

Effect of Foliar Application of Glycine and Methanol on Yield and Some Morphological and Physiological Traits of Forage Maize (*Zea mays* L.) at Three Planting Dates

M. Ramezani¹, F. Paknejad¹, M. R. Ardakani¹, D. Habibi¹, M. N. Ilkaee¹

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Ka. C., Islamic Azad University, Karaj, Iran

(* - Corresponding author's Email: Farzadpaknejad@iau.ac.ir)

Received: 03 April 2025
Revised: 16 May 2025
Accepted: 01 June 2025
Available Online: 29 June 2025

How to cite this article:

Ramezani, M., Paknejad, F., Ardakani, M. R., Habibi, D., & Ilkaee, M. N. (2026). Effect of foliar application of glycine and methanol on yield and some morphological and physiological traits of forage maize (*Zea mays* L.) at three planting dates. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 79-92. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.92871.1387>

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is considered as one of the best forage crops due to its adaptability to various climatic conditions, as well as its production of suitable forage per unit area, high quality of silage, and high absorbability in livestock. Suitable planting date is one of the important factors in determining the yield potential of crops especially in maize, and also the use of methanol and glycine spraying increased plant growth, especially in delayed crops. For this purpose, this study was conducted to investigate the effect of methanol, glycine, and their interaction on three different planting dates on maize in Simorgh city, Mazandaran, Iran. The purpose of this study was to investigate the performance of methanol and glycine on delayed planting dates and whether or not foliar spraying of these compounds can reduce the negative effects of late planting in maize.

Materials and Methods

This study was carried out as a factorial in the form of randomized complete block design with three replications at three separate fields in the promotional research farm of Jihad Agricultural Center, Simorgh city, Mazandaran province, on fodder maize as the second crop after rice harvest during summer and autumn of 2020. The maize hybrid used was Single Cross 201. The treatments were composed of glycine at three levels: [0 (control), 1 and 2 mg l⁻¹], methanol at three levels: [0 (control), 10 and 20% v/v], and three planting dates: [August 6, 16 and 27]. Foliar spraying of maize plants with methanol and glycine solutions was performed in three times during the growing season, including the 4-6 leaf stage, 8-10 leaf stage and before tassel emergence stage, at time of 9-11 am.

Results and Discussion

The results of this study showed that the highest values of dry matter yield of maize fodder was 1944.59 kg ha⁻¹ that related to the interaction treatments of methanol 20 % spraying and glycine 2 ppm spraying in planting date of 6.8.2020. Use of methanol and glycine spraying and also the increasing of their concentration increased the yield and physiological and morphological characteristics of fodder maize. Delay in maize cultivation (27/8/2020) reduced its yield and physiological and morphological characteristics. The highest amount of dry fodder yield 19415.59 kg ha⁻¹ was related to the interaction effects of methanol 20% v/v and glycine 2 mg l⁻¹ on the planting date of August 6 and the lowest dry fodder yield was related to the control treatment 2568.76 kg ha⁻¹



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.92871.1387>

on August 27. The use of methanol and glycine partially reduced the negative effects of the delayed maize planting. Determining the appropriate planting date for crops is of particular importance because it affects the traits and various stages of growth and development and optimizes the efficiency of using environmental factors affecting yield. Delaying maize planting reduces the yield, which is due to a shortening of the vegetative growth period and a decrease in the amount of carbohydrates and minerals transferred to the grain. Methanol increases plant performance by affecting various metabolic pathways such as growth and development and activating genes involved in jasmonic acid biosynthesis and plant defense mechanisms. The use of glycine has increased ear yield due to the production of amino acids during nitrogen metabolism.

Conclusion

Methanol and glycine application reduced the negative effects of delayed planting of forage maize on August 27. The application of methanol 20% v/v and glycine 2 mg L⁻¹ on August 27 was able to increase the dry yield of forage by 168% compared to the control on the same planting date, which can be attributed to the increase in plant growth rate by methanol and glycine. Therefore, to increase the yield of forage corn and reduce losses due to late planting, application of 20% by volume methanol and 2 mg L⁻¹ glycine can be recommended in humid climate areas similar to Mazandaran. However, for a more detailed study, higher concentrations of methanol and glycine can also be recommended.

Keywords: Delayed cultivation, Maize yield, Planting date, Single cross 201

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۷۹-۹۲

اثر محلول پاشی برگی گلیسین و متانول بر عملکرد و برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژی ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در سه تاریخ کاشت

مهدی رمضانی^۱، فرزاد پاک‌نژاد^{۱*}، محمد رضا اردکانی^{۱*}، داود حبیبی^{۱*}، محمد نبی ایلکایی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

چکیده

تاریخ کاشت مناسب از عوامل مهم در تعیین پتانسیل عملکرد گیاهان به‌ویژه ذرت (*Zea mays* L.) است. کاربرد متانول و گلیسین سبب افزایش رشد گیاه به‌خصوص در کشت‌های تأخیری می‌شود. بدین منظور، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه قطعه زمین جداگانه در مزرعه پژوهشی مرکز جهاد کشاورزی شهرستان سیمرغ استان مازندران روی ذرت علوفه‌ای به‌صورت کشت دوم پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.) در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا شد. عامل‌های پژوهش شامل گلیسین در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ میلی گرم بر لیتر، متانول در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی و همچنین سه تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد ماه و ۴ شهریور ماه بود. نتایج نشان داد که تأخیر در کشت ذرت (۴ شهریور) سبب کاهش صفات مورد مطالعه شد و بهترین تاریخ کاشت برای کشت ذرت، ۱۵ مرداد بود. مصرف گلیسین و متانول و همچنین افزایش غلظت آن‌ها، افزایش عملکرد علوفه خشک را رقم زد. بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۹۴۱۵/۵۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود. کاربرد متانول و گلیسین تا حدودی سبب کاهش اثرات منفی ناشی از تأخیر کاشت ذرت علوفه‌ای شد. به‌طور کلی، تأخیر در کشت ذرت پیشنهاد نمی‌شود، اما کاربرد ۲۰ درصد حجمی متانول و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر برای ذرت علوفه‌ای به‌دلیل بهبود کشت تأخیری (۴ شهریور ماه) در منطقه مازندران و مناطق مشابه از نظر آب‌وهوایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، سینگل کراس ۲۰۱، عملکرد ذرت، کشت تأخیری

مقدمه

عملکرد گیاهان است. پس از محلول پاشی، متانول به‌سرعت وارد بافت گیاهی شده و پس از تأثیر روی سوخت‌وساز گیاهان، کربن موجود در متانول، در ساختار سرین یافت می‌شود (Gout et al., 2000; Dorokhov et al., 2018). یکی از مسیرهای متیلوتروفیک پذیرفته‌شده جهت سوخت‌وساز متانول در گیاهان عالی، مسیر سرین باکتریایی است. این مسیر از گلیسین (به‌عنوان پذیرنده حدواسط متانول اکسید شده) و نیز هیدروکسی متیل تترا هیدروفولیت استفاده می‌نماید و مولکول سرین را تولید می‌کند. در نهایت، سرین تولیدشده در اثر ترکیب با دی‌اکسید کربن، به متابولیت‌های چهار کربنه تبدیل می‌شود. در این مسیر، سوسترهای تک کربنه با گلیسین به‌عنوان منبع کربن و انرژی جفت‌شده و در سوخت‌وساز سلول به کار می‌روند. این جفت شدن از سمیت ناشی از واکنش متقابل فرمالدئید با پروتئین‌های سلولی جلوگیری می‌کند (Hanson & Roje, 2001; Dorokhov et al., 2018). پیرو این امر، محققان اعلام کردند که

ذرت (*Zea mays* L.) به‌دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون و همچنین تولید علوفه مناسب در واحد سطح، کیفیت بالای علوفه سیلو شده و قابلیت جذب بالا در دام‌ها، به‌عنوان یکی از بهترین گیاهان علوفه‌ای در نظر گرفته می‌شود (Khalily et al., 2010). متانول ماده‌ای است که از طریق افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، تأثیر قابل توجهی بر فیزیولوژی گیاهان دارد و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی باعث افزایش عملکرد گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. محلول پاشی متانول موجب افزایش جذب نیتروژن شده که این امر زمینه‌ساز افزایش تعداد برگ، ارتفاع گیاه و در نهایت

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: Farzadpaknejad@iau.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.92871.1387>

اهمیت تاریخ کاشت، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر متانول، گلیسین و اثر متقابل آن‌ها در سه تاریخ کاشت مختلف روی ذرت در مازندران انجام شد تا عملکرد متانول و گلیسین در تاریخ کاشت‌های تأخیری بررسی شود و مشخص گردد که محلول‌پاشی این ترکیبات می‌تواند اثرات منفی حاصل از کشت دیر هنگام را در ذرت از بین ببرد یا خیر.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه مزرعه پژوهشی ترویجی واقع در مرکز جهاد کشاورزی شهرستان سیمرغ استان مازندران واقع در کیاکلا در تابستان و پاییز ۱۴۰۰ به صورت کشت دوم پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.) در سه تاریخ کاشت انجام شد. عامل‌های مورد آزمایش شامل متانول در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی و گلیسین به ترتیب معادل عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ میلی گرم بر لیتر بود و ذرت در سه تاریخ کاشت ۱۵ مرداد، ۲۵ مرداد و ۴ شهریور کشت گردید. آزمایش در سه مزرعه جداگانه انجام شد و تاریخ کشت به عنوان عامل منطقه یا مکان برای تجزیه مرکب در نظر گرفته شد. رقم ذرت، سینگل کراس ۲۰۱ بود که از جهاد کشاورزی استان مازندران معاونت ترویج تهیه شده است. این رقم هیبرید زودرس، نیمه مقاوم نسبت به بیماری پوسیدگی فوزاریومی و سیاهک معمولی بلال است. ایستگاه کشت در ۱۴ کیلومتری جنوب شرق مازندران (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۸۶ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ) قرار دارد. ارتفاع از سطح دریا ۵ متر، متوسط بارندگی منطقه ۶۲۰ میلی متر، متوسط درجه حرارت منطقه ۱۷/۷ درجه سلسیوس، متوسط رطوبت نسبی ۷۰ درصد و بارندگی‌ها عموماً در دو فصل پاییز و زمستان صورت می‌گیرد. آب و هوای آن براساس روش آمبرژه معتدل و مرطوب است (جدول ۱). قبل از آماده‌سازی نهایی زمین، نمونه‌برداری مرکب خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری انجام و با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به تعیین میزان عناصر غذایی موجود در آن اقدام گردید (جدول ۲). عامل‌های مورد آزمایش شامل متانول در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی و گلیسین به ترتیب معادل عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ میلی گرم بر لیتر می‌باشد که در سه تاریخ کاشت ۱۵ مرداد، ۲۵ مرداد و ۴ شهریور کاشته شد. متانول و گلیسین ساخت شرکت مرک آلمان و از بخش پژوهش دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. محلول‌پاشی بوته‌های ذرت با محلول‌های متانول و گلیسین، سه بار در طی فصل رشد شامل مراحل ۴-۶ برگ، ۱۰-۸ برگ و قبل از ظهور گل تاجی و در ساعت ۹-۱۱ صبح اجرا شد. محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش دستی با فشار ۱۵ bar اجرا شد تا

کاربرد متانول (۱۰ درصد حجمی) سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) شد (Kalantar & Daneshian, 2021).

گلیسین یک ترکیب مؤثر در عملکرد گیاهان است که از طریق حفظ تعادل اسمزی و تثبیت ساختارهای پروتئین‌های پیچیده در سلول، ساختارهای سلولی را در برابر تنش خشکی محافظت می‌کند (Shemi et al., 2021). در گیاهان عالی، گلیسین در پاسخ به تنش‌های محیطی از پیش‌ماده کولین در کلروپلاست تولید می‌شود و در بسیاری از گیاهان زراعی تحت شرایط تنش در سلول‌ها تجمع می‌یابد (Ahmed et al., 2019). تجمع گلیسین در سلول‌ها، یک پاسخ عمومی برای غلبه بر پیامدهای منفی کمبود آب در تولید محصولات زراعی است که به عنوان یک سازوکار سازگاری در برابر تنش‌های محیطی شناخته شده است (Ali et al., 2020). نتایج پژوهشی روی گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که کاربرد گلیسین موجب افزایش عملکرد و رشد این گیاه شده است (Gupta & Thind, 2017). در پژوهش دیگری، محققان اعلام کردند که کاربرد گلیسین موجب افزایش عملکرد ذرت و همچنین افزایش تحمل ذرت در شرایط تنش شد (Shemi et al., 2021). حقیقی و همکاران (Haghighi et al., 2020) اعلام کردند که کاربرد متانول و گلیسین اثر مثبت بر عملکرد چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* L.) داشت و موجب افزایش عملکرد و صفات فیزیولوژیکی این گیاه شد.

شرایط مطلوب برای رشد و عملکرد مناسب ذرت در مناطق مختلف، متفاوت است. یکی از روش‌های مرسوم برنامه‌ریزی و مدیریت‌های زراعی جهت استفاده از پتانسیل در هر رقم و در هر منطقه، تعیین تاریخ کاشت مناسب است (Zhou et al., 2017). انتخاب تاریخ کاشت مناسب، بر صفات و مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان تأثیر گذاشته و باعث بهینه شدن بازده استفاده از عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد می‌شود (Liaqat et al., 2018; Nazeri et al., 2018). کشت تأخیری ذرت موجب تأخیر در جوانه‌زنی و رشد گیاه می‌شود و کاهش عملکرد دانه ذرت را به دنبال دارد (Long et al., 2017). در همین راستا، محققان اعلام کردند که کشت تأخیری ذرت موجب کاهش عملکرد ذرت شد (Cao et al., 2019).

انتخاب تاریخ کاشت مناسب، امری ضروری در عملکرد ذرت است و وقوع سرمای پاییزه و کوتاه شدن طول روز، محدودیت رشد را در پی خواهد داشت. در بسیاری از تحقیقات به اثر متانول بر روی گیاهان سه کربنه پرداخته شده است و تحقیقی در زمینه اثر متانول بر روی گیاهان چهار کربنه چندان در دسترس نیست. متانول به علت تأثیر مثبت روی باکتری‌های محرک رشد و همچنین هورمون‌های رشد گیاهی سبب افزایش عملکرد حتی در گیاهان چهار کربنه می‌شود و سرعت رشد گیاهان چهار کربنه را نیز افزایش می‌دهد (Dorokhov et al., 2018). بنابراین، با توجه به فواید کاربرد متانول و گلیسین و

جایی که برگ‌ها کاملاً خیس شد.

هر واحد آزمایشی شامل پنج جویچه، هفت پشته به طول پنج متر با فاصله ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها دو متر بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد جوی و پشته انجام و بذره‌های ذرت رقم سینگل کراس ۲۰۱ کاشته شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول مرحله رشد انجام گرفت. طی دوره رشد گیاه و در مرحله داشت جهت مبارزه با آفات (برگ‌خوار و ساقه‌خوار) از سم دیازینون به مقدار ۱/۵ لیتر سم در هزار لیتر آب استفاده شد. میزان کود مصرفی براساس نتایج آزمون خاک به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم

سوپرفسفات تریپل در هکتار محاسبه و به همراه ۲۰۰ کیلوگرم اوره بود که ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار قبل از کاشت به زمین و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بعد از کاشت به‌صورت تقسیط به زمین داده شد که در دو نوبت، نصف مقدار در زمان ساقه‌دهی و دیگری بعد از ظهور تاسل به زمین داده شد. همچنین میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس داده شد. آبیاری از زمان کاشت تا سبز شدن کامل زمین به‌صورت بارانی انجام شد و در طی مدت رشد رویشی و پر شدن دانه آبیاری مورد نظر برحسب نیاز آبی که براساس تشتک تبخیر مشخص شد و با توجه به میزان بارندگی اعمال شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی در سال ۱۳۹۹
Table 1- Meteorological information in 2020

ماه Months	میانگین دما Average temperature (°C)		میانگین مجموع میزان تبخیر Average total evaporation rate (mm)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	میانگین میزان بارندگی Average precipitation (mm)
	حداکثر Max	حداقل Min			
فروردین April	19.5	9.5	71.8	76	98.7
اردیبهشت May	25.2	15.8	115.9	77.5	27.2
خرداد June	28.6	19.2	154.4	75.5	23.7
تیر July	31.4	22.2	169.4	75.5	59.4
مرداد August	33.5	22.6	193.9	73.5	6.7
شهریور September	32	21.2	156.6	71.5	99.3
مهر October	25	14.8	77.5	76	104.2
آبان November	18.4	10.2	37.7	81	54
آذر December	12.4	1.8	22.9	76	58.3
دی January	13.1	2.5	23.1	76.5	11.2
بهمن February	10.9	5.2	26	79	92.2
اسفند March	15.6	4.4	67.4	79.5	16.4
میانگین Average	22.13	12.45	93.05	76.46	54.33

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 2- Physical and chemical properties of soil

عمق Depth	هدایت الکتریکی EC (m ⁻¹) (dS)	pH	نیتروژن کل N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	مواد آلی Organic matter (%)	کربن آلی Organic C (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Texture soil
0-30	0.76	7.7	0.134	118	99	2.7	1.1	44	50	6	لوم- سیلتی loam- silty

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر تاریخ کاشت، گلیسین و اثرات متقابل آن‌ها بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). تأخیر در کشت سبب کاهش ارتفاع گیاه شد و بیشترین ارتفاع گیاهان مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود. کاربرد گلیسین، افزایش ارتفاع گیاه را به همراه داشت و با افزایش غلظت آن، ارتفاع گیاه نیز افزایش یافت. بیشترین ارتفاع گیاه به میزان ۱۸۲/۶۸ سانتی-متر مربوط به اثرات متقابل گلیسین ۲ میلی-گرم در لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود که افزایش ۹۴/۳۲ درصدی را نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور داشت (جدول ۶). در تاریخ کاشت دیر هنگام (۴ شهریور)، طول دوره جوانه‌زنی و رشد رویشی به‌علت برخورد با شرایط دمایی پایین، به تأخیر افتاده و طولانی‌تر می‌شود و ذرت که یک گیاه چهارکربنه است، دمای لازم برای ورود به فاز زایشی را دیرتر کسب می‌کند و دیرتر وارد مرحله زایشی می‌شود. بنابراین، در اواخر رشد به‌دلیل کاهش دما و افزایش بارش‌ها، تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافته و انتقال این مواد به‌سمت مخزن کند شده و موجب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود و از طرف دیگر سبب تولید بلال‌های کوچک و نازک نیز می‌شود (Cao et al., 2019). علاوه‌بر این، کاربرد گلیسین موجب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌شود و افزایش طول اندام هوایی و ارتفاع گیاه را در پی دارد (Ali et al., 2020). در همین راستا اعلام شد که استفاده از گلیسین باعث افزایش ارتفاع گیاه پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) شد (Hamani et al., 2021).

ارتفاع محل تشکیل بلال

اثر تاریخ کاشت، گلیسین، متانول و اثرات متقابل تاریخ کاشت در گلیسین و اثرات متقابل تاریخ کاشت × گلیسین × متانول بر ارتفاع محل تشکیل بلال در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). تاریخ کاشت ۱۵ مرداد دارای بیشترین ارتفاع محل تشکیل بلال بود و مصرف گلیسین و متانول ارتفاع محل تشکیل بلال را افزایش داد و با افزایش غلظت آن‌ها، ارتفاع محل تشکیل بلال نیز افزایش یافت.

پس از برداشت، صفات بررسی‌شده شامل ارتفاع گیاه، ارتفاع محل بلال، وزن خشک ساقه، عملکرد علوفه خشک، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه تا گره اول، تعداد بلال، طول گل‌آذین نر و پهنای برگ وسط بود. در هر کرت آزمایشی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (خط ۱ و خط ۷ کاشت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد)، به‌صورت تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب شدند و سپس میانگین آن‌ها برای هر صفت سنجیده شد. ارتفاع گیاه و ارتفاع محل بلال، طول گل‌آذین نر و پهنای برگ وسط با استفاده از خط‌کش مدرج اندازه‌گیری شد. برای شمارش تعداد برگ در بوته، ۱۰ بوته انتخاب و تعداد برگ‌های آن‌ها شمارش و به‌صورت میانگین یادداشت شد. قطر ساقه تا گره اول با استفاده از کولیس انجام گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک و وزن خشک ساقه، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و به مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزن) در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

جهت محاسبه درجه روز رشد (GDD)^۱ از رابطه (۱) استفاده شد:

$$GDD = \sum [(T_{max} + T_{min})/2 - T_{base}] \quad (1)$$

که در آن، T_{max} : حداکثر دمای روزانه، T_{min} : حداقل دمای روزانه و T_{base} : دمای پایه رشد بود. دمای پایه رشد ذرت ۱۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. درجه حرارت پایین‌تر از ۱۰ و بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس برای گیاه ذرت غیرمؤثر تلقی شده و درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰ برابر با ۳۰ درجه سلسیوس و درجه حرارت‌های پایین‌تر از ۱۰ برابر با ۱۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شدند (Plett, 1992).

آزمون بارتلت (Bartlett, 1937) جهت بررسی اطمینان از همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد (جدول ۳). تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) به‌صورت مرکب صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با احتمال خطای پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گردید. عامل تاریخ کاشت (مکان) به‌عنوان اثر تصادفی و عوامل متانول و گلیسین به‌عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شد. بنابراین خطای متانول و گلیسین به‌ترتیب تاریخ کاشت × متانول، تاریخ کاشت × گلیسین در نظر گرفته شد و این خطاها براساس امید ریاضی به دست آمد.

1- Growing degree days

جدول ۳- نتایج آزمون بارتلت
 Table 3- Bartlett test results

	ارتفاع گیاه Plant height	ارتفاع محل بلال The height of the ear	وزن خشک ساقه Stem dry weight	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن خشک بلال Dry weight of maize	طول گل‌آذین Male inflorescence length	قطر ساقه تا گره اول Stem diameter to the first node	تعداد بلال Number of cob	قطر بلال با پوشش Cob diameter with cover
P	0.4356	0.2976	0.4986	0.2368	0.3689	0.2359	0.4689	0.1326	0.1306	0.4309
chi-square	0.00359	0.0067	0.6223	0.9359	0.2697	0.3256	0.1003	0.2359	0.8459	0.11352

 جدول ۴- تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک و عملکرد علوفه ذرت
 Table 4- Variance analysis of morphological, physiological traits and corn fodder performance

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		ارتفاع گیاه Plant height	ارتفاع محل تشکیل بلال The height of the ear formation	وزن خشک ساقه Stem dry weight	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant
تاریخ کاشت یا مکان (P) Planting date or place (P)	2	95480.33**	16868.37**	41359.24**	412158691.58**	525.64**
تکرار (مکان) Replication (P)	6	652.19	2.56	333.46	878.79	1.49
گلیسین Glycine (G)	2	30005.57**	3875.08**	9715.45 ^{ns}	5201200.11 ^{ns}	62.16*
متانول Methanol (M)	2	158.53 ^{ns}	664.36**	1477.69 ^{ns}	928050.75 ^{ns}	18.38*
M × G	4	288.43 ^{ns}	106.62 ^{ns}	226.90 ^{ns}	109576.1 ^{ns}	0.31 ^{ns}
G × P	4	1900.96**	248.91**	2727.02**	1991546.8**	8.10**
M × P	4	178.07 ^{ns}	33.28 ^{ns}	345.68**	322494.2**	2.84*
M × G × P	8	477.56 ^{ns}	137.69**	916.01**	52089.1**	0.38 ^{ns}
Error خطا	48	521.64	12.07	117.69	16760.7	0.32
ضریب تغییرات C.V		14.0	6.5	9.2	13.3	6.2

**, *: به ترتیب بیانگر معنی‌داری با احتمال خطای یک و پنج درصد است و ns: معنی‌دار نمی‌باشد.

*, **: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels; ns: non-significant.

غلاف ماش (*Vigna radiate* L.) و ارتفاع محل تشکیل غلاف شد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت (Khamer et al., 2018). کاربرد متانول باعث افزایش انتقال عناصر غذایی در گیاه و همچنین افزایش فعالیت باکتری‌های محرک رشد در گیاهان شده که این امر زمینه رشد گیاه را فراهم می‌کند (Dorokhov et al., 2018). کاربرد گلیسین با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان احتمالاً از طریق تثبیت ساختار پروتئین‌های آنزیمی و به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و

بیشترین ارتفاع محل تشکیل بلال به میزان ۱۰۷/۴ سانتی‌متر مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ در هزار، در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود که نسبت به شاهد در تاریخ ۴ شهریور ماه، ۱۶۶/۵۰ درصد افزایش یافت و همچنین برهم‌کنش ۱۰ درصد حجمی متانول و گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش ۱۵۲/۶۰ درصدی ارتفاع محل تشکیل بلال نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور ماه شد (جدول ۸). محققان گزارش کردند که محلول پاشی متانول در سطح ۴۰ درصد حجمی سبب افزایش طول

به دنبال آن افزایش طولی شدن سول موجب افزایش عملکرد و رشد گیاه شده است (Gupta & Thind, 2017).

وزن خشک ساقه

اثر تاریخ کاشت، برهم کنش تاریخ کاشت در گلیسین، تاریخ کاشت در متانول و اثرات متقابل تاریخ کاشت، گلیسین و متانول بر وزن خشک ساقه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). با تأخیر در کشت، وزن خشک ساقه کاهش یافت و بیشترین میزان وزن خشک ساقه مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود. کاربرد گلیسین و متانول، افزایش وزن خشک ساقه را به همراه داشت و افزایش غلظت آن‌ها سبب افزایش این شاخص شد. بیشترین مقدار وزن خشک ساقه به میزان ۳۱۵/۲۱ گرم بر مترمربع مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود و کمترین مقدار این شاخص نیز ۳۶/۱۸ گرم بر مترمربع، مربوط به شاهد در ۴ شهریور بود (جدول ۸). استفاده از محلول متانول می‌تواند سبب افزایش وزن تر و خشک گیاهان شود و مقدار افزایش ماده خشک تولیدشده توسط گیاه بستگی به مقدار متانول مصرفی دارد. این موضوع نشان می‌دهد که متانول می‌تواند بر آسمیلاسیون دی‌اکسید کربن در گیاه اثر بگذارد (Downie et al., 2004). نتایج پژوهش کائو و همکاران (Cao et al., 2019)، با نتایج حاصل از پژوهش فوق مطابقت داشت، همچنین محققان اعلام کردند که کشت تأخیری ذرت موجب کاهش وزن ساقه، بوته و عملکرد ذرت شده است. همچنین سایر محققان اعلام کردند که کاربرد گلیسین با جذب مواد مغذی بیشتر موجب افزایش عملکرد و رشد گندم شده است (Gupta & Thind, 2017).

عملکرد علوفه خشک

اثر تاریخ کاشت، تاریخ کاشت در گلیسین، تاریخ کاشت در متانول و اثرات متقابل تاریخ کاشت، گلیسین و متانول بر عملکرد علوفه خشک در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). با تأخیر در کشت ذرت، عملکرد علوفه خشک کاهش یافت و تاریخ کاشت ۱۵ مرداد، بیشترین مقدار عملکرد خشک علوفه را دارا بود. مصرف گلیسین و متانول، افزایش عملکرد علوفه خشک را رقم زد و افزایش غلظت آن‌ها با افزایش عملکرد علوفه خشک همراه شد. بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک به میزان ۱۹۴۱۵/۵۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۳۹۹/۵/۱۵ بود و کمترین مقدار این شاخص نیز به میزان ۲۵۶۸/۷۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به شاهد در ۴ شهریور بود (جدول ۸). می‌توان اظهار داشت که متانول از طریق تأثیر بر مسیرهای مختلف متابولیکی مانند رشدونمو و فعال شدن ژن‌های درگیر در بیوسنتز اسیدجاسمونیک و سازوکارهای دفاعی گیاه سبب

افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Gout et al., 2000). نتایج سایر تحقیقات بیانگر آن است که کاربرد متانول سبب افزایش عملکرد سویا شد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا بود (Paknejad et al., 2009). محمود سلطانی و همکاران (Mahmoud Soltani et al., 2022) گزارش کردند که حداکثر عملکرد برنج در محلول پاشی گلیسین به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد افزایش داشت. سایر محققان گزارش کردند که کشت تأخیری ذرت با تأخیر در جوانه زنی و رشد گیاه موجب کاهش عملکرد ذرت می‌شود که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت داشت (Long et al., 2017).

تعداد برگ در بوته

اثر تاریخ کاشت با احتمال خطای یک درصد، اثر گلیسین و متانول در سطح پنج درصد و اثرات متقابل تاریخ کاشت در گلیسین در سطح یک درصد و برهم کنش تاریخ کاشت در متانول در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل تاریخ کاشت در گلیسین بیانگر آن است که مصرف گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر و افزایش غلظت آن سبب افزایش تعداد برگ در بوته به ترتیب با میزان ۱۸ برگ در دو تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد ماه شد و ۱۵۷/۱۴ درصد نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور ماه افزایش داشت (جدول ۶). برهم کنش تاریخ کاشت در متانول نشان داد که متانول منجر به افزایش تعداد برگ در بوته در تاریخ کاشت‌های ۱۵ و ۲۵ مرداد به ترتیب با مقادیر ۱۸ و ۱۷ برگ و ۱۵۷/۱۴ و ۱۴۲/۸۵ درصد نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور شد (جدول ۹). متانول از طریق افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و افزایش ظرفیت فتوسنتزی و همچنین افزایش هورمون‌های رشد موجب افزایش تعداد برگ در بوته شد. محلول پاشی متانول می‌تواند با تأثیر بر اتیلن باعث تأخیر پیری در برگ‌ها شود و طول دوره فتوسنتز فعال گیاه را افزایش دهد (Gout et al., 2000; Dorokhov et al., 2018). کاربرد گلیسین نیز موجب افزایش تعداد برگ و بلال شد (Lixin et al., 2009; Bai et al., 2022).

طول گل‌آذین نر

اثر تاریخ کاشت در سطح یک درصد، اثر گلیسین و متانول در سطح پنج درصد و برهم کنش تاریخ کاشت در گلیسین در سطح پنج درصد و تاریخ کاشت در متانول در سطح یک درصد بر طول گل‌آذین نر معنی دار شد (جدول ۵). اثرات متقابل تیمارهای تاریخ کاشت و گلیسین نشان داد که مصرف گلیسین و افزایش غلظت آن سبب افزایش طول گل‌آذین نر شد و بیشترین طول گل‌آذین نر به میزان ۴۶/۱۸ سانتی متر، در تیمار گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد ماه مشاهده شد که ۶۵/۳۴ درصد نسبت به شاهد در تاریخ

کاشت ۴ شهریور ماه افزایش داشت (جدول ۶). در اثرات متقابل تاریخ کاشت در متانول مشاهده شد که بیشترین طول گل‌آذین نر به‌میزان ۴۸/۱۱ سانتی‌متر مربوط به متانول ۲۰ درصد حجمی در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود که افزایش ۵۶/۴۰ درصدی نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور داشت (جدول ۹). طول گل‌آذین نر، یکی از صفات مهم در رشد ذرت است که تحت تأثیر شرایط محیطی تغییر می‌کند.

گل‌آذین نر از سنبلیچه‌های زیادی تشکیل شده است که در امتداد خوشه اصلی و شاخه‌های جانبی آن قرار دارند که نقش مهمی در گرده‌افشانی ذرت ایفا می‌کند (Bortiri & Hake, 2007). در همین راستا گزارش شد که کاربرد گیلیسین با افزایش فتوسنتز و جذب نیتروژن بیشتر توسط گیاه سبب افزایش عملکرد و افزایش عملکرد ذرت شد (Bai et al., 2022).

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات مورد مطالعه
Table 5- Variance analysis of some characteristics

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		طول گل‌آذین نر Male inflorescence length	قطر ساقه تا گره اول Stem diameter to the first node	تعداد بلال در بوته Number of cob in plants	قطر بلال با پوشش Ear diameter with cover	وزن خشک بلال Dry weight of ear
تاریخ کاشت یا مکان (P) Planting date or place (P)	2	1220.26**	17.47**	10.97**	135.05*	37838.75**
تکرار (مکان) Replication (P)	6	1.16	0.019	0.54	0.25	462.36
گیلیسین Glycine (G)	2	179.84*	4.42**	3.98*	12.27**	9721.15**
متانول Methanol (M)	2	36.90*	5.27**	4.46*	1.31*	917.77 ^{ns}
M × G	4	3.23 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.01 ^{ns}	291.89 ^{ns}
G × P	4	12.63*	0.020 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.39 ^{ns}	4468.19**
M × P	4	3.12**	0.042 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.18 ^{ns}	241.27 ^{ns}
M × G × P	8	1.83 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.067 ^{ns}	230.2 ^{ns}
خطا Error	48	0.41	0.45	2.24	0.056	286.54
ضریب تغییرات C.V		9.3	6.9	12.4	7.1	12.6

*, **: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری با احتمال خطای یک و پنج درصد است و ^{ns}: معنی‌دار نمی‌باشد.

*, **: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels; ns: non-significant.

قطر ساقه تا گره اول

اثر تاریخ کاشت، گیلیسین و متانول در سطح یک درصد بر قطر ساقه تا گره اول معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه تیمارهای تاریخ کاشت نشان داد که تاریخ کاشت ۲۵ و ۱۵ مرداد ماه به‌ترتیب با مقادیر ۲/۵۴ سانتی‌متر و ۲/۸۵ سانتی‌متر مناسب‌تر از تاریخ کاشت ۴ شهریور بود. گیلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش ۳/۱۴ سانتی‌متری قطر ساقه تا گره اول گردید و کاربرد متانول ۲۰ درصد حجمی باعث افزایش ۳/۰۹ سانتی‌متری قطر ساقه تا گره اول شد و مؤثرتر از سایر تیمارهای متانول بود (جدول ۷). متانول با افزایش هورمون‌های رشد و همچنین باکتری‌های محرک رشد در گیاه سبب افزایش قطر

ساقه تا گره اول شد (Gout et al., 2000; Dorokhov et al., 2018). مصرف گیلیسین به‌دلیل افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و افزایش انتقال مواد مغذی در گیاه سبب افزایش قطر ساقه گردید (Shemi et al., 2021; Bai et al., 2022).

تعداد بلال

اثر تاریخ کاشت در سطح یک درصد، گیلیسین و متانول در سطح پنج درصد بر تعداد بلال معنی‌دار شد (جدول ۵). تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد ماه به‌ترتیب با مقادیر ۲/۵ و ۲/۳۳ دارای بیشترین تعداد بلال بودند. گیلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر و ۱ میلی‌گرم بر لیتر با مقادیر

اکسیدکربن، تسهیل انتقال الکترون، محافظت از فعالیت پروتئین‌ها و چربی‌های غشاء تیلاکوئیدی در فتوسنتز II می‌شود (Korkmaz et al., 2012). همچنین گزارش شده است که کاربرد متانول به دلیل افزایش هورمون‌های محرک رشد و سرعت رشد سبب افزایش تعداد نیام در بوته ماش شد (Khamer et al., 2018).

۲ بلال، بیشترین تعداد بلال را داشتند و مصرف متانول ۲۰ درصد و ۱۰ درصد حجمی باعث افزایش تعداد بلال به ترتیب با مقادیر ۲/۵ و ۲ بلال شد که نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۷). گلیسین بتائین از طریق حفظ و تنظیم اسمزی، حفظ تمامیت غشاء پلاسمایی و حفظ ساختمان پروتئین‌ها منجر به افزایش تجمع کلروفیل‌ها، جذب دی-

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت و گلیسین روی برخی صفات مورد مطالعه

Table 6- Mean comparison of interaction effects of planting date and glycine on some characteristics

Table 3- Mean comparison of interaction effects of planting date and glycine on some characteristics					
تیمارها Treatments		ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaves in plant	طول گل آذین نر Male inflorescence length (cm)	وزن خشک بلال در هر بوته Dry weight of cob in plant (g)
تاریخ کاشت Planting date	گلیسین Glycine				
۱۴۰۰/۵/۱۵	2 ppm	182.68 ^{a*}	18 ^a	46.18 ^a	337.1 ^a
	1 ppm	168.49 ^b	14 ^c	41.39 ^b	253.2 ^c
2020.8.6	Control	145.97 ^c	16 ^b	36.35 ^c	191.5 ^d
۱۴۰۰/۵/۲۵	2 ppm	175.56 ^b	18 ^a	40.75 ^b	301 ^b
	1 ppm	145.66 ^c	14 ^c	37.07 ^c	275.4 ^{bc}
2020.8.16	Control	145.53 ^c	12 ^d	35.68 ^c	209.1 ^d
۱۴۰۰/۶/۴	2 ppm	115.48 ^{cd}	10 ^e	37.4 ^c	126.8 ^e
	1 ppm	110.24 ^d	8.5 ^f	32.85 ^d	122.5 ^e
2020.8.26	Control	94.32 ^e	7 ^g	27.93 ^e	79.6 ^f

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی از صفات مورد مطالعه

Table 7- Mean comparison of some characteristics

تیمارها Treatments	قطر ساقه تا گره اول Stem diameter to the first node (cm)	تعداد بلال در هر بوته Number of cob in plants	قطر بلال با پوشش Ear diameter with cover (cm)
تاریخ کاشت Planting date			
۱۴۰۰/۵/۱۵	2.54 ^{a*}	2.5 ^a	7.5 ^a
2020.8.6			
۱۴۰۰/۵/۲۵	2.85 ^a	2.33 ^a	7.8 ^a
2020.8.16			
۱۴۰۰/۶/۴	1.36 ^b	1 ^b	4.5 ^b
2020.8.26			
گلیسین Glycine			
2 ppm	3.14 ^a	2 ^a	7.70 ^a
1 ppm	2.67 ^b	2 ^a	6.30 ^b
شاهد Control	2.58 ^b	1 ^b	4.66 ^c
متانول Methanol			
20% v/v	3.09 ^a	2.5 ^a	7.5 ^a
10% v/v	2.45 ^b	2 ^a	7.33 ^a
شاهد Control	2.34 ^b	1 ^b	5.5 ^b

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

جدول ۸- اثرات متقابل تاریخ کاشت، گلیسین و متانول بر ارتفاع محل تشکیل بلال، وزن خشک ساقه و عملکرد علوفه خشک

Table 8- The interaction of planting date, glycine and methanol on the height of the ear formation, stem dry weight and dry matter yield

تاریخ کاشت Planting date	گلیسین Glycine	متانول Methanol	ارتفاع محل تشکیل بلال Height of the ear formation (cm)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g m ⁻²)	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)
۱۴۰۰/۵/۱۵ 2020.8. 6	2 ppm	20% v/v	107.4 ^{a*}	315.21 ^a	19415.59 ^a
		10% v/v	101.8 ^{ab}	275.64 ^b	17091.53 ^b
		شاهد	98.4 ^b	262.86 ^b	17069.41 ^b
		Control			
	1 ppm	20% v/v	91.5 ^{bc}	218.28 ^{cd}	15199.8 ^{bc}
		10% v/v	89.6 ^{bc}	227.64 ^c	16875.74 ^b
		شاهد	88.5 ^{bc}	181.65 ^e	13853.62 ^{bc}
		Control			
	شاهد	20% v/v	90.5 ^{bc}	180.36 ^e	12628.8 ^c
		10% v/v	89.5 ^{bc}	179.17 ^e	11805.74 ^c
		شاهد			
		Control	79.32 ^c	175.65 ^e	10283.62 ^{cd}
۱۴۰۰/۵/۲۵ 2020.8.16	2 ppm	20% v/v	98.5 ^b	239.34 ^c	16132.15 ^{bc}
		10% v/v	96.2 ^b	211.95 ^{cd}	13066.39 ^c
		شاهد	95.2 ^b	196.61 ^d	12435.66 ^c
		Control			
	1 ppm	20% v/v	89.3 ^{bc}	149.24 ^f	11916.35 ^c
		10% v/v	85.5 ^c	135.04 ^f	11350.6 ^c
		شاهد	83.2 ^c	118.27 ^{fg}	9719.87 ^{cd}
		Control			
	شاهد	20% v/v	81.8 ^c	87.61 ^g	9856.36 ^{cd}
		10% v/v	78.6 ^c	81.97 ^g	8280.6 ^d
		شاهد			
		Control	71.5 ^d	89.12 ^g	7149.87 ^d
۱۴۰۰/۶/۴ 2020.8.26	2 ppm	20% v/v	72.5 ^e	101.27 ^g	6884.39 ^d
		10% v/v	70.3 ^e	99.55 ^g	5806.32 ^{ed}
		شاهد	63.5 ^f	91.45 ^g	4855.87 ^e
		Control			
	1 ppm	20% v/v	62.1 ^f	92.24 ^g	4562.91 ^e
		10% v/v	57.4 ^f	62.33 ^h	4484.84 ^e
		شاهد	57.3 ^f	61.11 ^h	3534.39 ^f
		Control			
	شاهد	20% v/v	51.2 ^g	58.65 ^h	3497.27 ^f
		10% v/v	45.5 ^h	57.12 ^h	3519.20 ^f
		شاهد			
		Control	40.3 ⁱ	36.18 ⁱ	2568.76 ^g

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

قطر بلال با پوشش

اثر تاریخ کاشت و متانول در سطح پنج درصد و اثر گلیسین در سطح یک درصد بر قطر بلال با پوشش معنی‌دار شد (جدول ۵). تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد به ترتیب با مقادیر ۷/۵ سانتی‌متر و ۷/۸ سانتی‌متر دارای بیشترین قطر بلال با پوشش بودند. گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر دارای بیشترین مقدار قطر بلال با پوشش ۷/۷۰ سانتی‌متر بود و مصرف متانول ۲۰ درصد و ۱۰ درصد حجمی باعث افزایش قطر بلال

با پوشش به ترتیب با مقادیر ۷/۵ سانتی‌متر و ۷/۳۳ سانتی‌متر شد که نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۷). در همین راستا گزارش شد که کاربرد متانول (۱۰ درصد حجمی) سبب افزایش قطر ساقه کلزا شد (Kalantar & Daneshian, 2021). کاربرد گلیسین به‌علت تولید اسیدآمین در طی متابولیسم نیتروژن موجب افزایش قطر و تعداد بلال در شرایط تنش شده است (Shemi et al., 2021).

جدول ۹- اثرات متقابل تاریخ کاشت و متانول بر تعداد برگ در بوته و طول گل‌آذین نر

Table 9- The interaction of planting date and methanol on the number of leaves in plant and male inflorescence length

تیمارها Treatments		تعداد برگ در بوته Number of leaves in plant	طول گل‌آذین نر Male inflorescence length (cm)
تاریخ کاشت Planting date	متانول Methanol		
۱۴۰۰/۵/۱۵ 2020.8.6	20% v/v	18 ^{a*}	48.11 ^a
	10% v/v	13 ^b	45.17 ^b
	شاهد Control	13 ^b	38.5 ^d
۱۴۰۰/۵/۲۵ 2020.8.16	20% v/v	17 ^a	42.56 ^c
	10% v/v	14 ^b	39.92 ^{cd}
	شاهد Control	11 ^c	37.46 ^d
۱۴۰۰/۶/۴ 2020.8.26	20% v/v	9 ^d	40.3 ^{cd}
	10% v/v	7 ^e	34.66 ^e
	شاهد Control	7 ^e	30.76 ^f

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

وزن خشک بلال

اثر تاریخ کاشت و گلیسین و برهم‌کنش آن‌ها دارای اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر وزن خشک بلال بود (جدول ۵). تاریخ کاشت زودهنگام و همچنین افزایش غلظت گلیسین توأم با افزایش وزن خشک بلال بود. بیشترین وزن خشک بلال به‌میزان ۳۳۷/۱۸ گرم در اثرات متقابل گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۳۹۹/۵/۱۵ مشاهده شد و کمترین مقدار این شاخص مربوط به شاهد (عدم مصرف) به‌میزان ۷۹/۶ گرم بود (جدول ۶). تعیین تاریخ کاشت مناسب گیاهان زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چون بر صفات و مراحل مختلف رشدونمو تأثیر گذاشته و باعث بهینه شدن بازده استفاده از عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد می‌شود. تأخیر در کاشت ذرت موجب کاهش وزن خشک بلال شده که این امر از طریق کوتاه شدن دوره رشد رویشی و کاهش میزان کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی انتقال‌یافته به دانه می‌باشد (Hussain et al., 2022).

درجه روز رشد (GDD) کاشت تا رسیدگی

درجه روز رشد کاشت تا رسیدگی در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد ۱۷۲۴/۶۵ درجه سلسیوس، در تاریخ کاشت ۲۵ مرداد ۱۶۵۳/۷۲ درجه سلسیوس و در تاریخ کاشت ۴ شهریور ۱۵۳۶/۵۸ درجه سلسیوس بود. در مطالعه حاضر مقدار درجه روز رشد با تأخیر در کشت ذرت کاهش یافت که علت آن را می‌توان کاهش طول روز و مواجهه گیاه با سرما دانست. از پراهمیت‌ترین علت تغییر درجه روز رشد در تاریخ کاشت-های مختلف این است که وقتی کشت گیاه در زمان مناسب انجام شود، متوسط درجه حرارت مورد نیاز خود را در هریک از مراحل رشدی در مدت زمان کوتاه‌تری دریافت می‌کند و مراحل رشد در زمان

مناسب و با درجه حرارت مطلوب‌تری سپری می‌گردد و بالعکس، تأخیر در کاشت گیاه سبب می‌شود که گیاه حرارت مورد نیاز خود را در هریک از مراحل رشدی در مدت زمان طولانی‌تری دریافت کرده و هریک از مراحل رشد به‌دلیل برخورد با شرایط نامساعد آب‌وهوایی کاهش یافته و سرانجام گیاه درجه روز رشد مناسب را برای اتمام طول دوره رشد دریافت نمی‌کند (Hussain et al., 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد متانول و گلیسین موجب بهبود عملکرد و صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی شد و با افزایش غلظت متانول و همچنین با افزایش غلظت گلیسین، صفات مورد مطالعه در این پژوهش افزایش یافت. به‌طورکلی، در سه تاریخ کاشت، کاربرد گلیسین و متانول سبب افزایش صفات مورد مطالعه در این پژوهش شد، اما تأخیر در کشت ذرت علوفه‌ای (۱۳۹۹/۶/۴) سبب کاهش عملکرد آن شد که می‌توان علت آن را شروع فصل سرما و کاهش طول روز دانست و بهترین تاریخ کاشت برای کشت ذرت علوفه‌ای ۱۵ مرداد ماه بود. کاربرد متانول و گلیسین، تا حدودی موجب کاهش اثرات منفی ناشی از تأخیر کاشت ذرت علوفه‌ای (۱۳۹۹/۵/۲۵) شد. به‌طوری‌که کاربرد ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر در کشت دیرهنگام (۱۳۹۹/۶/۴) توانست عملکرد خشک علوفه را ۱۶۸ درصد نسبت به شاهد در همین تاریخ کشت افزایش دهد که می‌توان علت آن را افزایش سرعت رشد گیاه توسط متانول و گلیسین دانست. بنابراین برای افزایش عملکرد ذرت علوفه-ای و کاهش خسارات ناشی از کشت دیرهنگام می‌توان کاربرد متانول

۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر را در مناطق آب‌وهوایی مرطوب مشابه مازندران پیشنهاد داد. اما جهت بررسی دقیق‌تر، غلظت‌های بیشتر متانول و گلیسین نیز قابل پیشنهاد است.

References

- Ahmed, N., Zhang, Y., Li, K., Zhou, Y., Zhang, M., & Li, Z. (2019). Exogenous application of glycine betaine improved water use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) via modulating photosynthetic efficiency and antioxidative capacity under conventional and limited irrigation conditions. *The Crop Journal*, 7(5), 635-650. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.03.004>.
- Ali, S., Abbas, Z., Seleiman, M. F., Rizwan, M., Yavas, I., Alhammad, B. A., Shami, A., Hasanuzzaman, M., & Kalderis, D. (2020). Glycine betaine accumulation, significance and interests for heavy metal tolerance in plants. *Plants*, 9(7), 896-911. <https://doi.org/10.3390/plants9070896>.
- Bai, M., Zeng, W., Chen, F., Ji, X., Zhuang, Z., Jin, B., Wang, J., Jia, L., & Peng, Y. (2022). Transcriptase expression profiles reveal response mechanisms to drought and drought-stress mitigation mechanisms by exogenous glycine betaine in maize. *Biotechnology Letters Journal*, 44, 367-386. <https://doi.org/10.1007/s10529-022-03221-6>.
- Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 160, 268-282.
- Bortiri, E., & Hake, S. (2007). Flowering and determinacy in maize. *Journal of Experimental Botany*, 58(5), 909-916. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm015>
- Cao, Q., Li, G., Yang, F., Jiang, X., Diallo, L., Zhang, E., & Kong, F. (2019). Maize yield, biomass and grain quality traits responses to delayed sowing date and genotypes in rain-fed condition. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(6), 415-425. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i6.1969>
- Dorokhov, Y. L., Sheshukova, E. V., & Komarova, T. V. (2018). Methanol in plant life. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1623-1641. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01623>
- Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M., & Haslam, R. (2004). Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Phytochemistry*, 65, 2305-2316. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.07.006>
- Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A. A., & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, 123(1), 87-96. <https://doi.org/10.1104/pp.123.1.287>
- Gupta, N., & Thind, S. (2017). Grain yield response of drought stressed wheat to foliar application of glycine betaine. *Indian Journal of Agricultural Research*, 51(3), 287-291. <https://doi.org/10.18805/ijare.v51i03.7920>
- Hamani, A. K. M., Chen, J., Soothar, M. K., Wang, G., Shen, X., Gao, Y., & Qiu, R. (2021). Application of exogenous protectants mitigates salt-induced Na⁺ toxicity and sustains cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedling growth: Comparison of glycine betaine and salicylic acid. *Plants*, 10(2), 380-395. <https://doi.org/10.3390/plants10020380>
- Hanson, A. D., & Roje, S. (2001). One-carbon metabolism in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52, 119-37. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.119>
- Haghighi, P., Habibi, D., Mozafari, H., Thani, B., & Sadeghi Shua, M. (2020). Study of the effect of methanol and amino acid glycine spraying on yield and some physiological traits in different fodder beet cultivars. *Sugar Beet Journal*, 36(2), 185-201. (in Persian)
- Hussain, N., Hussain, A., Anwar Bhat, M., Aliwani, O., Ahmad, T., Mir, A. H., Jelani, F., Kauser, S., Sheikh, T., & Fatima, N. (2022). Effect of establishment methods, planting dates and hybrids on phenology and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* L) under temperate conditions. *The Pharma Innovation Journal*, 11(4), 626-629.
- Kalantar Ahmadi, S. A., & Daneshian, J. (2021). The effect of foliar spraying with ascorbic acid, salicylic acid and methanol on the physiological characteristics and the reduction of late planting damage of rapeseed. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 392-377. (in Persian)
- Khalily, M., Moghaddam, M., Kanouni, H., & Asheri, E. (2010). Dissection of drought stress as a grain production constraint of maize in Iran. *Asian Journal of Crop Science*, 2(2), 60-69. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2010.60.69>
- Khamer, M., Mobasr, H. R., & Kikhani, S. (2018). Investigating the effect of time and different levels of methanol spraying on the yield and yield components of mung bean plant (*Vigna radiate*). *Agricultural Research in the Desert Margin*, 15(2), 83-91.
- Korkmaz, A., Şirikçi, R., Kocaçınar, F., Değer, O., & Rıza Demirkıran, A. (2012). Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. *Scientia Horticulturae*, 148, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.029>.

19. Liaqat, W., Akmal, M., & Ali, J. (2018). Sowing date effect on production of high yielding maize varieties Sarhad. *Journal of Agriculture*, 34(1), 102-113.
20. Lixin, Z., ShengXiu, L., & ZongSuo, L. (2009). Differential plant growth and osmotic effects of two maize (*Zea mays* L.) cultivars to exogenous glycine betaine application under drought stress. *Plant Growth Regular*, 58, 297-305. <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9379-7>
21. Long, N. V., Assefa, Y., Schwalbert, R., & Ciampitti, I. A. (2017). Maize yield and planting date relationship: A synthesis-analysis for US high-yielding contest-winner and field research data. *Frontiers in Plant Science*, 8, 16-21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02106>
22. Mahmoud Soltani, S., Hosseini Chaleshtori, M., Tajaddodi Talab Rashti, K., Shukri Vahad, H., & Shakouri Katigeri, M. (2022). Effect of glycine amino acid chelated zinc and iron on yield, and macro and micronutrient contents of rice aerial tissues. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(4), 763-776. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.337158.669181>
23. Nazeri, P., Shirani Rad, A. H., Valad Abadi, S. A. Mirakhori, M., & Hadidi Masoule, E. (2018). Effect of sowing dates and late season water deficit stress on quantitative and qualitative traits of canola cultivars. *Outlook Agriculture*, 47(4), 291-297. <https://doi.org/10.1177/0030727018793658>
24. Paknejad, F., Mirakhori, M., Al-Ahmadi, M. J., Tookalo, M. R., Pazoki, A. R., & Nazeri, P. (2009). Physiological response of soybean (*Glycine max*) to foliar application of methanol under different soil moistures. *American Journal of Agricultural & Biological Science*, 4, 311-318. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.311.318>
25. Plett, S. (1992). Comparison of seasonal thermal indices for measurement for measurement of corn maturity in a Prairie environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 72, 1157-1162. <https://doi.org/10.4141/cjps92-141>
26. Shemi, R., Wang, R., Gheith, M. S., Athar Hussain, H., Hussain, S., Irfan, M., Cholidah, L., Zhang, K., Zhang, S., & Wang, L. (2021). Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, 28(3), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7>
27. Zhou, B., Yue, Y., Sun, X., Ding, Z., Ma, W., & Zhao, M. (2017). Maize kernel weight responses to sowing date-associated variation in weather conditions. *The Crop Journal*, 5(1), 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.07.002>