چه پوک در خوشه بود. بررسی تراکم‌های مختلف بوته (۱۸/۶۲ تا ۲۸/۴۹ کچه در متر مربع) تحت روش‌های متفاوت نشاکاری ماشینی برنج (فرشی و گلدانی) در خاکی با درصد شن بالا و ماده آلی ۲۱/۶ گرم در کیلوگرم نشان داد که تعداد خوشه در واحد سطح با کاهش تراکم کاهش یافت در حالی که بیشینه عملکرد دانه در هکتار تحت روش کاشت ماشینی گلدانی با ۲۶/۸۸ بوته در متر مربع به‌دست آمد (Qun et al., 2020). بر اساس مطالب بالا، دریافتیم که تعیین تراکم گیاهی بهینه وابستگی بالایی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شالیزاری دارد. آزمایش حاضر با این فرضیه که تفاوت در سطح پارامترهای مختلف خاک شالیزاری سبب تغییر تراکم مطلوب گیاهی می‌شود، انجام شد. از این‌رو، هدف از انجام آزمایش حاضر تعیین تراکم مطلوب گیاهی در دو نوع خاک با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف در نشاکاری دستی و ماشینی برنج از طریق بررسی صفات زراعی و خصوصیات ریشه-ای بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در دانشکده کشاورزی و

Table 1. Climatic data during the growth and development of rice in 2021 and 2022.

Months	Min. temperature		Max. temperature		Avg. temperature		Total rain		Total sunshine	
	°C						(mm)		(h)	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
May	14.8	16.2	25.0	24.7	19.9	20.5	33.4	40.6	182.5	150.0
Jun	20.3	21.3	31.7	30.7	26.0	26.0	4.0	26.4	297.0	219.5
Jul	22.9	24.6	32.6	34.0	27.7	29.3	16.6	25.5	255.5	231.5
Aug	23.5	24.9	31.6	34.2	27.5	29.6	39.2	27.9	134.7	231.7

Table 2. Physical and chemical properties of the studied soils (0 to 30 cm depth).

Soil characteristics	Unit	First type soil	Second type soil
Physical	Sand	%	19.84
	Silt	%	30.86
	Clay	%	49.30
	Soil texture	-	Clay
Chemical	pH	-	7.29
	Electrical conductivity	d.S.m ⁻¹	1.70
	Organic matter	%	2.63
	Organic carbon	%	1.53
	Available P	Mg kg ⁻¹	30.45
	Available K	Mg kg ⁻¹	451.61
			435.69

انجام گرفت. به منظور رعایت فواصل کاشت، از سه تخته چوب علامت‌گذاری شده (به طول ۴۰۰ سانتی‌متر و عرض‌های ۲۱، ۱۶ و ۱۲ سانتی‌متر) استفاده شد. برای نشاکاری ماشینی از دستگاه نشاء کار چهار ردیفه رونده (یانمار ساخت کره) استفاده شد. عمق نشاکاری در نشاکاری ماشینی چهار سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بعد از نشاکاری، غرقاب به آرامی انجام گرفت. میزان کودهای پایه براساس نتایج آنالیز خاک‌ها (جدول ۲) تعیین شدند. بر همین اساس ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع کود اوره (۴۶ درصد N) و ۳۴/۵ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از منبع کود سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد P₂O₅) برای هر دو خاک نوع اول و نوع دوم در نظر گرفته شدند. نیازی به کاربرد کود پتاسیم در هر دو خاک مشاهده نشد. مقادیر کودی بر اساس مساحت هر کرت محاسبه و به صورت دستی به کرت‌ها اضافه شدند. کود فسفر به طور کامل قبل از نشاکاری و کود نیتروژن به مقدار مساوی در مراحل پایه، آغازش خوشه و خوشه-دهی کامل مصرف شدند (Mobasser et al., 2005)، که بر اساس کدبندی BBCH به ترتیب با شماره‌های ۱۳،

بذرهای در طول هر دو مرحله قبل چندین مرتبه زیر رو شدند تا اثر بخشی بالاتری داشته باشد. به منظور جوانه‌زنی، بذور ضدعفونی شده به مدت ۷۲ ساعت در گرم‌خانه با دمای ۲۶ درجه سلسیوس نگهداری شدند. بذرهای جوانه زده (به طول ۲ تا ۳ میلی‌متر) در خزانه ای که زمین آن از یک هفته قبل آماده شده بود، کاشته شدند. سن گیاهچه‌ها برای نشاکاری دستی ۳۰ روز و برای نشاکاری ماشینی ۲۵ روز بود. در نشاکاری ماشینی، گیاهچه‌ها می‌بایست جوانتر باشند تا در هنگام نشاکاری با ماشین، ساقه‌های ضخیم مشکل ساز نشوند. مزارع آزمایشی در سال قبل تحت کشت برنج بودند. شخم، روتواتور، ماله کشی و تسطیح برای تهیه بستر کاشت انجام شد. سپس مزارع به چهار تکرار تقسیم شدند که جهت سهولت تردد، دو متر از یکدیگر فاصله داشتند. هر تکرار از شش کرت (۴ متر × ۵ متر) تشکیل شد. کرت‌ها با برآمدگی‌هایی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر از هم جدا شدند. عملیات نشاکاری در هر دو سال در ۱۳ اردیبهشت انجام شد و هر کپه با چهار گیاهچه نشاء شدند. نشاکاری دستی توسط نیروی کار

برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی (عملکرد دانه + عملکرد کاه) محاسبه و به صورت درصد بیان شد. محتوای رطوبت دانه‌ها در زمان اندازه‌گیری وزن هزار دانه و عملکرد دانه ۱۴ درصد بود (Alipour et al., 2024). بعد از انجام آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش توسط نرم‌افزارهای آماری SAS نسخه ۹/۲ و MSTAT-C انجام پذیرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. اگر اثر متقابل بین تیمارها معنی‌دار شد، اثرات ساده نادیده گرفته شدند. جدول‌ها و شکل‌ها به ترتیب با نرم‌افزارهای Word 2007 و Excel 2007 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

صفات فنولوژیکی

تعداد روز از نشاکاری تا گلدهی و از گلدهی تا رسیدگی تحت اثرات ساده سال و روش کاشت و اثر متقابل سال × نوع خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. همچنین تحت برهمکنش نوع خاک × روش کاشت به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. تعداد روز از نشاکاری تا گلدهی تحت اثر ساده نوع خاک و اثر متقابل سال × نوع خاک × روش کاشت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). جدول ۴ نشان می‌دهد که حداقل تعداد روز از نشاکاری تا گلدهی در سال ۱۴۰۰ در خاک نوع اول در نشاکاری دستی (۵۲/۰۸ روز) به دست آمد. در حالی که بیشینه تعداد آن در سال ۱۴۰۱ در همان خاک در نشاکاری ماشینی (۶۸/۵۰ روز) مشاهده شد. مجموع بارندگی بیشتر و ساعات آفتابی کمتر در ماه‌های اول سال ۱۴۰۱ (جدول ۱) و تأخیر در استقرار اولیه گیاهچه در نشاکاری ماشینی می‌تواند دلایل این برتری باشند.

۳۰ و ۵۹ نشان داده شده‌اند. جهت جلوگیری از خروج آب و کود اوره، کرت‌ها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با پوشش نایلونی محصور شدند. همچنین برای جذب کامل کود، کانال‌های ورود و خروج آب به کرت‌ها نیز تا ۴۸ ساعت پس از کوددهی مسدود بودند. حشرات، علف‌های هرز و بیماری‌ها در صورت لزوم با استفاده از روش‌های استاندارد برای جلوگیری از کاهش عملکرد کنترل شدند. برداشت محصول پس از رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد که برای هر دو سال در ۲۴ مرداد ثبت شد. نمونه‌گیری با حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت انجام شد. تعداد روز از نشاکاری تا ابتدای گلدهی و ابتدای گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی به عنوان صفات فنولوژیکی بررسی شدند. بر اساس کدبندی BBCH ابتدای گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی به ترتیب با شماره‌های ۵۵ و ۸۹ نشان داده شده‌اند. خصوصیات مرفولوژیکی ریشه در مراحل ابتدای پنجه-دهی، آغازش خوشه و رسیدگی فیزیولوژیکی بررسی شدند. بدین منظور پنج بوته با خاک اطراف به ابعاد ۲۰ سانتی‌متر × ۲۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر (به ترتیب طول، عرض و عمق) به طور کامل از هر کرت خارج و با آب شسته شدند (Qi et al., 2012). سپس طول ریشه با خط کش و وزن تر ریشه با ترازوی دقیق (۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شدند (Mobasser et al., 2024). تعداد خوشه در متر مربع با شمارش تمام خوشه‌ها از مساحت یک متر مربع از هر کرت به دست آمد. تعداد کل خوشه‌چه در خوشه با میانگین‌گیری از ۲۰ خوشه محاسبه شد. وزن هزار دانه با شمارش ۱۰ نمونه صدتایی از دانه‌ها و توزین کل آنها تعیین شد. برای محاسبه عملکرد، تمام بوته‌ها از قسمت میانی هر کرت به مساحت چهار متر مربع (۲ متر × ۲ متر) برداشت و تا رطوبت صفر در دستگاه آون نگه‌داری شدند. سپس دانه‌ها از کاه جدا شده و به ترتیب به عنوان عملکرد دانه و عملکرد کاه توزین و بر حسب کیلوگرم در هکتار بیان شدند. شاخص

Table 3. Combined variance analysis of rice phenological traits under experimental treatments

Sources of variation	df	Days from transplanting to	Days from Flowering to
----------------------	----	----------------------------	------------------------

		flowering	maturity
Year (y)	1	63.38**	42.67**
R(y)	6	1.653	6.556
Soil type (a)	1	51.04**	16.67ns
y × a	1	108.4**	42.67**
error a	6	1.653	6.556
Transplanting method (b)	1	3220.2**	92.04**
y × b	1	1.500ns	2.0417ns
a × b	1	28.17**	22.04*
y × a × b	1	13.50**	2.042ns
error b	12	0.6111	1.153
Plant density (c)	2	0.3229ns	0.9479ns
y × c	2	0.0313ns	0.5104ns
a × c	2	0.3229ns	0.9479ns
y × a × c	2	0.0313ns	0.5104ns
b × c	2	1.760ns	1.760ns
y × b × c	2	0.0938ns	0.1979ns
a × b × c	2	1.760ns	1.760ns
y × a × b × c	2	0.0938ns	0.1979ns
Total error	48	1.247	4.688
CV (%)	-	1.845	5.025

ns, **, *: non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

Table 4. Comparison of the average number of days from transplanting to flowering and flowering to maturity under double and triple interaction effects.

Year × Soil type × Transplanting method	Transplanting to flowering (days)	Year × Soil type	Flowering to maturity (days)
2021			
First soil type	Manual	2021	First soil type
	Mechanical		Second soil type
Second soil type	Manual	2022	First soil type
	Mechanical		Second soil type
2022			
First soil type	Manual	First soil type	Manual
	Mechanical		Mechanical
Second soil type	Manual	Second soil type	Manual
	Mechanical		Mechanical

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

بوته اثر معنی داری بر صفات فنولوژیکی ندارد. اخیراً، مطالعه‌ای بر روی تراکم‌های مختلف بوته در سه نوع خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت (حاصلخیز، نیمه-حاصلخیز و غیرحاصلخیز) انجام پذیرفت و مشابه با نتایج ما نشان داده‌اند که تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی تحت تأثیر انواع خاک‌ها قرار نگرفت، درحالی که بیشترین تعداد روز از نشاکاری تا پنجه‌دهی و کمترین تعداد روز از پنجه‌دهی تا گلدهی به خاک غیرحاصلخیز تعلق داشت (Mobasser *et al.*, 2024). برخلاف یافته‌های ما، جیانگ و همکاران (Jiang *et al.* 2019) گزارش کردند که سطح حاصلخیزی

همچنین کمترین تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی در سال ۱۴۰۱ با خاک نوع اول (۴۱/۳۳ روز) و در خاک نوع اول در نشاکاری دستی (۴۱/۲۱ روز) مشاهده شد. در حالی که بیشترین تعداد آن برای هر دو خاک نوع اول و دوم در نشاکاری ماشینی (۴۴/۱۳ و ۴۴/۰۰ روز) به دست آمد. فنولوژی توانایی رهگیری تشعشعات توسط تاج برنج را تعیین می‌کند (Katsura *et al.*, 2008). از این رو، متغیرهای فنولوژیکی تا حد زیادی بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارند (Guo *et al.*, 2021; Guo *et al.*, 2020; Katsura *et al.*, 2008). مطابق با نتایج ما، مبصر و همکاران (Mobasser *et al.*, 2024; 2007) نشان دادند که تراکم

خاک × تراکم بوته قرار گرفتند. فقط طول ریشه در مرحله پنجه‌دهی تحت اثر متقابل سال × نوع خاک × تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). در مراحل پنجه‌دهی و آغازش خوشه، طول ریشه در نشاکاری ماشینی به ترتیب با اختلاف ۲/۵۵ و ۱/۹۵ سانتی-متر کمتر از نشاکاری دستی بود (جدول ۶). اثر متقابل سال × نوع خاک × تراکم بوته نشان داد که در مرحله پنجه‌دهی، بیشترین طول ریشه در سال ۱۴۰۰ در خاک نوع اول و تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۲۰/۵۹ سانتی‌متر) به دست آمد. حداقل آن نیز در سال ۱۴۰۱ در خاک نوع دوم و تراکم ۲۰/۸ بوته در متر مربع (۱۶/۳۱ سانتی‌متر) حاصل شد (جدول ۷). نتایج اثرات متقابل دوگانه (جدول ۸) نشان داد که در مرحله آغازش خوشه، بیشترین طول ریشه در سال ۱۴۰۱ با خاک نوع دوم (۲۴/۵۲ سانتی‌متر) به دست آمد. همچنین در همان مرحله، بیشینه طول ریشه در سال ۱۴۰۱ در تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۲۳/۹۳ سانتی‌متر) مشاهده شد. در مرحله رسیدگی، بیشینه طول ریشه با خاک نوع دوم در نشاکاری دستی (۲۲/۴۳ سانتی‌متر) و برای همان خاک در تراکم ۱۵/۹ بوته در متر مربع (۲۲/۱۹ سانتی‌متر) مشاهده شد. همچنین نشان داده شد که در مراحل پنجه‌دهی و آغازش خوشه، بیشترین وزن تر ریشه به ترتیب در سال ۱۴۰۰ با خاک نوع اول (۵/۳۱۶ گرم) و در سال ۱۴۰۱ با خاک نوع دوم (۶۶/۲۳ گرم) به دست آمد (جدول ۸). در مرحله پنجه‌دهی، وزن تر ریشه در نشاکاری ماشینی ۳۸/۹ درصد کمتر از نشاکاری دستی بود. همچنین در مرحله آغازش خوشه، بیشترین وزن تر ریشه در تراکم ۱۵/۹ بوته در متر مربع (۶۷/۵۴ گرم) مشاهده شد (جدول ۶). دیگر نتایج ارائه شده در جدول ۸ نشان داد که در مرحله پنجه‌دهی، حداقل وزن تر ریشه در سال ۱۴۰۱ در تراکم ۲۰/۸ بوته در متر مربع (۳/۰۱۰ گرم) به دست آمد. در مرحله رسیدگی، بیشترین وزن تر ریشه با خاک نوع دوم در تراکم ۱۵/۹ بوته در متر مربع (۸۶/۴۰ گرم) حاصل شد.

خاک تأثیر معنی‌داری بر دوره رشد ارقام مختلف برنج نداشت.

دیگر محققان با بررسی روش‌های کاشت برنج نتایج مشابهی را نشان داده‌اند، به این معنی که در مقایسه با نشاکاری دستی، مراحل مختلف رشدی تحت نشاکاری ماشینی به تعویق افتادند (Liu et al., 2015; Huo et al., 2012). تأخیر در رشد برنج ممکن است ناشی از اثرات مضر باشد که نشاکاری ماشینی بر روی ریشه‌های گیاهچه نشاکاری شده دارد (Liu et al., 2015). به بیان ایشان، حدود ۱۰ تا ۱۴ روز طول می‌کشد تا بوته‌های برنج پس از آسیب بهبود پیدا کنند (Liu et al., 2015).

خصوصیات مورفولوژیکی ریشه‌ای

طول ریشه در مراحل پنجه‌دهی و آغازش خوشه تحت اثر ساده سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین تمام خصوصیات مورفولوژیکی ریشه مورد مطالعه تحت اثر ساده نوع خاک در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. طول ریشه در مراحل پنجه-دهی، آغازش خوشه و رسیدگی و وزن تر ریشه فقط در مرحله پنجه‌دهی تحت اثر ساده روش کاشت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. طول ریشه در مراحل آغازش خوشه و رسیدگی به ترتیب تحت اثرات متقابل سال × نوع خاک و نوع خاک × روش کاشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند.

وزن تر ریشه در مراحل پنجه‌دهی و آغازش خوشه نیز تحت اثر متقابل سال × نوع خاک در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. اثر ساده تراکم بوته بر طول ریشه در مراحل پنجه‌دهی و رسیدگی و وزن تر ریشه در مراحل آغازش خوشه و رسیدگی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری ایجاد کرد. طول ریشه در مرحله آغازش خوشه و وزن تر ریشه در مرحله پنجه‌دهی تحت اثر متقابل سال × تراکم بوته به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد معنی‌دار شدند. طول ریشه در مراحل پنجه‌دهی و رسیدگی در سطح احتمال یک درصد و وزن تر ریشه در مرحله رسیدگی در سطح احتمال ۵ درصد تحت اثر متقابل نوع

Table 5. Combined variance analysis of root morphological characteristics of rice under experimental treatments

Sources of variation	df	Root length			Root fresh weight		
		Tillering	Panicle initiation	Maturity	Tillering	Panicle initiation	Maturity
Year (y)	1	9.475**	10.87**	1.545ns	5.845ns	126.1ns	74.45ns
R(y)	6	1.275	2.206	4.993	3.025	195.8	548.8
Soil type (a)	1	74.34**	173.5**	53.61**	36.03**	3607.1**	2727.0**
y × a	1	0.1411ns	5.851*	0.0063ns	9.303*	749.8*	90.75ns
error a	6	4.182	6.070	3.341	0.9706	262.3	176.7
Transplanting method (b)	1	156.1**	91.26**	70.59**	96.00**	311.0ns	304.2ns
y × b	1	0.00001ns	0.00003ns	0.00004ns	0.00001ns	0.00004ns	0.00003ns
a × b	1	0.5400ns	2.940ns	8.213*	3.840ns	24.00001ns	82.14ns
y × a × b	1	0.00001ns	0.00004ns	0.00005ns	0.00001ns	0.00001ns	0.00006ns
error b	12	0.00002	0.00003	0.00005	0.00001	0.00001	0.00005
Plant density (c)	2	16.18**	3.025ns	18.12**	4.451ns	3219.6**	5548.3**
y × c	2	2.069ns	11.90**	1.894ns	7.361*	50.42ns	73.64ns
a × c	2	6.059**	3.715ns	13.55**	2.8615ns	365.2ns	508.6*
y × a × c	2	11.95**	0.7610ns	0.9877ns	0.0912ns	53.33ns	13.38ns
b × c	2	0.00001ns	0.00003ns	0.00003ns	0.00002ns	0.00002ns	0.00003ns
y × b × c	2	0.00002ns	0.00002ns	0.00004ns	0.00001ns	0.00003ns	0.00005ns
a × b × c	2	0.00001ns	0.00005ns	0.00004ns	0.00001ns	0.00001ns	0.00004ns
y × a × b × c	2	0.00001ns	0.00002ns	0.00003ns	0.00001ns	0.00002ns	0.00004ns
Total error	48	0.7314	1.424	1.719	1.534	159.8	124.56
CV (%)	-	4.636	5.281	6.386	29.88	22.51	17.23

ns, **, *: non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

Table 6. Comparison of the average root length and root fresh weight in the tillering and panicle initiation stages under the simple effects of transplanting method and plant density

Transplanting method	Root length (cm)		Root fresh weight (g)		Plant density (plant m ⁻²)	Root fresh weight (g) Panicle initiation
	Tillering	Panicle initiation	Tillering	Panicle initiation		
Manual	19.72a	23.57a	5.146a	67.54a	15.9	48.61b
Mechanical	17.17b	21.62b	3.146b	52.33b	20.8	27.8

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

Table 7. Comparison of the average root length in the tillering stage under the interaction effect of Year × Soil type × Plant density

Year	Soil type	Plant density (plant m ⁻²)	Root length (cm) - tillering
2021	First soil type	15.9	20.21ab
		20.8	18.02cde
		27.8	20.59a
	Second soil type	15.9	17.32ef
		20.8	17.79def
		27.8	18.65cde
2022	First soil type	15.9	18.94bcd
		20.8	19.36abc
		27.8	18.86bcd
	Second soil type	15.9	16.46f
		20.8	16.31f
		27.8	18.88bcd

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

Table 8. Comparison of the average root length and root fresh weight in the stages of tillering, panicle initiation, and maturity under the double interaction effects

Year	Soil type	Root length (cm) Panicle initiation	Root fresh weight (g) Tillering	Root fresh weight (g) Panicle initiation
2021	First soil type	21.16b	5.316a	51.68ab
	Second soil type	23.36ab	3.468b	58.35ab
2022	First soil type	21.34b	4.200b	48.38b
	Second soil type	24.52a	3.597b	66.23a
Soil type	Transplanting method	Root length (cm) Maturity		
First type	Manual	20.35b	-	-
	Mechanical	19.22d	-	-
Second type	Manual	22.43a	-	-
	Mechanical	20.13c	-	-
Year	Plant density (plant m ⁻²)	Root length (cm) Panicle initiation	Root fresh weight (g) Tillering	
2021	15.9	22.65b	4.695a	-
	20.8	22.16b	4.518a	-
	27.8	21.97b	3.964ab	-
2022	15.9	22.19b	4.323a	-
	20.8	22.67ab	3.010b	-
	27.8	23.93a	4.363a	-
Soil type	Plant density (plant m ⁻²)	Root length (cm) Maturity	Root fresh weight (g) Maturity	
First type	15.9	20.51bc	73.18b	-
	20.8	19.04d	58.53c	-
	27.8	19.82cd	46.64d	-
Second type	15.9	22.19a	86.40a	-
	20.8	21.73ab	60.25c	-
	27.8	19.93cd	63.68bc	-

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

اخیراً، مبصر و همکاران (Mobasser *et al.*, 2024) نیز اثرات سه تراکم بوته (۱۵/۲، ۱۹/۶ و ۲۷/۸ بوته در متر مربع) و سه نوع خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت (حاصلخیز، نیمه حاصلخیز و غیر حاصلخیز) را بر صفات مورفولوژیک ریشه در مراحل پنجه‌دهی، آغازش خوشه و گلدهی بررسی کردند و نتایج زیر گزارش شد: ۱- بیشترین طول ریشه در مرحله پنجه‌دهی در سال ۲۰۲۲ با خاک غیر حاصلخیز و تراکم بالا به دست آمد. ۲- در همان مرحله، بیشترین وزن تر ریشه در سال ۲۰۲۲ در خاک غیر حاصلخیز و کمترین آن در همان سال در خاک حاصلخیز مشاهده شد. ۳- در مرحله آغازش خوشه، بیشترین طول ریشه برای سال ۲۰۲۳ با تراکم بالا ثبت شد. ۴- در همان مرحله، طول ریشه در خاک حاصلخیز بیشتر از خاک غیر حاصلخیز شد. ۵- وزن تر ریشه نیز در مراحل آغازش خوشه و گلدهی برای خاک

در خاک غیر حاصلخیز، گیاهان با تنش فشردگی خاک و دسترسی کم به عناصر غذایی مواجه هستند (Liu *et al.*, 2021). در چنین خاکی، ریشه‌های گیاه با افزایش طول ریشه و نسبت ریشه به ساقه، کارایی جذب مواد مغذی را بهبود می‌بخشد (White *et al.*, 2013). در حالی که در خاک حاصلخیز، گیاه عمدتاً قطر ریشه را افزایش می‌دهد و طول ریشه را کاهش می‌دهد (Wang *et al.*, 2018). دننگ و همکاران (Deng *et al.* 2020) افزایش قابل توجهی در طول ریشه را با افزایش تراکم بوته، به‌ویژه در شرایط نیتروژن کم و تراکم بالا گزارش کردند. مشاهده دیگری نشان داد که طول ریشه و زیست توده ریشه در مراحل پنجه‌زنی، خوشه‌دهی و رسیدگی با افزایش تراکم بوته افزایش می‌یابد و بیشینه مقادیر آنها در شرایط دسترسی بیشتر نیتروژن و تراکم بوته بالاتر به دست می‌آید (Chen *et al.*, 2021).

احتمال ۵ درصد و یک درصد اختلاف معنی داری ایجاد کرد. تعداد کل خوشه‌چه در خوشه تحت اثر ساده تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین تحت اثرات متقابل نوع خاک × تراکم بوته، روش کاشت × تراکم بوته و نوع خاک × روش کاشت × تراکم بوته در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری نشان داد. تعداد خوشه در متر مربع تحت همان اثرات متقابل در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. تعداد کل خوشه‌چه در خوشه تحت اثر متقابل سال × نوع خاک × تراکم بوته در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۹). شکل ۱ نشان می‌دهد که تعداد خوشه در متر مربع در سال ۱۴۰۱ با اختلاف ۱۵/۵ خوشه بیشتر از سال ۱۴۰۰ بود. بر اساس نتایج اثرات متقابل سه گانه، بیشترین وزن هزار دانه در سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ با خاک نوع اول در نشاکاری ماشینی (به ترتیب ۲۸/۱۱ و ۲۸/۱۶ گرم) به دست آمد.

حاصلخیز بیشتر از خاک غیر حاصلخیز بود. ۶- در همان مراحل، بیشترین وزن تر ریشه در تراکم پایین مشاهده شد. ۷- در مرحله گلدهی، بیشینه طول ریشه برای خاک حاصلخیز با تراکم های کم و متوسط به دست آمد (Mobasser *et al.*, 2024).

اجزای عملکرد

تعداد خوشه در متر مربع در سطح احتمال ۵ درصد و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد تحت اثر ساده سال معنی دار شدند. تمام اجزای عملکرد مورد مطالعه تحت اثرات ساده نوع خاک و روش کاشت در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری نشان دادند. وزن هزار دانه تحت اثرات متقابل سال × روش کاشت، نوع خاک × روش کاشت و سال × نوع خاک × روش کاشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. نوع خاک × روش کاشت بر تعداد خوشه در متر مربع و تعداد کل خوشه‌چه در خوشه نیز به ترتیب در سطح

Table 9. Combined variance analysis of rice yield components (no. panicles m⁻², total spikelets panicle⁻¹, and 1000 grain weight), grain yield, straw yield, and harvest index under experimental treatments

Sources of variation	df	Number of panicles m ⁻²	Total spikelets panicle ⁻¹	1000 grain weight	Grain yield	Straw yield	Harvest index
Year (y)	1	5758.7*	222.5ns	2.039**	341174.3ns	9483436.8*	11.71ns
R(y)	6	2764.6	154.1	0.0446	953759.1	2332193.8	6.069
Soil type (a)	1	14878.9**	1246.5**	2.115**	14181131.3**	218536402.6**	475.7**
y × a	1	0.1298ns	244.9ns	0.4307ns	152721.3ns	12018303.0*	27.36ns
error a	6	2183.4	93.15	0.2067	250235.5	3360734.3	6.944
Transplanting method (b)	1	8948.4**	5873.1**	17.91**	481241.8ns	12977898.0**	105.6**
y × b	1	802.3ns	42.35ns	0.8270*	9420.8ns	114885.8ns	0.1087ns
a × b	1	3714.5*	872.5**	1.159*	71122.6ns	1617983.0ns	0.5689ns
y × a × b	1	831.1ns	76.58ns	0.8419*	10395.8ns	4551.3ns	0.1709ns
error b	12	1132.84	85.91	0.0454	28082.1	41538.9	0.7209
Plant density (c)	2	1487.7ns	615.5**	0.2059ns	1816280.7**	17349110.0**	25.00ns
y × c	2	558.6ns	33.73ns	0.0766ns	464274.5ns	19130952.0**	104.4**
a × c	2	21467.2**	211.9*	0.1620ns	732406.5ns	14706754.6**	31.52*
y × a × c	2	197.9ns	210.5*	0.1107ns	387795.5ns	21593155.8**	104.5**
b × c	2	5175.7**	228.2*	0.1197ns	1115.2ns	83779.2ns	1.308ns
y × b × c	2	933.8ns	53.12ns	0.2370ns	286360.1ns	82599.5ns	1.550ns
a × b × c	2	5053.7**	230.4*	0.1182ns	769.5ns	293940.8ns	1.213ns
y × a × b × c	2	947.6ns	67.60ns	0.2410ns	290730.9ns	408756.5ns	1.629ns
Total error	48	863.9	62.11	0.1939	319881.9	1752627.8	9.486
CV (%)	-	5.759	6.934	1.604	6.707	12.61	6.841

ns, **, *: non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

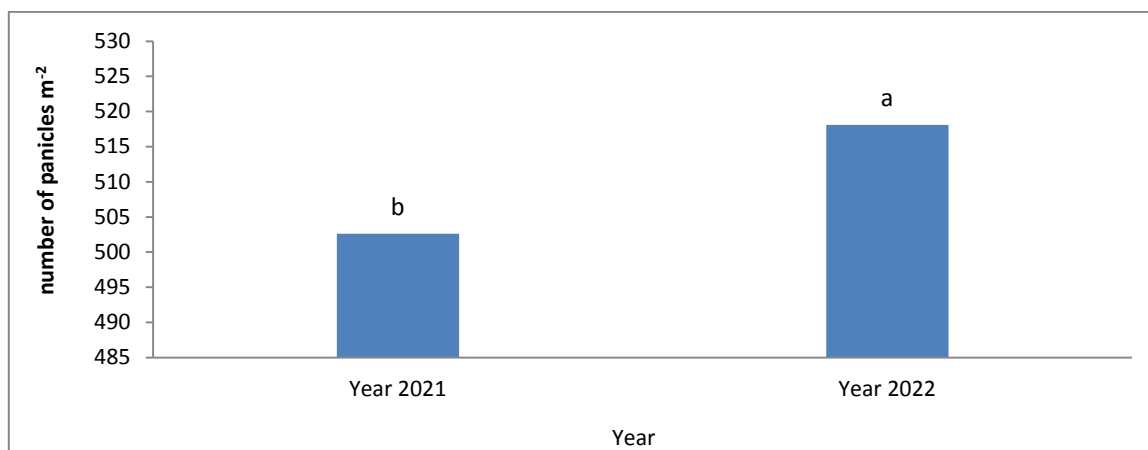


Figure 1. The number of panicles per square meter under the simple effect of year

Table 10. Comparison of the average weight of 1000 grains under the interaction effect of Year × Soil type × Plant density

Year	Soil type	Transplanting method	1000 grain weight (g)
2021	First soil type	Manual	26.65d
		Mechanical	28.11a
	Second soil type	Manual	26.90cd
		Mechanical	27.54b
2022	First soil type	Manual	27.45b
		Mechanical	28.16a
	Second soil type	Manual	27.05c
		Mechanical	27.70b

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

Table 11. Comparison of the average number of panicles m⁻² and the total spikelets panicle⁻¹ under the triple interaction effects

Year	Soil type	Plant density (plant m ⁻²)	Total spikelets panicle ⁻¹	Soil type	Transplanting method	Plant density (plant.m ⁻²)	Number of panicles m ⁻²	Total spikelets panicle ⁻¹
2021	First soil type	15.9	110.7ab	First soil type	Manual	15.9	535.1ab	114.5bcd
		20.8	106.1b			20.8	484.0b	114.1bcde
		27.8	122.7a			27.8	427.0c	134.1a
	Second soil type	15.9	122.1a	Second soil type	Mechanical	15.9	519.5ab	101.3def
		20.8	114.3ab			20.8	509.9ab	95.88f
		27.8	115.2ab			27.8	512.0ab	100.4ef
2022	First soil type	15.9	105.1b	Second soil type	Manual	15.9	503.8ab	124.1ab
		20.8	103.9b			20.8	506.9ab	118.6bc
		27.8	111.8ab			27.8	547.4a	123.5ab
	Second soil type	15.9	116.9ab	Second soil type	Mechanical	15.9	510.5ab	114.9bcd
		20.8	112.7ab			20.8	513.6ab	108.4cdef
		27.8	122.4a			27.8	554.6a	114.1bcde

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

نیمه حاصلخیز و غیر حاصلخیز) پرداخته‌اند و نتایج زیر ارائه شد. (۱) بیشینه تعداد خوشه در متر مربع در سال ۲۰۲۳ در خاک حاصلخیز با تراکم بالا به دست آمد. (۲) بالاترین تعداد کل خوشه‌چه در خوشه در تراکم کم به دست آمد که از نظر آماری با تراکم بالا تفاوتی نداشت. (۳) بیشترین وزن هزار دانه برای خاک حاصلخیز ثبت شد. ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2020) با بررسی روش‌های مختلف نشاکاری برنج نشان داده‌اند که تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه در هر دو نشاکاری ماشینی و دستی در یک گروه آماری قرار داشتند. در حالی که تعداد خوشه در متر مربع در نشاکاری ماشینی ۸/۱ درصد بیشتر از نشاکاری دستی بود که با نتایج ما موافق و با نتایج لیو و همکاران (Liu et al., 2015) مخالف بود. در مطالعه‌ای جداگانه، وانگ و همکاران (Wang et al., 2014) دریافتند که تعداد خوشه در متر مربع تحت نشاکاری ماشینی بیشتر از نشاکاری دستی بود. همچنین کمترین تعداد خوشه در متر مربع و بیشترین تعداد خوشه‌چه در خوشه در نشاکاری دستی مشاهده شد که با نتایج ما مطابقت دارد. این محققان در ادامه نشان داده‌اند که در سال اول آزمایش، با نشاکاری دستی، وزن هزار دانه در برخی از ارقام بیشتر از نشاکاری ماشینی بود. ژو و همکاران (Zhu et al., 2023) نیز مشاهده کردند که روش کاشت اثر معنی‌داری بر اجزای عملکرد برنج (تعداد خوشه و تعداد کل خوشه‌چه در واحد سطح، تعداد خوشه‌چه در خوشه، درصد دانه پر شده و وزن هزار دانه) دارد.

عملکرد دانه، عملکرد کاه و شاخص برداشت

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که فقط عملکرد کاه تحت اثر ساده سال در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. عملکرد دانه، عملکرد کاه و شاخص برداشت تحت اثر ساده نوع خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب تحت اثرات ساده تراکم بوته و روش کاشت و عملکرد کاه تحت تأثیر همان اثرات اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. عملکرد کاه و شاخص برداشت تحت اثرات متقابل سال

کمترین وزن هزار دانه فقط در سال ۱۴۰۰ با همان خاک در نشاکاری دستی (۲۶/۶۵ گرم) مشاهده شد (جدول ۱۰). وزن هزار دانه یک خصوصیت ژنتیکی است و تحت تأثیر رقم تغییر می‌کند، اما کاهش وزن هزار دانه تحت شرایط تنش مانند باروری ضعیف خاک دیده می‌شود (Jiang et al., 2019; Tanzi et al., 2013). از طرفی افزایش وزن هزار دانه تحت تأثیر سایر اجزای عملکرد از جمله تعداد خوشه در متر مربع، کل سنبلچه در خوشه و درصد سنبلچه‌های پر شده قرار دارد (Zhou et al., 2023; Wafa and Kakar, 2022; Chen et al., 2022). بیشینه تعداد کل خوشه‌چه در خوشه در سال ۱۴۰۰ با خاک نوع اول و تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۱۲۲/۷ خوشه‌چه) و با خاک نوع دوم و تراکم ۱۵/۹ بوته در متر مربع (۱۲۲/۱ خوشه‌چه) مشاهده شد. نتایج یکسانی در سال ۱۴۰۱ با خاک نوع دوم و تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۱۲۲/۴ خوشه‌چه) نیز به دست آمد. بیشترین تعداد خوشه در متر مربع در خاک نوع دوم به ترتیب در نشاکاری ماشینی و تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع (۵۵۴/۶ خوشه) و در نشاکاری دستی با همان تراکم بوته (۵۴۷/۴ خوشه) به دست آمد. کمترین تعداد خوشه در متر مربع و بیشترین تعداد کل خوشه‌چه در خوشه (به ترتیب ۴۲۷/۰ خوشه و ۱۳۴/۱ خوشه‌چه) با خاک نوع اول در نشاکاری دستی و همان تراکم بوته حاصل شد (جدول ۱۱). تحت چنین شرایطی که همزمان با افزایش یک جزء عملکرد، جزء دیگری کاهش می‌یابد، تفاوتی در عملکرد دانه ایجاد نخواهد شد. به نظر می‌رسد به همین دلیل عملکرد دانه تحت اثر متقابل مذکور قرار نگرفت. وانگ و همکاران (Wang et al., 2014) با بررسی تراکم‌های مختلف بوته در دو نوع خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت، نشان داده‌اند که بیشینه تعداد خوشه در متر مربع برای هر دو نوع خاک در بالاترین تراکم بوته به دست آمد. همچنین در حاصلخیزی خاک کمتر، کمترین تعداد کل خوشه‌چه در خوشه برای بالاترین تراکم بوته بود. در آزمایشی مشابه، مبصر و همکاران (Mobasser et al., 2024) نیز به بررسی تراکم‌های مختلف بوته در سه نوع خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت (حاصلخیز،

گیاهان (K و P، N) مشاهده شد (Peng *et al.*, 2023). خیری و همکاران (Kheyri *et al.*, 2018) نشان دادند که عملکرد دانه برنج با افزایش فراهمی عناصر قابل دسترس برای گیاه افزایش می‌یابد. دیگر محققان اثبات کردند که عملکرد دانه با افزایش تراکم بوته روند افزایشی دارد (Alipour Abookheili and Mobasser, 2021; Alipour Abookheili *et al.*, 2020). نتایج برخی از آزمایشات انجام شده در مزارع با حاصلخیزی خاک مطلوب نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تراکم بوته بالاتر به دلیل تعداد خوشه و تعداد خوشه‌چه در واحد سطح به دست آمد (Zhu *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2021). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در خاک حاصلخیز با تراکم بالا به دست آمد. برعکس، کمترین عملکرد دانه در خاک غیر-حاصلخیز با تراکم‌های بالا و متوسط حاصل شد (Mobasser *et al.*, 2024).

× تراکم بوته و سال × نوع خاک × تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد و تحت اثر متقابل نوع خاک × تراکم بوته به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۹). نتایج نشان داد که عملکرد دانه در خاک نوع دوم ۸۷ درصد بیشتر از خاک نوع اول بود. عملکرد کاه در نشاکاری دستی به میزان ۶/۸ درصد بیشتر از نشاکاری ماشینی و برعکس، شاخص برداشت در نشاکاری ماشینی با اختلاف ۲/۱ درصد بیشتر از نشاکاری دستی بود. عملکرد دانه با افزایش تراکم بوته تا ۲۷/۸ بوته در متر مربع ۵/۴ درصد افزایش داشت (جدول ۱۲). بیشترین عملکرد کاه و کمترین شاخص برداشت در سال ۱۴۰۰ با خاک نوع دوم و تراکم ۲۰/۸ بوته در متر مربع (به ترتیب ۱۵۰۳۹ کیلوگرم در هکتار و ۳۷/۰۰ درصد) به دست آمد (جدول ۱۳). اخیراً مشخص شده است که بالاترین عملکرد برنج در خاک‌هایی با حاصلخیزی بالاتر یعنی خاک‌های غنی از مواد آلی و تأمین‌کننده عناصر ضروری برای

Table 12. Comparison of the average grain yield, straw, yield and harvest index of rice under the simple effects of soil type, transplanting method and plant density

Soil type	Grain yield (kg ha ⁻¹)	Transplanting method	Straw yield (kg ha ⁻¹)	Harvest index (%)
First soil type	8048b	Manual	10866a	43.97b
Second soil type	8817a	Mechanical	10130b	46.07a
Plant density (plant m ⁻²)				
15.9	8215b	-	-	-
20.8	8396b	-	-	-
27.8	8687a	-	-	-

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

Table 13. Comparison of the average grain yield, straw yield, and harvest index under the interaction effect of Year × Soil type × Plant density

Year	Soil type	Plant density (plant m ⁻²)	Straw yield (kg ha ⁻¹)	Harvest index (%)
2021	First soil type	15.9	8768c	47.60a
		20.8	9003c	47.25ab
		27.8	9078c	47.45a
	Second soil type	15.9	10058c	46.70ab
		20.8	15039a	37.00d
		27.8	12927ab	42.04bcd
2022	First soil type	15.9	9039c	46.73ab
		20.8	9213c	46.77ab
		27.8	8834c	47.69a
	Second soil type	15.9	10754bc	43.15abc
		20.8	10040c	46.97ab
		27.8	13221ab	40.92cd

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, based on Duncan's test.

نتیجه گیری

بیشترین تعداد روز از نشاکاری تا گلدهی در سال ۱۴۰۱ با خاک نوع اول در نشاکاری ماشینی به دست آمد. بیشترین تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی در سال ۱۴۰۰ با خاک نوع اول، همچنین در هر دو خاک نوع اول و نوع دوم در نشاکاری ماشینی مشاهده شد. در مرحله پنجه‌دهی، طول ریشه و وزن تر ریشه در نشاکاری ماشینی به ترتیب ۱۲/۹ و ۳۸/۹ درصد کمتر از نشاکاری دستی بودند. در مرحله آغازش خوشه، بیشترین طول ریشه و وزن تر ریشه به ترتیب در سال ۱۴۰۱ در تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع و در همان سال با خاک نوع دوم مشاهده شد. کمترین تعداد تعداد خوشه در متر مربع و بیشترین تعداد کل خوشه‌چه در خوشه در خاک نوع اول در نشاکاری دستی و تراکم ۲۷/۸ بوته در متر مربع مشاهده شد. کمترین وزن هزار دانه در سال ۱۴۰۰ با خاک نوع اول در نشاکاری دستی به دست آمد. عملکرد دانه در خاک نوع دوم ۸/۷ درصد بیشتر از خاک نوع اول بود. همچنین با افزایش تراکم بوته تا ۲۷/۸ بوته در متر مربع ۵/۴ درصد روند افزایشی داشت.

سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول می‌باشد. بدینوسیله از دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر به دلیل تأمین زمین و ادوات اجرای طرح قدردانی به عمل می‌آید.

اندرو بیلی و همکاران (Andrew Bebeley *et al.*, 2021) گزارش کردند که اصلاح و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع، باعث افزایش رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد کاه تا ۶/۹ درصد شد. این محققان افزایش شاخص برداشت را نیز تحت چنین شرایطی گزارش دادند. بر اساس نتایج دوساله مبصر و همکاران (Mobasser *et al.*, 2024)، همزمان با روند کاهشی شاخص برداشت، عملکرد کاه با افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود بیشتر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک روند افزایشی داشت. این محققان پیشینه عملکرد کاه و حداقل شاخص برداشت را در سال ۲۰۲۲ در خاک حاصلخیز با تراکم متوسط مشاهده کردند. ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al.*, 2020) با بررسی روش‌های مختلف نشاکاری برنج نشان داده‌اند که عملکرد دانه و عملکرد زیستی در هر دو نشاکاری ماشینی و دستی در یک گروه آماری قرار داشتند. درحالی‌که شاخص برداشت در نشاکاری ماشینی با اختلاف ۲/۱ درصد بیشتر از نشاکاری دستی بود. نتایج مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که روش کاشت از نظر آماری بر تجمع زیست‌توده و شاخص برداشت معنی‌دار (Zhu *et al.*, 2023) و بر وزن خشک کل و شاخص برداشت به ترتیب معنی‌دار و غیرمعنی‌دار بود (Zaraei *et al.*, 2018).

References

- Afa, L.O., Ansi, A., Zulfikar, Z., Muhidin, M., & Al Qadri, A. (2023). The growth and yield of local upland rice (*Oryza sativa* L.) wakawondu cultivar in various plant populations and balanced fertilization. *Buletin Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Haluoleo*, 24(2), 88–98.
- Alipour Abookheili, F., & Mobasser, H.R. (2021). Effect of planting density on growth characteristics and grain yield increase in successive cultivations of two rice cultivars. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 4, e20213.
- Alipour Abookheili, F., Gh. Noormohammadi, H. Madani, H. Heidari Sharifabad., & H.R. Mobasser. (2020). Effect of nitrogen splitting and plant density on yield and grain yield components of two rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(4), 631-645. [In Persian]

- Alipour Abookheili, F., Noormohammadi, Gh., Madani, H., Heidari Sharifabad, H., & Mobasser, H. R. (2024). Effects of plant density and nitrogen splitting on grain yield and nitrogen uptake in rice re-cropping. *Journal of Plant Nutrition*, 47(13), 2070-2084.
- Alletto, L., Coquet, Y., & Roger-Estrade, J. (2010). Two-dimensional spatial variation of soil physical properties in two tillage systems. *Soil Use and Management*, 26, 432-444.
- Andrew Bebeley, H., Tongor Mabey, P., & Emmanuel Norman, P. (2021). Effects of biochar, plant density and spacing on growth and yield of rice in a tropical inland valley swamp. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 7, 77-83.
- Arshad, H.M., Uddin, F.M., Hossain, M., Kaish, M.I., & Akondo, M.R.I. (2020). Influences of planting geometry and time of nitrogen application on the performance of boro rice cv. BRRI dhan45. *Journal of Bangladesh Agricultural University*, 18, 599–605.
- Chen, J., Zhu, X., Xie, J., Deng, G., Tu, T., Guan, X., Yang, Z., Huang, S., Chen, X., Qiu, C., Qian, Y., Shao, C., Xu, M., & Peng, C. (2021). Reducing nitrogen application with dense planting increases nitrogen use efficiency by maintaining root growth in a double-rice cropping system. *The Crop Journal*, 9, 805–815.
- Chen, Y., Liu, Y., Dong, S., Liu, J., Wang, Y., Hussain, S., Wei, H., Huo, Z., Xu, K., & Dai, Q. (2022). Response of rice yield and grain quality to combined nitrogen application rate and planting density in saline area. *Agriculture*, 12, 1788.
- Deng, J., Feng, X., Wang, D., Lu, J., Chong, H., Shang, C., Liu, K., Huang, L., Tian, X., & Zhang, Y. (2020). Root morphological traits and distribution in direct-seeded rice under dense planting with reduced nitrogen. *PLoS ONE*, 15, e0238362.
- Dou, Z., Li, Y., Guo, H., Chen, L., Jiang, J., Zhou, Y., Xu, Q., Xing, Z., Gao, H., & Zhang, H. (2021). Effects of mechanically transplanting methods and planting densities on yield and quality of nanjing 2728 under rice-crayfish continuous production system. *Agronomy*, 11, 488.
- Ebrahimi, M., Majidian, M., & Alizadeh, M.R. 2020. Effect of tillage and planting methods on soil physical properties, grain yield and milling recovery of rice (*Oryza sativa* L. cv. Hashemi). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 22(1), 66-80. [In Persian]
- Food and Agriculture Organization. (2009). *How to feed the world in 2050*. FAO.
- Guo, Y., Fu, Y., Hao, F., Zhang, X., Wu, W., Jin, X., Robin Bryant, C., & Senthilnath, J. (2021). Integrated phenology and climate in rice yields prediction using machine learning methods. *Ecological Indicators*, 120, 106935.
- Guo, Y., Wu, W., Liu, Y., Wu, Z., Geng, X., Zhang, Y., Bryant, C. R., & Fu, Y. (2020). Impacts of climate and phenology on the yields of early mature rice in china. *Sustainability*, 12, 10133.
- Hu, Q., Jiang, W., Qiu, S., Xing, Z., Hu, Y., Guo, B., Liu, G., Gao, H., Zhang, H., & Wei, H. (2020). Effect of wide-narrow row arrangement in mechanical pot-seedling transplanting and plant density on yield formation and grain quality of japonica rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(5), 1197-1214.
- Huo, Z.Y., Li, J., Zhang, H.C., Dai, Q.G., Xu, K., Wei, H.Y., & GONG, J.L. (2012). Characterization of nitrogen uptake and utilization in rice under different planting methods. *Acta Agronomica Sinica*, 38(10), 1908-1919.
- Imran, M., Khan, A., Hassan, A., Kanwal, F., Liviu, M., Amir, M., & Iqbal, M.A. (2010), Evaluation of physico-chemical characteristics of soil samples collected from Harrapa-Sahawal (Pakistan). *Asian Journal of Chemistry*, 22(6), 4823-4830.
- Jiang, S.C., Wang, J.M., Lou, H.W., Xie, Y.M., Feng, D.H., Zhou, L., Shi, L., Chen, H., Xu, Y.Y., Wang, M., & Xing, D.Y. (2019). Effect of meteorology and soil fertility on direct –seeded rice (*Oryza sativa* L.) performance in central China. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17, 12397-12406.
- Katsura, K., Maeda, S., Lubis, I., Horie, T., Cao, W., & Shiraiwa, T. (2008). The high yield of irrigated rice in Yunnan, China—‘A cross-location analysis’. *Field Crops Research*, 107, 1–11.
- Kheyri, N., Ajam Norouzi, H., Mobasser, H.R., & Torabi, B. (2018). Effect of different resources and methods of silicon and zinc application on agronomic traits, nutrient uptake and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(5), 5781-5798.

- Kulig, B., Gacek, E., Wojciechowski, R., Oleksy, A., Kołodziejczyk, M., Szewczyk, W., & Klimek-Kopyra, A. (2019). Biomass yield and energy efficiency of willow depend on the cultivar, harvesting frequency, and planting density. *Plant, Soil and Environment*, 65(8), 377–386.
- Landon, J.R. (1991). *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. (New York and London: Routledge Taylor & Francis Group).
- Liu, B., Li, H., Li, H., Zhang, A., & Rengel, Z. (2021). Long-term biochar application promotes rice productivity by regulating root dynamic development and reducing nitrogen leaching. *GCB Bioenergy*, 13, 257–268.
- Liu, Q., Wu, X., Ma, J., Chen, B., & Xin, C. (2015). Effects of delaying transplanting on agronomic traits and grain yield of rice under mechanical-transplantation pattern. *PLoS ONE*, 10(4), e0123330.
- Mangosongo H.M., Lyaruu, H.V., & E.E. Mnene. (2019). Assessment of soil physico-chemical Properties in selected natural habitats of the wild rice (*Oryza Longistaminata*) and their effects on the species morphological characters. *Huria: Journal of the Open University of Tanzania*, 26(1), 12-29.
- Mobasser, H.R., Mohseni Delarestaghi, M., Khorgami, A., Barari Tari, D., & Pourkalhor, H. (2007). Effect of planting density on agronomical characteristics of rice (*Oryza Sativa* L.) varieties in north of Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 3205–3209.
- Mobasser, H.R., Noormohamadi, G., Fallah, V.M., Darvish, F., & Majidi, S. (2005). Effects of nitrogen rates and splitting on grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) Var.Tarom Hashemi. *Journal of Agricultural Science*, 11, 109–120.
- Mobasser, H.R., Sadeghi, S.A., & Alipour Abookheili, F. (2024). The determination of desired plant density in soils with different fertility in a region for mechanized rice cultivation. *Agronomy Journal*, 1–12.
- Peng, G., Zhang, T., Lei, X-Y., Cui, X-W., Lu, Y-X., Fan, P-F., Long, S-P., Huang, J., Gao, J-S., Zhang, Z-H., & Zhang, H-M. (2023). Improvement of soil fertility and rice yield after long-term application of cow manure combined with inorganic fertilizers. *Journal of Integrative Agriculture*, 22, 2221–2232.
- Pithaloka, S.A., Sunyoto, S., Kamal, M., & Hidayat, K. F. (2015). Pengaruh Kerapatan Tanaman Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Beberapa Varietas Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Journal Agrotek Tropika*, 3(1), 56-63.
- Qi, W.Z., Liu, H.H., Liu, P., Dong, S.T., Zhao, B.Q., So, H.B., Li, G., Liu, H.D., Zhang, J.W., & Zhao, B. (2012). Morphological and physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) roots from cultivars with different yield potentials. *European Journal of Agronomy*, 38, 54-63.
- Qun, H., Wei-qin, J., Shi, Q., Zhi-peng, X., Ya-jie, H., Bao-wei, G., Guo-dong, L., Hui, G., Hong-cheng, Z., & Hai-yan, W. (2020). Effect of wide-narrow row arrangement in mechanical pot-seedling transplanting and plant density on yield formation and grain quality of japonica rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(5), 1197–1214.
- Rezaei, E., Sam Daliri, M., Mobasser, H.R., Mousavi Mirkolaei, A.A. & Moballeghi, M. (2023). Determining the best planting density in mechanized transplanting of rice compared to manual transplanting in conditions of high seedling age. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(4), 169-184.
- Rice Research Institute of Iran. (2015). Transformation in the country's rice production through the introduction of high-yielding varieties. Rice Research Institute of Iran. Rasht, Gilan Province, Iran. [In Persian].
- Safitri, D.E., Ahmad, A., & M. Nathan. (2021). Study of soil management in rice fields in bantimurung district maros regency. IOP Conference series: earth and environmental science, *Crop Production and Environment*. 807
- Saha, R., Sarathi Patra, P., & Sahid Ahmed, A. (2021). Impact of mechanical transplanting on rice productivity and profitability- Review. *International Journal of Economic Plants*, 8(4), 226-230
- Tanzi, B.N., Arifin, M.S.A., Mondol, M.A., Hasan, A.K., & Wadud, M.A. (2013). Effect of tree leaf biomass on soil fertility and yield of rice. *Journal of Agroforestry and Environment*, 7, 129-133.

- USDA. (2023). *World agricultural production* (WAP 10-23). Foreign Agricultural Service, USDA. <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/5q47rn72z/tm70pd08x/n5840d235/production.pdf>
- Wafa, I. K., & Kakar, K. (2022). Effects of different planting densities and planting spaces on the growth and yield attributes of rice under irrigated condition. *International Journal of Biosciences*, 1, 6-12.
- Wang, D., Chen, S., Wang, Z., Ji, C., Xu, C., Zhang, X., & Singh Chauhan, B. (2014). Optimizing hill seeding density for high-yielding hybrid rice in a single rice cropping system in south China. *PLoS ONE*, 9, e109417.
- Wang, Y., Zhang, T., Wang, R., & Zhao, Y. (2018). Recent advances in auxin research in rice and their implications for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 69, 255–263.
- White, P.J., George, T.S., Gregory, P.J., Bengough, A.G., Hallett, P.D., & McKenzie, B.M. (2013). Matching roots to their environment. *Annals of Botany*, 112, 207–222.
- Xing, Z.P., Hu, Y.J., Qian, H.J., Cao, W.W., Guo, B.W., Wei, H.Y., Xu, K., Huo, Z.Y., Zhou, G.S., Dai, Q.G. & Zhang, H.C. (2017). Comparison of yield traits in rice among three mechanized planting methods in a rice-wheat rotation system. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(7), 1451–1466.
- Yahyazadeh, S., Mobasser, H.R., Rahimi Petroudi, E., & Daneshmand, A. (2023). Effect of nitrogen fertilizer and plant density on growth characteristics, yield components and grain yield of rice. *Journal of Crop Production and Processing*, 13(1), 1-14. [In Persian]
- Yang, G., Wang, X., Nabi, F., Wang, H., Zhao, C., Peng, Y., Ma, J., & Hu, Y. (2021). Optimizing planting density and impact of panicle types on grain yield and microclimatic response index of hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Plant Production*, 15, 447–457.
- Zaraei, Zh., Heidari, H., Nosratti, I., & Khoramivafa, M. (2018). Comparison of direct seeding and transplanting systems in maize (*Zea Mays* L.) under the usual and early planting dates. *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 41(1), 1-8.
- Zhang, H.C., & Gong, J.L. (2014). Research status and development discussion on high-yield agronomy of mechanized planting rice in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 47(7), 1273–1289. [In Chinese].
- Zhou, W., Yan, L., Fu, Z., Guo, H., Zhang, W., Liu, W., Ye, Y., & Long, P. (2023). Increasing planting density and reducing N application improves yield and grain filling at two sowing dates in double-cropping rice systems. *Plants*, 12, 2298.
- Zhu, H., Lu, X., Zhang, K., Xing, Z., Wei, H., Hu, Q., & Zhang, H. (2023). Optimum basic seedling density and yield and quality characteristics of unmanned aerial seeding rice. *Agronomy*, 13, 1980.