Vol 25, No. 4, Winter 2023

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

The Effect of Mycorrhiza and Phosphorus Application on Growth and Physiological Characteristics of Maize and Quinoa in Intercropping by Substitution Method

Tayebe Rostami [1] | Hamid Abbasdokht[2]✉ | Hassan Makarian[3] | Manoochehr Gholipoor[4] | Khalil Karimzadehasl[5]

1. Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: t.rostami129@shahroodut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: habbasdokht@shahroodut.ac.ir
3. Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: h.makarian@shahroodut.ac.ir
4. Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: m.gholipoor@shahroodut.ac.ir
5. Department of Medicinal Plants and Byproducts, Research Institute of Research, Education and Extension of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. E-mail: karimzadeh@rifr.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 3 April 2023
Received in revised form
2 September 2023
Accepted 4 September 2023
Published online 13 December 2023

Keywords:
Fertilization
Growth
Nutrient uptake
Symbiosis
Yield

ABSTRACT

Objective: This study aimed at assessing the effects of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on morphophysiological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and maize (*Zea mays* L.) in an intercropping system by using of replacement method.

Methods: A complete randomized block design (CRBD), with three replications was implemented at two research farms affiliated with Shahrood University of Technology, located in Shahrood and Miami cities. The intercropping systems consisted of five cropping ratios: pure quinoa and maize cultivation, 75% quinoa + 25% maize, 50% quinoa + 50% maize, 25% quinoa + 75% maize. The first factor and phosphorus at three levels (zero, 50 and 100 $kgha^{-1}$) and mycorrhiza at two levels (use and unuse) were considered as the second and third factors.

Results: The results demonstrated that most of studied traits were significantly influenced by the intercropping systems, mycorrhiza application, and phosphorus concentrations. The highest plant height in maize (202.8 cm) and quinoa (81.3 cm) was obtained by use of mycorrhiza and phosphorus fertilizer 50 $kgha^{-1}$. Similarly, the highest leaf area index in quinoa (86.2) and maize (6.57) amount of chlorophyll in quinoa and maize respectively (2.88 and 12.39 mg/ml) were obtained in Shahrood region by using mycorrhiza and 50 $kgha^{-1}$ phosphorus fertilizer in cropping ratio 50 %.

Conclusion: According to the results, the effects of different intercropping ratio, use of mycorrhiza, and phosphorus fertilizers had a significant impact on the morphophysiological characteristics of quinoa and maize.

Cite this article: Rostami, T., Abbasdokht, H., Makarian, H., Gholipoor, M., & Karimzadehas, Kh. (2023). The Effect of Mycorrhiza and Phosphorus Application on Growth and Physiological Characteristics of Maize and Quinoa in Intercropping by Substitution Method. *Journal of Crops Improvement*, 25 (4), 1091-1107.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.357310.2806

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.357310.2806

دوره بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

اثر کاربرد مایکوریزا و فسفر بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی ذرت و کینوا در کشت مخلوط به روش جایگزینی

طیبه رستمی[۱] | حمید عباسدخت[۲] ✉ | حسن مکاریان[۳] | منوچهر قلی‌پور[۴] | خلیل کریم‌زاده اصل[۵]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: t.rostami129@shahroodut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: habbasdokht@shahroodut.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: h.makarian@shahroodut.ac.ir

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: m.gholipoor @shahroodut.ac.ir

۵. گروه تحقیقات گیاهان دارویی و فراورده‌های جانبی، مؤسسه جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: karimzadeh@rifr.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:
جذب عناصر غذایی
رشد
عملکرد
کوددهی
همزیستی

چکیده

هدف: این مطالعه به‌منظور بررسی مایکوریزا و کود فسفر بر برخی صفات مورفوفیزیولوژی و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* willd) و ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد.

روش پژوهش: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود در شهرستان‌های شاهرود و میامی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های کشت خالص کینوا، ۷۵ درصد کینوا+ ۲۵ درصد ذرت، ۵۰ درصد کینوا+ ۵۰ درصد ذرت، ۲۵ درصد کینوا+ ۷۵ درصد ذرت و خالص ذرت به‌عنوان فاکتور اول و تیمار فسفر در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و مایکوریزا در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) به‌عنوان فاکتور دوم و سوم در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد خصوصیات رشدی و عملکرد کینوآ و ذرت تحت تأثیر فاکتورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: براساس نتایج حاصل از آزمایش اکثر صفات مورد مطالعه تحت تأثیر تیمارها، قرار گرفت. بیشترین ارتفاع گیاه ذرت (۲۰۲/۸ سانتی‌متر) و کینوآ (۸۱/۳ سانتی‌متر) و عملکرد دانه ذرت (۲۵۴۲/۵ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد مایکوریزا و فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. بیش‌ترین شاخص سطح برگ کینوآ (۲/۸۶) و ذرت (۶/۵۷) و بیش‌ترین مقدار کلروفیل کینوآ و ذرت به‌ترتیب (۲/۸۸ و ۱۲/۳۹ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) در منطقه شاهرود با استفاده از مایکوریزا و فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار با آرایش کشت ۵۰ درصد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، سیستم کشت مخلوط با استفاده از کود فسفر و مایکوریزا روی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی کینوا و ذرت تأثیر معنی‌داری داشت.

استناد: رستمی، طیبه؛ عباسدخت، حمید؛ مکاریان، حسن؛ قلی‌پور، منوچهر و کریم‌زاده اصل، خلیل (۱۴۰۲). اثر کاربرد مایکوریزا و فسفر بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی ذرت و کینوا در کشت مخلوط به روش جایگزینی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۴)، ۱۱۰۷-۱۰۹۱.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.357310.2806

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

افزایش سیستم‌های کشت مبتنی بر غلات بر محیط‌زیست تأثیر منفی گذاشته و منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ازدست‌دادن تنوع زیستی شده است (Rodriguez *et al*., 2020). اگرواکولوژی و افزایش تنوع اکولوژیک به‌عنوان رویکردهایی برای کاهش این اثرات معرفی شده است، بنابراین علاقه به سیستم‌های کشت مخلوط در دستور کار پروژه‌های پژوهشی قرار گرفته است. تنوع سیستم‌های کشت به‌عنوان یک استراتژی مثبت برای حمایت از تنوع زیستی عملکردی[1] در سطوح مختلف پیشنهاد می‌شود (Bommarco *et al*., 2013). کشت مخلوط و تناوب زراعی از راه‌کارهای مورداستفاده در کشاورزی پایدار می‌باشد. از نظر متخصصان علوم کشاورزی، کشت مخلوط به‌عنوان یک فعالیت زراعی که در آن دو یا چند گیاه زراعی به‌صورت هم‌زمان در یک زمین کشت می‌شود، تعریف می‌گردد (Brooker *et al*., 2015). از مزیت‌های نسبی کشت مخلوط با توجه به نتایج مختلف یافته‌ها می‌توان به ثبات بیش‌تر عملکرد (Erdogan & Onur, 2020)، افزایش توان رقابتی گیاه زراعی با علف‌های هرز (Rad *et al*., 2020)، افزایش کارایی استفاده از نیروی انسانی و زمین (Vrignon-Brenas *et al*., 2018) و بهبود وضعیت حاصل‌خیزی خاک اشاره کرد که منجر به افزایش کاربرد این شیوه از کشاورزی شده است (Daryanto *et al*., 2020). پژوهش‌گران بیان داشتند که هدف از کشت مخلوط، بالابردن عملکرد گیاهان زراعی در بعد زمانی و مکانی از طریق افزایش کارایی استفاده از منابع محیطی است (Vrignon-Brenas *et al*., 2016). این پژوهش با هدف تعیین مقدار عملکرد با کاشت گیاه کینوا با نسبت‌های مختلف همراه با گیاه ذرت و رعایت ارزش غذایی و هم‌چنین تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا همراه با کود شیمیایی فسفر بر پارامترهای رشدی، عملکردی انجام خواهد شد.

۲. پیشینه پژوهش

گیاه کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd، جزو شبه‌غلات بوده و بومی کوه‌های آند در آمریکای جنوبی می‌باشد. گیاهی یک‌ساله، دولپه، آلوتتراپلوئید (2n=4x =36) و خودگرده‌افشان از خانواده تاج‌خروسیان[2] و زیرخانواده اسفناجیان[3] می‌باشد (طاوسی و لطفعلی صحرایی، ۱۳۹۶) دانه‌های کینوا یک ماده غذایی بسیار ارزشمند با کربوهیدرات بالا، پروتئین با کیفیت، چربی، فیبر و حاوی انواع ویتامین و مواد معدنی می‌باشد (Keskin & Kaplan Elvice, 2015). تصور می‌شود که گیاهی با چنین محتوای مغذی غنی می‌تواند جایگزین مناسبی برای یک گیاه خوراکی باشد که علاوه بر ارزش غذایی منجر به افزایش کیفیت تولید علوفه نیز می‌شود. درصورت کشت این گیاه با ذرت، حتی اگر عملکرد علوفه تازه آن اندکی کاهش یابد، افت عملکرد را می‌توان با کیفیت محصول جبران نمود (Erdogan & Onur, 2020). ذرت با تولید سالانه بیش از یک میلیارد تن، پرتولیدترین گیاه در جهان است (FAO, 2019). ذرت یک محصول استراتژیک است که به‌عنوان غذای انسان و در تغذیه دام با تولید بذر و علوفه استفاده می‌شود. علاوه بر این، ذرت با روش‌های کشاورزی مرسوم سازگار بوده و مکانیزه‌کردن کلیه فرآیندها (کاشت، داشت، آبیاری، کوددهی و غیره) برای اطمینان از تولید ذرت با تعداد بذر بالا و زیست‌توده در واحد سطح مناسب است (Onur, 2021).

براساس نظر پژوهش‌گران استفاده از کودهای زیستی در سیستم‌های کشت مخلوط احتمال موفقیت این نوع سیستم کشت را افزایش می‌دهد. بدین صورت که کودهای زیستی با افزایش حاصل‌خیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌گردند (Khaki Najafabadi *et al*., 2017). علاوه بر این،

1. Functional biodiversity
2. Amaranthaceae
3. Chenopodiaceae

بالارفتن زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط که منجر به افزایش تنوع و هم‌چنین افزایش پیچیدگی روابط شکارگری و باکتری‌خواری می‌شود، می‌تواند به دلایل بالابودن میزان مواد آلی خاک، فعالیت ریزموجودات خاک و بهبود تهویه خاک باشد (Jannoura *et al*., 2014; Tang *et al*., 2014).

کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی نسبت به استفاده منفرد آن‌ها علاوه بر اثرات مثبت بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های تولید نیز شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۸). فسفر در تمامی خاک‌ها، آب و بقایای گیاهی و جانوری وجود دارد، اما اکثر منابع فسفر برای گیاهان به شکل غیرقابل‌جذب است. علاوه بر این، تبدیل این منابع به شکل قابل‌جذب برای گیاه به انرژی بالایی نیاز دارد (Jaitieng *et al*., 2021). ازآنجایی‌که قارچ های آربوسکولار مایکوریزا (AMF) توانایی گیاهان میزبان را در جذب عناصر غذایی از خاک به‌ویژه از منابع غیرقابل دسترس افزایش می‌دهند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که این قارچ‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای قسمتی از کودهای شیمیایی مصرف‌شده به‌ویژه کودهای فسفاته باشند (ناصری‌راد و همکاران، ۱۴۰۱).

۳. روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه با هدف ارزیابی کاربرد مایکوریزا و غلظت‌های مختلف فسفر بر کشت مخلوط ذرت و کینوا به‌روش جایگزینی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود در دو منطقه بسطام و میامی از توابع شهرستان‌های شاهرود و میامی با شرایط اقلیمی و دمایی متفاوت در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی و هم‌چنین خاک مناطق موردمطالعه به‌ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی و اقلیمی مناطق موردمطالعه

منطقه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	کمینه دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	بیشینه دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)
بسطام	۳۶.۳۵	۵۴.۵۸	۱۴۲۰	۲۰/۸۰	۴۱/۶۸
میامی	۳۶.۴۱۱۰	۵۵.۶۵۰۳	۱۰۲۵	۱۹/۷۲	۴۵/۶۶

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در دو منطقه

منطقه کاشت	عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	اسیدیته	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	C (درصد)	K (پی‌پی‌ام)	N (درصد)	P (پی‌پی‌ام)
بسطام	۳۰-۰	لومی- سیلتی	۸/۳۰	۰/۴۱	۰/۴	۱۴۹	۰/۰۴	۱۹
میامی	۳۰-۰	سیلتی - لومی	۷/۷۵	۳/۲۵	۰/۱۸۹	۳۳۹	۰/۰۸	۳۳.۱۶

تعداد کرت‌های آزمایشی ۹۰ کرت و ابعاد هر کرت آزمایشی ۳×۲ مترمربع با چهار ردیف تعیین شد. فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و عمق کاشت در ذرت و کینوا به‌ترتیب ۵ و ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. الگوی کشت در پنج سطح کشت خالص کینوا ، ۷۵ درصد کینوا+ ۲۵ درصد ذرت، ۵۰ درصد کینوا+ ۵۰ درصد ذرت و ۲۵ درصد کینوا+ ۷۵ درصد ذرت و کشت خالص ذرت انجام گرفت.

بذر کینوا رقم تی‌تی‌کاکا و ذرت رقم ۷۰۴ از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و قارچ مایکوریزا حاوی قارچ‌های گونه *Glomus mosseae*، *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus intraradices* از شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان تهیه شد.

۳. ۱. صفات موردارزیابی

خصوصیاتی از قبیل ارتفاع بوته، وزن تر و خشک گیاه، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، نسبت برابری زمین، کلروفیل اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل بعد از اعمال تنش از روش Lichtenthaler (1987) و از (رابطه‌های ۱، ۲ و ۳) استفاده شد.

رابطه ۱) غلظت کلروفیل a $chl\ a = (19.3 * \mathrm{A663} - 0.86 * \mathrm{A\ 645}\ )\mathrm{v}/100\ w)$

رابطه ۲) غلظت b $chlb = (19.3 * A645 - 3.6 * A663)V/100W)$

رابطه ۳) کلروفیل کل $chl\ T = ch\ a + ch\ l\ b$

نسبت برابری زمین کینوا، ذرت و کل به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۴)، (۵) و (۶) محاسبه شد. چنانچه مقدار نسبت برابری زمین کل بالاتر از یک باشد نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است و چنانچه کم‌تر از یک باشد بیانگر تأثیر منفی کشت مخلوط بر عملکرد و رشد گونه‌های گیاهی است (Rezaei-chiyaneh *et al*., 2015).

رابطه ۴) $LER_a=Y_{ab}/Y_{aa}$

رابطه ۵) $LER_b= Y_{ba}/Y_{bb}$

رابطه ۶) $LER_T= Y_{ab}/Y_{aa}+ Y_{ba}/Y_{bb}$

در این روابط، Y_{ab}: عملکرد گونه کینوا در کشت مخلوط با ذرت، Y_{aa}: عملکرد کینوا در کشت خالص، Y_{ba}: عملکرد گونه ذرت در کشت مخلوط با کینوا و Y_{bb}: عملکرد ذرت در کشت خالص می‌باشند.

برای سنجش پروتیئن بذر از طریق روش کجدال انجام گرفت. در این روش که شامل سه مرحله هضم نمونه، تقطیر و تیتراسیون است. ابتدا جهت اندازه‌گیری میزان نیتروژن نمونه بذر مقدار ۶ میلی‌گرم از نمونه را ابتدا وزن کرده و سپس درون لوله هضم ریخته شد. در ادامه میزان ۱/۱ گرم از کاتالیزور به‌همراه ۵ میلی‌لیتر از سولفوریک‌اسید غلیظ به لوله اضافه کرده و این محتویات را درون دستگاه هضم به‌مدت دو ساعت قرار داده شد. در این مرحله حرارت ایجادشده باعث سریع‌ترشدن عمل هضم می‌شود. و پس از سردشدن این محتویات مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از سود ۱۰ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر از محلول بوریک‌اسید را به لوله اضافه کرده و در نهایت با استفاده از دستگاه کجدال، میزان نیتروژن موجود در نمونه‌گیاهی استخراج شد. در نهایت با قراردادن میزان اسید سولفوریک مصرفی و میلی‌گرم وزن نمونه میزان نیتروژن موجود در نمونه تعیین شد.

رابطه ۷) (میلی‌گرم وزن نمونه×۱۰۰۰۰)/ (۵۰×۱۰۰۰×۱۴× نرمالیته اسید× حجم اسید مصرفی)= درصد نیتروژن نمونه

درصد پروتئین نمونه از حاصلضرب ضریب تبیین ازت به پروتئین (۶/۲۵) در درصد نیتروژن نمونه به‌دست آمد.

رابطه ۸) درصد نیتروژن نمونه× ضریب تبیین ازت به پروتئین =درصد پروتئین

به‌منظور سنجش حداکثر شاخص سطح برگ کینوا در زمان گل دهی پس از حذف حاشیه از هر کرت پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و با عکس‌برداری و استفاده از نرم‌افزار Image Processor (نسخه ۳/۰) مساحت برگ‌ها اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ که بیان‌کننده سطح برگ به سطح زمین اشغال‌شده توسط گیاه است، از نسبت سطح برگ هر بوته به سطح زمینی که توسط آن اشغال شده است، محاسبه شد (Biglouie *et al*., 2006). بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی دانه و قطع ابیاری و خشک‌شدن نسبی پانیکول‌ها و بلال‌ها از هر کرت تعداد پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و عملکرد و اجزای عملکرد اندازه‌گیری شد.

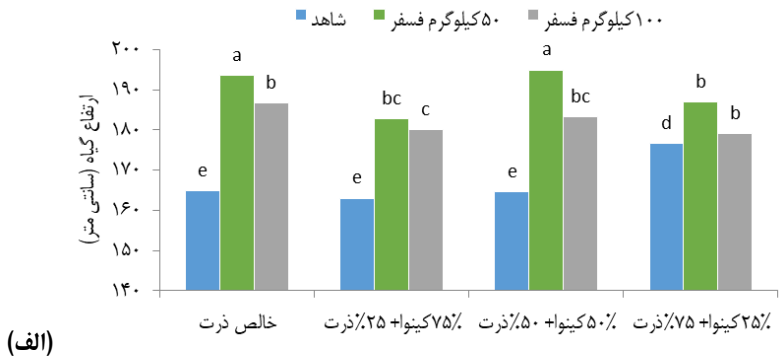
۳. ۲. تجزیه آماری

داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه (۹/۴) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن[1] در سطح احتمال پنج درصد انجام و نمودارها در اکسل رسم شدند.

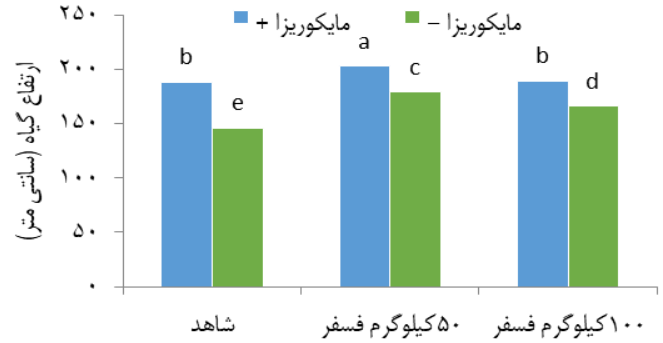
۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. ارتفاع بوته

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر مکان، آرایش‌کشت، غلظت‌های مختلف فسفر و استفاده از مایکوریزا و اثر متقابل فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد روی ارتفاع کینوا معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، بدین‌صورت که بیش‌ترین ارتفاع بوته با میانگین (۸۱/۳ سانتی‌متر) با کاربرد مایکوریزا و استفاده از فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین ارتفاع بوته (۵۶/۳ سانتی‌متر)، در تیمار عدم استفاده از مایکوریزا و بدون استفاده از فسفر مشاهده شد (شکل ۱– الف). براساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر مکان، آرایش کشت، استفاده از فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل دوگانه آرایش‌کشت و فسفر، آرایش کشت و مایکوریزا و اثر سه‌گانه فسفر، مایکوریزا و مکان در سطح احتمال یک درصد روی ذرت معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین ارتفاع بوته با میانگین (۲۰۲/۸ سانتی‌متر) در کاربرد مایکوریزا با فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین ارتفاع بوته با میانگین (۱۵۶/۲۵ سانتی‌متر) در تیمار کشت خالص ذرت و عدم استفاده از مایکوریزا بوده است (شکل ۱– ب).



(الف)



(ب)

شکل ۱. اثر سطوح مختلف کود فسفر و مایکوریزا روی ارتفاع گیاه کینوا (الف) و ذرت (ب)

1. Duncan's multiple range test

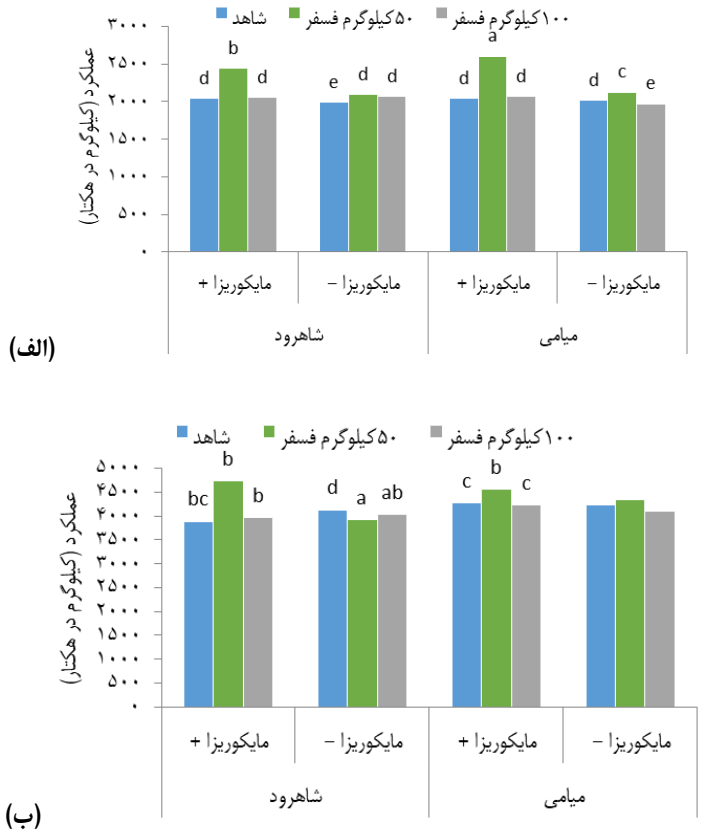
جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیکی کینوا و ذرت تحت تأثیر مایکوریزا و فسفر در کشت مخلوط به‌روش جایگزینی

منبع تغییرات	درجه آزادی	ذرت						کینوا					
		ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	وزن خشک	وزن تر	عملکرد	کلروفیل کل	درصد پروتئین	ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	وزن خشک	وزن تر	عملکرد	کلروفیل کل	درصد پروتئین
مکان	۱	۴۲۸۱/۷**	۳۲/۰۱۵۰**	۷۸۱/۰۱۶**	۳۹۰۶۷۰**	۵۵۶۱۷/۳**	۱۷/۸۴۹۲**	۶/۹۸۷۲۱**	۳۶۵۴/۲۰**	۱۸۳۴۲۱**	۵۳۷۴/۴۷**	۲۹۵۳/۸۳**	۲۳۳۳۵/۱**	۵/۰۷۹۷۶**	۱۴/۱۱۲۵**
خطای اول	۴	۴۴/۳۴۰ ns	۰/۱۲۳۷۴۰ ns	۶۳/۰۰۷۸ ns	۲۷/۷۳۷۶ ns	۳۲۷/۳۴۷ ns	۰/۲۴۶۳۰۲ ns	۰/۶۶۳۰۹۴ ns	۶/۶۴۷۴۹ ns	۷۸/۰۴۲۴ ns	۱۳/۱۹۲۷ ns	۴۷/۴۹۷۲ ns	۸۸/۲۴۳ ns	۰/۰۰۱۹۶۹ ns	۰/۱۲۱۶۲۵ns
مخلوط	۳	۴۶۵/۷۴۵**	۵۶/۹۱۳۸**	۲۵۱۰/۵**	۴۳۳۸/۹۳**	۱۸۳۹۴۰۱**	۱۳۰/۶۷۸**	۴/۶۳۶۸**	۱۱۰۹۲/۵**	۶۸۱۸۸/۲**	۲۴۲۰/۲۹**	۳۹۷۱۹۸**	۲۳۶۴۸/۵**	۰/۵۹۸۸۲۴**	۱/۹۳۱۲۳**
فسفر	۲	۶۸۵۴/۹۵**	۱/۷۹۴۳۹**	۱۵۰۱/۲۱**	۷۴۲/۹۳۴**	۲۲۶۹۶۵**	۲/۶۳۱۴۶**	۷/۲۸۷۹۳**	۹۰۱/۹۱۰**	۲۹۷۴/۵۱**	۲۲۸/۷۰۱**	۳۳۳/۶۸۵**	۲۳۶۴۸/۵**	۰/۵۹۸۸۲۴**	۸/۲۱۵۷۹**
مایکوریزا	۱	۳۹۶۶۰**	۰/۸۴۰۲۴۷**	۵۱۱۴/۸۷**	۴۳۸۹/۰۶**	۲۱۹۹۶۱**	۰/۵۹۳۲۰۷**	۵/۰۱۰۱۳**	۸۸۲۲/۸۴**	۷۴۱۲/۵۷**	۸۸۵/۸۰۶**	۱۷۲۲/۱۸**	۸۱۹۴۳/۸**	۰/۰۵۳۵۳۴**	۶/۵۶۲۱۳**
مخلوط × فسفر	۶	۱۴۶/۹۰۲**	۰/۳۹۳۳۴۴**	۴۸۷/۵۷۹**	۸۴۳/۴۹۵**	۹۳۱۲۱/۲**	۰/۸۹۱۶۶۳**	۰/۱۳۲۱۸۶ ns	۳۲/۰۱۵۰**	۱۸۳۴۲۱**	۵۳۷۴/۴۷**	۲۹۵۳/۸۳**	۲۳۳۳۵/۱**	۵/۰۷۹۷۶**	۱۴/۱۱۲۵**
مخلوط× مایکوریزا	۳	۷۵۳/۷۲۷**	۰/۶۹۱۸۲۴**	۲۰۴۰/۶۰**	۳۵۰/۵۳۸**	۱۹۹۴۳/۲**	۰/۰۸۹۵۱۴ ns	۱/۱۳۵۴۰**	۱۱۰۹۲/۵**	۶۸۱۸۸/۲**	۲۴۲۰/۲۹**	۳۹۷۱۹۸**	۲۳۶۴۸/۵**	۰/۵۹۸۸۲۴**	۱/۹۳۱۲۳**
فسفر × مایکوریزا	۲	۹۷۰/۵۵۵**	۰/۲۴۴۳۰۷**	۵۲۷/۲۱۰**	۴۷۷/۵۲۷**	۳۳۳۵/۰۸**	۰/۱۹۵۱۵۸*	۰/۴۷۴۵۲۵**	۹۰۱/۹۱۰**	۲۹۷۴/۵۱**	۲۲۸/۷۰۱**	۳۳۳/۶۸۵**	۲۳۶۴۸/۵**	۰/۵۹۸۸۲۴**	۸/۲۱۵۷۹**
مخلوط × فسفر× مایکوریزا	۶	۲۲۳/۷۷۶ns	۰/۲۴۰۳۰۵**	۴۱۲/۳۹۹**	۵۰۷/۷۲۸**	۴۹۹۹۵/۸**	۰/۳۱۵۷۸۰**	۰/۵۱۸۰۵۵ ns	۳۲/۰۱۵۰**	۱۸۳۴۲۱**	۵۳۷۴/۴۷**	۲۹۵۳/۸۳**	۲۳۳۳۵/۱**	۵/۰۷۹۷۶**	۱۴/۱۱۲۵**
مکان× مخلوط	۳	۳۳/۴۲۳۴**	۰/۰۶۷۲۱۷ns	۳۱۱۹/۱۳**	۲۶۲/۲۷۳**	۸۳۳۲/۸۶**	۰/۷۳۰۳۱۹**	۰/۰۵۴۰۴۶ ns	۶/۶۶۰۱۶ns	۰/۶۷۲۱۷ns	۱۰۴۲/۴۶۴**	۹۴۲/۹۷۴**	۸۷۹/۹۷۴**	۰/۱۴۵۹۸۸*	۰/۰۲۴۷۳۰ ns
مکان× مخلوط× مایکوریزا	۳	۱۲/۸۳۱۸ns	۰/۱۴۰۲۴۳**	۱۸۷۷**	۲۰۸/۲۶۱**	۱۱۳۴/۴۵*	۰/۰۰۷۰۱۷ ns	۰/۰۱۷۷۸۷۸*	۱۲/۸۳۱۸ns	۰/۱۴۰۲۴۳**	۱۸۷۷**	۲۰۸/۲۶۱**	۱۱۳۴/۴۵*	۰/۰۰۷۰۱۷ ns	۰/۰۱۷۷۸۷۸*
مکان× فسفر× مایکوریزا	۲	۸/۱۷۱۸۵ns	۰/۲۱۴۰۱۱**	۵۱/۶۷۲۳**	۱۸۵/۱۶۲**	۸۰۷/۶۹۴ ns	۰/۳۰۵۳۳۶**	۰/۱۲۱۰۲۷ ns	۸/۱۷۱۸۵ns	۰/۲۱۴۰۱۱**	۵۱/۶۷۲۳**	۱۸۵/۱۶۲**	۸۰۷/۶۹۴ ns	۰/۳۰۵۳۳۶**	۰/۱۲۱۰۲۷ ns
مکان× مخلوط× فسفر× مایکوریزا	۶	۱۱/۲۷۳۴ns	۰/۱۷۱۱۵۰**	۱۲۸/۱۲۰**	۵۳۴/۵۷۴**	۳۶۶۶/۵۶**	۰/۱۲۰۳۳۶*	۰/۰۶۵۳۴۱ ns	۱۱/۲۷۳۴ns	۰/۱۷۱۱۵۰**	۱۲۸/۱۲۰**	۵۳۴/۵۷۴**	۳۶۶۶/۵۶**	۰/۱۲۰۳۳۶*	۰/۰۶۵۳۴۱ ns
خطای اصلی	۹۲	۷/۱۵۵۳۳	۰/۰۲۶۳۸۳	۵/۴۵۴۷۱	۵/۹۹۲۴	۳۹۶/۳۰۸	۰/۰۵۳۷۲۷	۰/۰۶۱۳۹۰	۷/۱۵۵۳۳	۰/۰۲۶۳۸۳	۵/۴۵۴۷۱	۵/۹۹۲۴	۳۹۶/۳۰۸	۰/۰۵۳۷۲۷	۰/۰۶۱۳۹۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۴۸۴	۴/۰۶۲	۱/۱۶۴	۱/۰۰۲	۰/۴۵۳۲	۲/۵۴۸۸	۳/۱۰۵	۱/۴۸۴	۴/۰۶۲	۱/۱۶۴	۱/۰۰۲	۰/۴۵۳۲	۲/۵۴۸۸	۳/۱۰۵

۴. ۲. عملکرد دانه

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر مکان، آرایش‌کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل فسفر× مایکوریزا، روی ارتفاع گیاه کینوا و ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۲- الف) تیمارها و متغیرهای مختلف مورداستفاده در این آزمایش، اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نشان دادند. بالاترین

عملکرد دانه کینوا (۲۶۰۴/۱کیلوگرم در هکتار) در منطقه میامی با کاربرد ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و کم‌ترین عملکرد دانه کینوا (۱۹۷۱/۳ کیلوگرم در هکتار) در منطقه میامی در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم فسفر مشاهده گردید. براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۲- ب) تیمارها و متغیرهای مختلف مورداستفاده در این آزمایش، اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نشان دادند. بالاترین عملکرد دانه ذرت (۴۷۳۹/۶ کیلوگرم در هکتار) در منطقه شاهرود با کاربرد ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و استفاده از مایکوریزا مشاهده شد و کم‌ترین عملکرد دانه (۳۹۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار) در منطقه میامی در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم فسفر و بدون استفاده از مایکوریزا مشاهده شد.

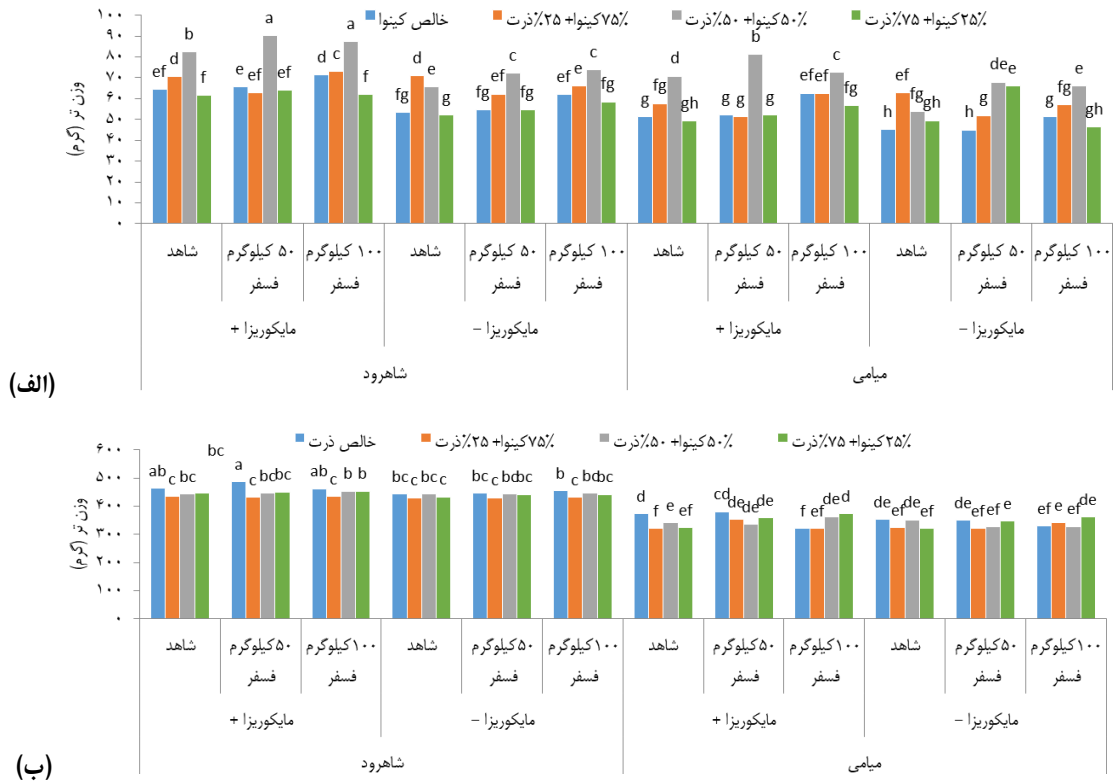


شکل ۲. اثر سطوح مختلف کود فسفر و مایکوریزا روی عملکرد کینوا (الف) و ذرت (ب)

۴. ۳. وزن تر بوته

همان‌طوری‌که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) مشاهده می‌شود، متغیرهای مکان، آرایش‌کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل آرایش‌کشت× فسفر، آرایش‌کشت× مایکوریزا، فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت، مکان× فسفر، مکان× مایکوریزا و اثر متقابل سه‌گانه آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت× فسفر، مکان× آرایش‌کشت× مایکوریزا، مکان× فسفر× مایکوریزا و اثر چهارگانه مکان× آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. براساس (شکل ۳- الف)، بیش‌ترین وزن تر بوته با میانگین ۹۰/۱ گرم در منطقه شاهرود در آرایش کشت ۵۰ درصد ذرت و ۵۰ درصد کینوا با استفاده از مایکوریزا و تیمار ۵۰ کیلوگرم درهکتار فسفر مشاهده شد، درصورتی‌که کم‌ترین وزن تر بوته با میانگین ۴۴/۹ گرم در منطقه میامی در کشت خالص کینوا با عدم کاربرد مایکوریزا و فسفر ۵۰

کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. همان‌طوری‌که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود، متغیرهای مکان، آرایش‌کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل مکان× فسفر، مکان× مایکوریزا، مایکوریزا× فسفر و اثر متقابل سه‌گانه آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت× فسفر، مکان× آرایش‌کشت× مایکوریزا، مکان× فسفر× مایکوریزا و اثر چهارگانه مکان× آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. طبق نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳- ب) بیش‌ترین وزن تر بوته با میانگین ۴۸۶/۳ گرم در منطقه شاهرود در کشت خالص ذرت با کاربرد مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و کم‌ترین مقدار ۳۱۹/۳ گرم در کشت خالص ذرت و استفاده از مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر در منطقه میامی بوده است.

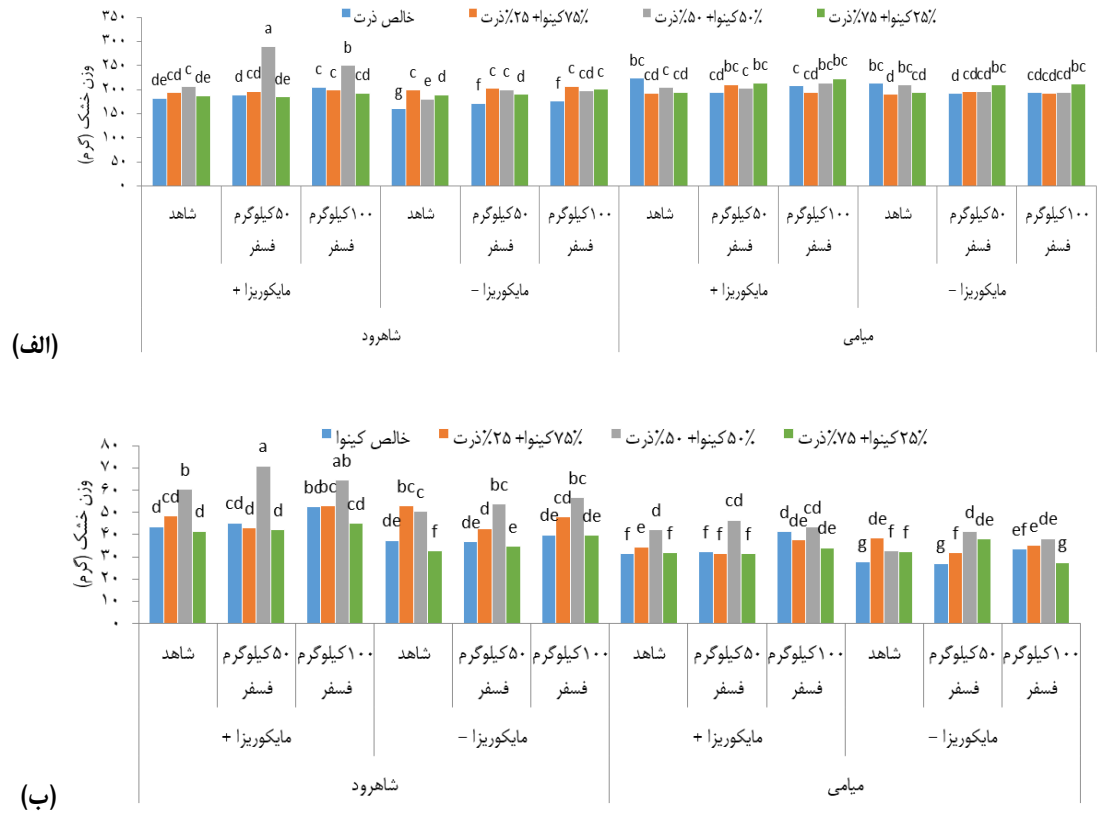


شکل ۳. اثر مکان، آرایش کشت و مایکوریزا روی وزن تر کینوا (الف) و ذرت (ب)

۴. ۴. وزن خشک بوته

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول۳) اثر مکان، آرایش‌کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل بین آرایش‌کشت× فسفر، آرایش‌کشت× مایکوریزا، فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت، مکان× فسفر، مکان× مایکوریزا و اثر سه‌گانه آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت× فسفر و اثر چهارگانه مکان× آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌گانه مکان× فسفر و مایکوریزا در سطح احتمال پنج درصد روی وزن خشک گیاه کینوا معنی‌دار بود. براساس مقایسه میانگین (شکل ۴- الف) بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد بدین صورت‌که بیش‌ترین وزن خشک بوته با میانگین ۷۰/۹ گرم در منطقه شاهرود در کشت خالص کینوا با استفاده از مایکوریزا و تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر مشاهده شد، در صورتی‌که کم‌ترین وزن خشک بوته (۲۷/۱ گرم) در کشت

خالص کینوا با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و بدون استفاده از میکوریزا در منطقه میامی مشاهده شد. براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر مکان، آرایش‌کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل بین آرایش‌کشت× فسفر، آرایش‌کشت× مایکوریزا، فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت، مکان× فسفر، مکان× مایکوریزا و اثر سه گانه آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت× فسفر و مکان× فسفر و مایکریزا و اثر چهارگانه مکان× آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد روی وزن خشک ذرت معنی‌دار بود. براساس مقایسه میانگین (شکل ۴- ب) بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد بدین صورت که بیش‌ترین وزن خشک بوته ذرت با میانگین ۲۹۰/۳ گرم در منطقه شاهرود در کشت ۵۰ درصد کینوا + ۵۰ درصد ذرت با استفاده از مایکوریزا و تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر مشاهده شد، در صورتی‌که کم‌ترین وزن خشک بوته ذرت (۱۶۰/۲ گرم) در کشت خالص ذرت با کاربرد مایکوریزا و عدم استفاده از فسفر در منطقه شاهرود مشاهده شد.

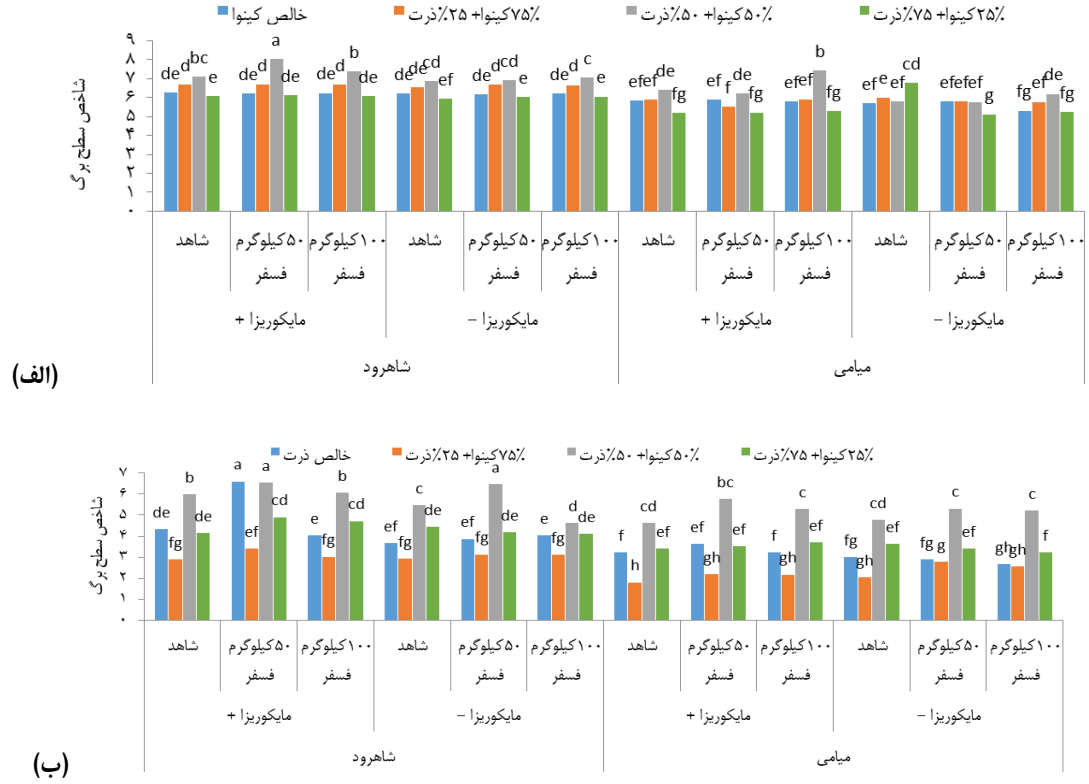


شکل ٤. اثر مکان، آرایش‌کشت، سطح مختلف کود فسفر و مایکوریزا روی وزن خشک کینوا (الف) و ذرت (ب)

۴. ۵. شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس، جدول (۳) نشان داد اثر مکان، آرایش‌کشت، فسفر و مایکوریزا و هم‌چنین اثر متقابل بین آرایش‌کشت× فسفر، آرایش‌کشت× مایکوریزا، فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت، مکان× فسفر، مکان× مایکوریزا و اثر سه‌گانه آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت× فسفر و مکان× فسفر و مایکوریزا و اثر چهارگانه مکان× آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد روی وزن خشک گیاه کینوا معنی‌دار بود. بیش‌ترین

شاخص سطح برگ (۲/۸۰۶) در منطقه شاهرود در آرایش کشت ۵۰ درصد کینوا+ ۵۰ درصد ذرت و استفاده از مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و کم‌ترین شاخص سطح برگ در کشت ۲۵ درصد کینوا+ ۷۵ درصد ذرت در تیمار شاهد منطقه میامی مشاهده گردید (شکل ۵- الف). نتایج حاصل از تجزیه واریانس، جدول (۳) نشان داد اثر مکان، آرایش- کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل بین آرایش‌کشت× فسفر، آرایش‌کشت× مایکوریزا، فسفر× مایکوریزا و اثر سه‌گانه آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا و مکان× فسفر و مایکریزا و اثر چهارگانه مکان× آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد و مکان× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت× فسفر در سطح احتمال یک درصد روی وزن خشک گیاه ذرت معنی‌دار بود. بیش‌ترین شاخص سطح برگ ذرت (۶/۵۷) در منطقه شاهرود در آرایش‌کشت ۵۰ درصد کینوا+ ۵۰ درصد ذرت و استفاده از مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و کم‌ترین شاخص سطح برگ (۱/۸۲) در کشت ۷۵ درصد کینوا+ ۲۵ درصد ذرت در تیمار شاهد در منطقه میامی مشاهده گردید (شکل ۵- ب).

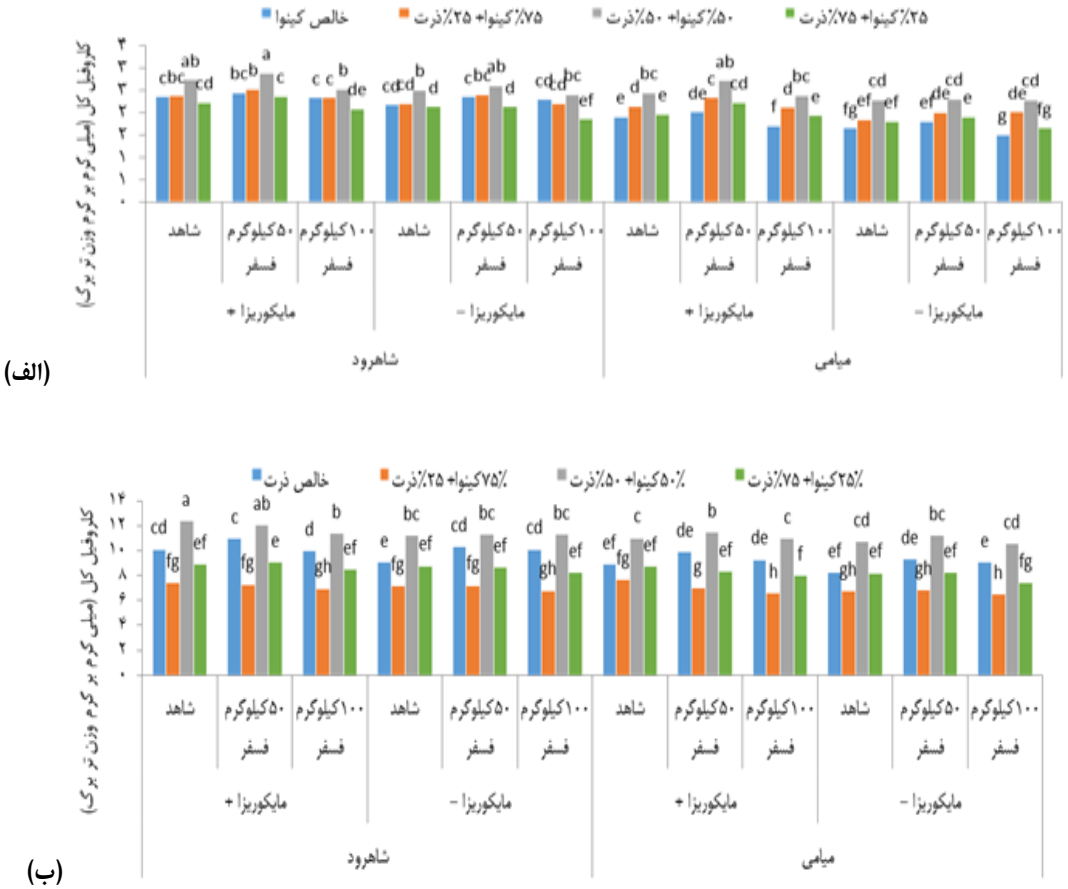


شکل ۵. اثر مکان، آرایش‌کشت، سطوح مختلف کود فسفر و مایکوریزا بر شاخص سطح برگ کینوا (الف) و ذرت (ب)

۴. ۶. کلروفیل کل

براساس نتایج حاصل از پژوهش (جدول ۳) تمامی اثرات ساده و اثرات متقابل به‌جز اثر متقابل مکان× مایکوریزا و اثرات سه‌گانه و اثرات چهارگانه در سطح احتمال یک درصد روی میزان کلروفیل کل کینوا معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان کلروفیل برگ (۲/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در منطقه شاهرود با استفاده مایکوریزا و استفاده از فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار با آرایش‌کشت ۵۰ درصد ذرت+ ۵۰ درصد کینوا مشاهده شد (شکل ۶- الف). براساس نتایج حاصل از پژوهش اثرات ساده مکان و آرایش‌کشت، کود فسفر و مایکوریزا هم‌چنین اثرات متقابل بین فسفر× مایکوریزا، آرایش‌کشت× مکان

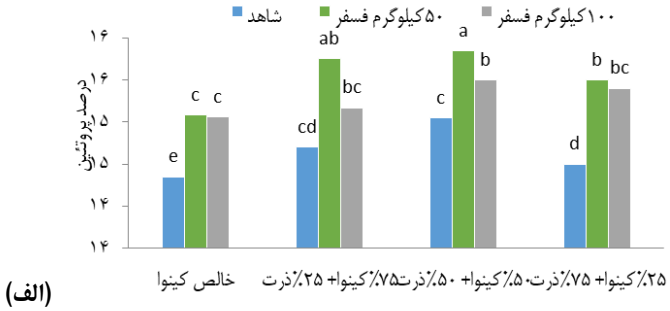
کشت و اثرات سه‌گانه آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا، مکان× آرایش‌کشت× فسفر، مکان× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل مکان× فسفر و اثرات چهارگانه مکان× آرایش‌کشت× فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان کلروفیل برگ (۱۲/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در منطقه شاهرود با مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم فسفر با آرایش‌کشت ۵۰ درصد ذرت+ ۵۰ درصد کینوا مشاهده شد (شکل ۶- ب).



شکل ٦. اثر مکان، آرایش‌کشت، سطوح مختلف کود فسفر و مایکوریزا روی کلروفیل کل کینوا (الف) و ذرت (ب)

۴. ۷. درصد پروتئین

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده مکان، فسفر و مایکوریزا و اثرات متقابل آرایش‌کشت× فسفر و فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۷- الف) بیش‌ترین درصد پروتئین کینوا (۱۵/۸۵) در کشت خالص کینوا و کم‌ترین مقدار پروتئین (۱۴/۷۵) در شاهد و بدون استفاده از میکوریزا مشاهده شد. طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده مکان، آرایش کشت، فسفر و مایکوریزا و اثرات متقابل آرایش‌کشت× مایکوریزا و فسفر× مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌گانه مکان× آرایش‌کشت× مایکوریزا در سطح احتمال پنج درصد روی ذرت معنی‌دار شد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۷- ب) بیش‌ترین مقدار پروتئین (۸/۸۶ درصد) در منطقه میامی و استفاده از مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و کم‌ترین درصد پروتئین (۷/۴۸) در منطقه شاهرود و تیمار بدون استفاده از مایکوریزا و فسفر به‌دست آمد.



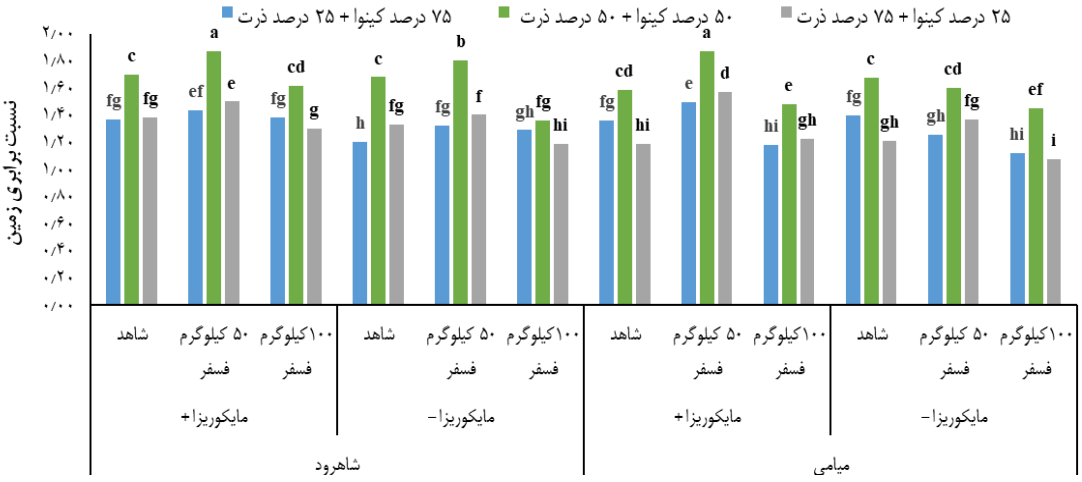
(الف)

(ب)

شکل ۷. اثر مکان، سطوح مختلف کود فسفر و مایکوریزا روی درصد پروتین گیاه کینوا (الف) و ذرت (ب)

۴. ۸. نسبت برابری زمین

محاسبه شاخص نسبت برابری زمین در الگو کشت مخلوط، به‌جهت استفاده حداکثری از سطح زمین دارای اهمیت است. نسبت برابری کل زمین در تمامی تیمارها نسبت برابری زمین گیاه کینوا و ذرت غالب بود. هم‌چنین مقدار نسبت برابر کل زمین در الگوهای کشت مخلوط بیش‌تر از یک بود که نشان‌دهنده برداشت بیش‌تر محصول در مقایسه با آرایش‌کشت خالص است. طبق نتایج جدول مقایسه میانگین (شکل ۸) بیش‌ترین نسبت برابری زمین (۱/۸) در کشت ۵۰ درصد ذرت+ ۵۰ درصد کینوا با کاربرد قارچ مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم فسفر مشاهده شد.



شکل ۸. اثر مکان، سطوح مختلف کود فسفر و مایکوریزا روی نسبت برابری زمین

۵. بحث

در تمام تیمارهایی که از میکوریزا استفاده شد نسبت به تیمارهای بدون استفاده از مایکوریزا، اثربخشی بیش‌تری مشاهده گردید تلقیح با قارچ روی تمامی صفات مورد اندازه‌گیری اثر مثبت و معنی‌داری داشت. افزایش پارامترهای رشدی گیاهان به‌دلیل افزایش قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی از طریق هیف‌های میکوریزا اتفاق می‌افتد. گیاهانی که در معرض قارچ میکوریزا قرار گرفتند سیستم ریشه‌ای گسترده‌تری ایجاد کردند که باعث افزایش قابلیت دسترسی به آب و مواد غذایی به‌ویژه ازت، فسفر و پتاس گردید که نقش مهمی در رشد و بهره‌وری گیاه دارند (Solistono *et al*., 2017).

فتوسنتز یک ویژگی بسیار مهم است که رشد و بقای گیاه و هم‌چنین مقدار کلروفیل را در شرایط محیطی و ادافیکی مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ouhaddou *et al*., 2022). در این بررسی مشخص شد که گیاهان ذرت و کینوا که با قارچ مایکوریزا تلقیح شده بودند، پارامترهای فیزیولوژیکی و رشدی بهبود پیدا کرد. هیف‌های قارچ مایکوریزا باعث افزایش جذب منیزیم شده و در نتیجه آن میزان کلروفیل کل در گیاه کینوا و ذرت افزایش پیدا می‌کند (Benafari *et al*., 2022). افزایش میزان سنتز کلروفیل کل وابسته به جذب کافی مواد معدنی به‌ویژه ازت و منیزیم می‌باشد (Begum *et al*., 2019). استفاده از فسفر به‌دلیل این‌که اثر سینرژیستی با ازت دارد نقش فیزیولوژیکی مهمی در فرایند فتوسنتز دارد. کینوا با درصد پروتئین (۱۸/۹–۱۱/۳ درصد) (Mu *et al*., 2023; Pellegrini *et al*., 2018) دارای پروتئین بالاتر از غلاتی مانند جو، چاودار و ذرت و مشابه گندم (۱۶/۹–۹/۸ درصد) می‌باشد (Wang *et al*., 2020; Ye *et al*., 2018). استفاده از قارچ مایکوریزا میزان پروتئین بذر را در ذرت و کینوا نسبت به تیمارهای شاهد افزایش داد. این افزایش می‌تواند به‌دلیل بهبود صفات بیوشیمیایی از جمله میزان پروتئین بذر باشد بهبود فتوسنتز باعث افزایش سنتز پروتئین شده و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Siddiqui *et al*., 2020).

در شاخص نسبت برابری زمین (LER)[1] برای تعیین اندازه‌گیری مزیت عملکرد استفاده شد. در بیش‌تر تیمارها نسبت برابری زمین بیش از یک بود. این بدان معنی است که کشت خالص هر جز نیاز به درصد بیش‌تری زمین نسبت به کشت مخلوط دارد تا عملکردی برابر ان تولید کند. این مسئله بیانگر کارایی بیش‌تر استفاده از زمین در سیستم کشت مخلوط می‌باشد. در بررسی اثر کشت مخلوط ذرت و ماش نشان داده شد کاشت دو ردیف ذرت تلقیح‌شده با مایکوریزا و یک ردیف ماش باعث افزایش نسبت هم‌ارزی زمین (LER) نسبت به کاشت دوردیف ماش شد که این نشان‌دهنده این است که کاربرد مایکوریزا در کشت مخلوط ذرت و ماش در اقلیم‌های خشک می‌تواند کارایی در کاربرد زمین را بالاتر ببرد (Mao *et al*., 2012). در پژوهشی در بررسی اثر کشت مخلوط کینوا و گوار گزارش شده که بیش‌ترین LER در تیمار دو ردیف کینوا و یک ردیف گوار مشاهده شد (Araghian *et al*., 2022). تفاوت در عمق ریشه‌دهی، گسترش شعاعی ریشه و تراکم طول ریشه از جمله عواملی هستند که بر رقابت دو جزء در کشت مخلوط برای آب و عناصر غذایی تأثیر گذاشته و باعث افزایش کارایی استفاده از زمین (LER) می‌شوند.

Erdogan & Koca (2020) در مطالعه اثرات کشت مخلوط کینوا و ذرت روی خصوصیات کیفی و کمی دو گیاه نشان دادند که در تمامی نسبت‌های کشت در نظر گرفته شده نسبت به سیستم تک‌کشتی روی خصوصیات رشدی و کمی از جمله ارتفاع و میزان کلروفیل هر دو گیاه اثر منفی داشتند، درصورتی‌که نسبت‌های کشت مخلوط روی کیفیت علوفه و خصوصیات کیفی از جمله درصد پروتین اثر مثبتی نشان دادندکه با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت و هم‌خوانی داشت.

افزایش شاخص سطح برگ در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی نیز احتمالاً به‌علت توزیع مطلوب‌تر نور در کانوپی ذرت می‌باشد. حضور کینوا در زیر کانوپی ذرت منجر به جذب تشعشع تفرق‌یافته و منعکس‌شده توسط کانوپی ذرت می‌شود (Rafeii *et al*., 2023) و این موضوع باعث افزایش جذب بیش‌تر نور در کانوپی مخلوط نسبت به خالص در اکثر تیمارهای کشت مخلوط شد.

1. Land Equivalent Ratio

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان دریافت که استفاده از قارچ مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، به‌طور قابل‌توجهی پارامترهای رشدی، میزان عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی هر دو گیاه ذرت و مایکوریزا را نسبت به شاهد و در هر دو مکان موردمطالعه، افزایش داد. از طرف دیگر، این اثرات تحت تأثیر مکان کشت هم قرار گرفت بدین صورت که میزان پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در منطقه میامی نسبت به بسطام به‌دلیل وضعیت اقلیمی و میانگین دمای سالیانه بالاتر، افزایش بیش‌تری نشان داد. بنابراین می‌توان دریافت که اغلب صفات در منطقه میامی دارای مقادیر بیش‌تری نسبت به منطقه بسطام بود. به‌طورکلی استفاده از مایکوریزا و کاربرد فسفر موجب افزایش شاخص‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سیستم کشت مخلوط کینوا- ذرت گردیده است. استفاده از مایکوریزا به‌همراه فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار به افزایش عملکرد و سایر پارامترهای رشدی در هر دو منطقه توصیه شده و کشت مخلوط در این مناطق توجیه اقتصادی داشته و به‌عنوان آرایشی جدید کشت در دو منطقه موردمطالعه، پیشنهاد می‌گردد.

۷. تشکر و قدردانی

از زحمات اساتید و کارکنان دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود که در انجام این مهم یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

بیگلوئی، محمد حسن؛ اسیمی، محمدحسین و جبارزاده، علیرضا (۱۳۸۵). اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد در توتون گرمخانه‌ای. *نشریه علوم زراعی ایران*. ۸ (۲) ،۱۸۴-۲۰۰.

رضائی چیانه، اسماعیل؛ خرم دل، سرور؛ و قره چالی، پریسا (۱۳۹۴). ارزیابی اثر کشت مخلوط تأخیری آفتابگردان و باقلا بر عملکرد و کارایی استفاده از زمین. *به زراعی کشاورزی*. ۱۷ (۱)، ۱۸۳-۱۹۶.

طاوسی، مهرزاد و لطفعلی صحرایی، غلام عباس (۱۳۹۶). *کشت کینوا و نتایج تحقیقات مربوط به آن-کشت پاییزه*. کرج: نشرآموزش، مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی.

علیزاده، خدیجه؛ رضائی چیانه، اسماعیل؛ امیرنیا، رضا و برین، محسن (۱۳۹۸). اثر کاربرد تلفیقی ریزوباکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط بزرک و باقلا بر خصوصیات رشدی و عملکرد دانه. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*. ۱۷ (۱)، ۱۴۰-۱۲۳.

ناصری راد، هوشنگ؛ ناصری، رحیم؛ میرزایی، امیر و زارعی، بتول (۱۴۰۰). بررسی اثر فسفر و میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم دوروم در شرایط دیم. *نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی*. ۳۴ (۳)، ۶۸-۴۳.

References

Araghian, S., Sadrabadi Haghighi, R., Ghasemi, M., & Sohani Darban, A. R. (2022). Yield response and Intercropping Index of Quinoa and Guar medicinal plants to different ratios of intercropping in Mashhad condition. *Crop Production Journal*, *14*(4), 85-104. https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19011.2417.

Alizade, kh., Rezaei Chianeh, A., & Berin, M. (2019). The effect of combined application of growth-promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi in mixed cultivation of lentil and broad bean on growth characteristics and grain yield. Iranian *Agricultural Research Journal*, *17*(1), 123-140. (In Persian).

Benafari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M., & Meddich, A. (2022). The native arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of quinoa. *Plants*, *11*(3), 393. https://doi.org/10.3390/plants11030393.

Begum, N., Ahanger, MA., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N. S. A., Ahmad, P., & Zhang, L. (2019) Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. *Plants*, *8*(12), 579. https://doi.org/10.3390/plants812057.

Biglouie, M. H., Assimi, M. H., & Jabbarzadeh, A. R. (2006). Effect of supplemental irrigation on yield and yield components of flue-cured tobacco. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *8*(2), 184-200. http://agrobreedjournal.ir/article-1-299-fa.html. (In Persian).

Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, *28*(4), 230-8. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012.

Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W. F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., Hawes, C., Iannetta, P. P., Jones, H. G., & Karley, A. J. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, *206*, 107-117. https://doi.org/10.1111/nph.13132.

Daryanto, S., Fu, B., Zhao, W., Wang, S., Jacinthe, P-A., & Wang, L. (2020). Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in Africa. *Agricultural Systems*, *178*, 102761. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102761.

Erdogan, H., & Onur, K. (2020). Effect of Quinoa-Corn Intercropping Production System on Yield and Quality of Mixture Silage. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, *1*(2), 57-65. https://dergipark.org.tr/tr/pub/turkjrfs.

FAO. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations data. Visible at http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC, Accessed October 02, 2020.

Jaitieng, S., Sinma, K., Rungcharoenthong, P., & Amkha, S. (2021). Arbuscular mycorrhiza fungi applications and rock phosphate fertilizers enhance available phosphorus in soil and promote plant immunity in robusta coffee. *Soil Science and Plant Nutrition, 67,* 97-101. https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1848343.

Jannoura, R., Joergensen, R. G., & Bruns, C. (2014). Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. *European Journal of Agronomy, 52,*259-270. http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.001.

Keskin, Ş., & Kaplan E. A. (2015). Use of quinoa in bakery products. *Journal of Field Crops Central Research Institute*, *24*(2), 150-156.

Khaki Najafabadi, A., Jahan, M., Koocheki, A., & Nassiri Mahalat, M. (2017). Effects of intercropping of common millet (*Panicum miliaceum* L.) cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and biological fertilizer inoculation on water and nitrogen use efficiencies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(3), 691-708. https://doi.org/10.22067/gsc.v15i3.52944.

Naserierad, H., Naseri, R., Rmirzaei, A., & Zeraei, B. (2021). Investigating the effect of phosphorus and mycorrhizae on yield and yield components of durum wheat cultivars under dry conditions. *Agricultural Applied Research Journal*, *34*(3), 43-68. https://doi.org/10.22092/aj.2021.342492.1496 . (In Persian).

Mao, L., Zhang, L., Li, W., Werf, W., Sun, J., Spiertzand, H., & Li, L. (2012). Yield Advantage and Water Saving in Maize/ Pea Intercrop. *Field Crops Research*, *138*, 11-20. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.019.

Mu, H., Xue, S., Sun, Q., Shi, J., Zhang, D., Wang, D., & Wei, J. (2023). Research Progress of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa* Wild.): Nutritional Components, Technological Treatment, and Application. *Foods*, *12*(10), 2087. https://doi.org/10.3390/foods12102087.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids, Pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods in Enzymology*, *148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.

Onur, K. (2021). Determination of the grass yield and growth parameters of maize with quinoa intercropping at different plant mixtures. *Turkish Journal of Field Crops*, *26*, 44-53. https://doi.org/10.17557/tjfc.877640.

Ouhaddou, R., Ben-Laouane, R., Lahlali, R., Anli, M., Ikan, C., Boutasknit, A., Slimani, A., Oufdou, K., Baslam, M., Ait Barka, E., & Meddich, A. (2022) Application of indigenous rhizospheric microorganisms and local compost as enhancers of lettuce growth, development, and salt stress tolerance. *Microorganisms, 10*(8), 1625. https://doi.org/10. 3390/microorganisms10081625.

Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2018). Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, *111*, 38-46. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.006.

Rad, S. V.و Valadabadi, S. A. R., Pouryousef, M., Saifzadeh, S., Zakrin, H. R., & Mastinu, A. (2020). Quantitative and qualitative evaluation of Sorghum bicolor L. under intercropping with legumes and different weed control methods. *Horticulturae*, *6*(4), 78. https://doi.org/10.3390/horticulturae6040078.

Rezaei-chiyaneh, E., Khorramdel, S., & Garachali, P. (2015). Evaluation of relay intercropping of sunflower and faba bean on their yield and land use efficiency. *Jounal of crops improvement*, *17*(1), 183-196. https://doi.org/10.22059/jci.2015.54797. (In Persian).

Rodriguez, C., Carlsson, G., Englund, J. E., Flöhr, A., Pelzer, E., Jeuffroy, M. H., Makowski, D., & Jensen, E. S. (2020). Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, *118*, 126077. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126077.

Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., Souche, G., Placella, S. A., & Hinsinger, P. (2014). Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, *75*, 86-93. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.001.

Tavoosi, M., & Lotfali Ayeneh, Gh. A. (2017). *Quinoa cultivation and the results of quinoa. Projects*. Karaj: Agricultural Extension, Education and Research Organization (AREEO), the Agricultural Education Publication. (In Persian).

Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Amossé, C., & David, C. (2016). Effect of spring fertilization on ecosystem services of organic wheat and clover relay intercrops. *European Journal of Agronomy*, *73*, 73-82. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.011.

Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Piquet-Pissaloux, A., Corre-Hellou, G., & David, C. (2018). Intercropping strategies of white clover with organic wheat to improve the trade-off between wheat yield, protein content and the provision of ecological services by white clover. *Field Crops Research*, *224*,160-169. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.05.009.

Wang, X., Zhao, R., & Yuan, W. (2020). Composition and secondary structure of proteins isolated from six different quinoa varieties from China. *Journal of Cereal Science*, *95*, 103036. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103036.

Ye, D., Sun, L., Zou, B., Zhang, Q., Tan, W., & Che, W. (2018). Non-destructive prediction of protein content in wheat using NIRS. *Spectrochemical Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *189*, 463-472. https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.08.055.