

## Effect of mycorrhiza and phosphorus on phytochemical properties and antioxidant activity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in intercropping system

Tayebe Rostami<sup>1</sup>, Hamid Abbasdokht<sup>\*2</sup>, Hassan Makarian<sup>3</sup>,  
Manoochehr Gholipoor<sup>4</sup>, Khalil Karimzadeh Asl<sup>5</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [t.rostami@shahrood.ac.ir](mailto:t.rostami@shahrood.ac.ir)
2. Corresponding Author, Dept. of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [habbasdokht@shahrood.ac.ir](mailto:habbasdokht@shahrood.ac.ir)
3. Dept. of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [h.makarian@shahrood.ac.ir](mailto:h.makarian@shahrood.ac.ir)
4. Dept. of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [m.gholipoor@shahrood.ac.ir](mailto:m.gholipoor@shahrood.ac.ir)
5. Scientific of Medicinal Plants and By-products Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: [karimzadeh@rif.ac.ir](mailto:karimzadeh@rif.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 11.26.2023

Revised: 12.12.2023

Accepted: 12.31.2023

#### Keywords:

Biochemical,  
Biofertilizer,  
Protein,  
Yield

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** From a practical perspective, I have the goals of making use of this agricultural system, as well as innovation and creativity. I don't know how to manage it in my refrigerator. An appropriate hater aimed at achieving these goals, there are no more queues being generated over time and place. On the other hand, you can use a fixed code on a closed road and a bank teller, which you can use to make a change and change the features of different types of data. This research was conducted to investigate mycorrhiza and phosphorus fertilizer on some phytochemical and growth characteristics of quinoa under mixed cultivation conditions using replacement method.

**Materials and Methods:** A complete randomized block design 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 planting ratios: pure quinoa cultivation, 75% quinoa + 25% corn, 50% quinoa + 50% corn, 25% quinoa + 75% corn, and pure corn. The first factor was combined with three levels of phosphorus treatment (zero, 50, and 100 kg/ha) as the second factor. Mycorrhiza application was considered as the third factor, with two levels: inoculated and control.

**Results:** The results demonstrated this experiment; the highest yield of quinoa seed (2604.1 kg/ha) was observed in the Miami region with the application of 50 kg phosphorus/ha and the lowest yield of quinoa seed (1971.3 kg/ha) was observed in the Myamai region in the treatment of 100 kg phosphorus. And the highest percentage of quinoa protein (15.85) was observed in the pure culture of quinoa and the lowest amount of protein (14.75) was observed in the control and without the use of mycorrhiza. Also, the highest amounts of flavonoids (66.80 mg/g) and antioxidant activity (79.85%) of quinoa in mixed culture ratio 50:50 treated with mycorrhiza was obtained. and the highest amount of fatty acid (15.8%) was observed in Treatments of 50% quinoa and 50 kg phosphorus per hectare in

---

Miami region and the lowest fatty acid (8.68%) was obtained in the treatment of 25% quinoa + 75% corn and 100 kg phosphorus per hectare in Shahrood region. The maximum height of the plant with an average (81.3 cm) with the use of mycorrhiza and the use of 50 kg of phosphorus per hectare and the lowest height of the plant (56.3 cm) in the treatment of not using mycorrhiza and without the use of phosphorus Obtained.

**Conclusion:** According to the results of this research, the intercropping system using phosphorus fertilizer and mycorrhiza had a positive effect on the phytochemical and antioxidant properties of quinoa.

---

Cite this article: Rostami, Tayebe, Abbasdokht, Hamid, Makarian, Hassan, Gholipoor, Manoochehr, Karimzadeh Asl, Khalil. 2025. Effect of mycorrhiza and phosphorus on phytochemical properties and antioxidant activity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in intercropping system. *Journal of Plant Production Research*, 31 (4), 69-88.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2023.21943.3096

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## تأثیر مایکوریزا و فسفر بر خصوصیات فیتوشیمیایی و فعالیت ضداکسایشی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در سیستم کشت مخلوط

طیبه رستمی<sup>۱</sup>، حمید عباسدخت<sup>۲\*</sup>، حسن مکاریان<sup>۳</sup>، منوچهر قلی‌پور<sup>۴</sup>، خلیل کریم‌زاده اصل<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [t.rostami@shahrood.ac.ir](mailto:t.rostami@shahrood.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [habbasdokht@shahroodut.ac.ir](mailto:habbasdokht@shahroodut.ac.ir)
۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [h.makarian@shahroodut.ac.ir](mailto:h.makarian@shahroodut.ac.ir)
۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [m.gholipoor@shahroodut.ac.ir](mailto:m.gholipoor@shahroodut.ac.ir)
۵. گروه گیاهان دارویی و فرآورده‌های جانبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، ایران. رایانامه: [karimzadeh@riff-ac.ir](mailto:karimzadeh@riff-ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: به‌منظور دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار استفاده از سیستم‌های زراعی کم‌نهاد و ابداع شیوه‌های نوین مدیریت بهره‌برداری، کاربرد کودهای زیستی به همراه کشت مخلوط از جمله راهکارهای مناسب جهت نیل به این اهداف می‌باشد، که می‌تواند تولیدات کشاورزی را در بعد مکانی و زمانی افزایش دهند. از طرف دیگر، استفاده از کودهای زیستی از طریق بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، منجر به بهبود عملکرد و افزایش خواص کیفی گیاهان مختلف می‌گردد. این پژوهش به‌منظور بررسی کود زیستی همراه با کود فسفر بر برخی صفات فیتوشیمیایی و رشدی کینوا در شرایط کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد.
واژه‌های کلیدی: بیوشیمیایی، پروتئین، کود زیستی، عملکرد	مواد و روش‌ها: آزمایش در دو مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود در شهرستان‌های شاهرود و میامی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار 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 کشت خالص ذرت به‌عنوان فاکتور اول و تیمار فسفر در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان فاکتور دوم و مایکوریزا در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که خصوصیات فیتوشیمیایی و ضداکسایشی کینوا تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و هم‌چنین استفاده از مایکوریزا و غلظت‌های مختلف فسفر قرار گرفت.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج حاصل از آزمایش بالاترین عملکرد دانه کینوا (۲۶۰۴/۱) کیلوگرم 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 و بیش‌ترین درصد پروتئین کینوا (۱۵/۸۵) در کشت خالص کینوا و کم‌ترین مقدار پروتئین (۱۴/۷۵) درصد) در شاهد و بدون استفاده از میکوریزا مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار فلاونوئیدها (۶۶/۸۰ میلی‌گرم بر گرم) و فعالیت ضداکسایشی (۷۹/۸۵ درصد) کینوا در نسبت کشت مخلوط ۵۰ درصد تیمار شده با میکوریزا مشاهده گردید و بیش‌ترین میزان اسید چرب (۱۵/۸) درصد) در تیمارهای ۵۰ درصد کینوا و فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار در منطقه میامی و کم‌ترین اسید چرب (۸/۶۸) درصد) در تیمار ۲۵ درصد کینوا + ۷۵ درصد ذرت و فسفر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در منطقه شاهرود به‌دست آمد. بیش‌ترین ارتفاع بوته با میانگین (۸۱/۳) سانتی‌متر) با کاربرد میکوریزا و استفاده از فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین ارتفاع بوته (۵۶/۳) سانتی‌متر)، در تیمار عدم استفاده از میکوریزا و بدون استفاده از فسفر به‌دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، سیستم کشت مخلوط با استفاده از کود فسفر و میکوریزا روی صفات فیتوشیمیایی و ضداکسایشی کینوا تأثیر مثبت داشته است.

**استناد:** رستمی، طیبیه، عباسدخت، حمید، مکاریان، حسن، قلی‌پور، منوچهر، کریم‌زاده اصل، خلیل (۱۴۰۳). تأثیر میکوریزا و فسفر بر خصوصیات فیتوشیمیایی و فعالیت ضداکسایشی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در سیستم کشت مخلوط. نشریه

پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۱ (۴)، ۸۸-۶۹.

DOI: 10.22069/JOPP.2023.21943.3096



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

افزایش جمعیت جهان و تخریب منابع طبیعی و به دنبال آن نیاز مبرم به افزایش تولیدات غذایی از مشکلات اساسی دنیای امروز به شمار می‌روند. این امر منجر به ایجاد فشار روی منابع طبیعی گردیده است و پایداری سیستم‌های کشاورزی را تهدید می‌کند. به همین علت، بازنگری در شیوه‌های رایج کشاورزی و شیوه‌های مربوط به استفاده بیش‌تر از زمین و افزایش عملکرد بیش از پیش باید مورد توجه قرار گیرد (۱). از این‌رو استفاده از کشت مخلوط راهکار مناسبی برای افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی بوده و در بهبود و کیفیت و افزایش امنیت غذایی نقش مؤثری دارد (۲). گیاه کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa Willd.*)، جزء شبه غلات بوده و بومی کوه‌های آند در آمریکای جنوبی می‌باشد. گیاهی یک‌ساله، دولبه، آلوتتراپلوئید ( $2n=4x=36$ ) و خودگرده‌افشان از خانواده تاج‌خروسیان و زیرخانواده اسفناجیان می‌باشد (۳) دانه‌های کینوا یک ماده غذایی بسیار ارزشمند با کربوهیدرات بالا، پروتئین با کیفیت، چربی، فیبر و حاوی انواع ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد (۴). کینوا یک منبع غذایی مهم جهت مصرف انسان می‌باشد که علاوه بر ارزش خوراکی و دارویی از ارزش صنعتی بسیار بالایی نیز برخوردار است. در مواجهه با تغییرات آب و هوا، شوری خاک و افزایش جمعیت جهان؛ پژوهش و توسعه رویکردهای مؤثر برای تولید محصولات غذایی تحمل به تنش با کیفیت غذایی بالا از اهمیت بالایی برخوردار است (۵). بنابراین انتخاب محصولاتی که نیاز به نهاده کم‌تری داشته باشند ولی پاسخگوی کمبود مواد غذایی باشند بسیار مهم است. تغییرات آب و هوایی همراه با افزایش جمعیت جهان، مستلزم کشت گیاهانی که نیاز کم‌تر به نهاده مصرفی داشته و متحمل به تنش‌های

مختلف زیستی و غیرزیستی باشد (۶). تعداد کشورهای که در حال کشت و کار کینوا هستند از ۸ کشور در سال ۱۹۸۰ به ۷۵ کشور در سال ۲۰۱۴ افزایش یافت و با ۲۰ کشور دیگری که برای اولین بار در سال ۲۰۱۵ کینوا کشت کردند در مجموع امروزه کینوا در ۹۵ کشور مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (۷). کینوا تنها گیاهی است که کل آمینواسیدهای ضروری بدن را تأمین می‌کند. بذر این گیاه غنی از پروتئین است. در بین تمام محصولات دانه‌ای غذایی کینوا تنها گیاهی است که دارای اسید آمینه‌های متعادل طبیعی در پروتئین خود می‌باشد (۸). میزان پروتئین بذر این گیاه بین ۸/۱۳ تا ۹/۲۱ درصد متغیر است (۹). کودهای زیستی حاوی مواد نگه‌دارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند نوع ارگانیزم مفید خاکری و یا به‌صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند که به‌منظور بهبود حاصل‌خیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۰) که در این بین می‌توان به قارچ‌های مایکوریزایی و میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات اشاره کرد. قارچ‌های مایکوریزایی دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود در روند رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (۱۱). قارچ مایکوریزا از مهم‌ترین عوامل همزیست اجباری ریشه گیاه به شمار رفته و تقریباً با ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند. به دلیل پراکنش جهانی این قارچ و نیز ارتباط گسترده آن‌ها با گیاهان، تعاملات مایکوریزایی از فراوان‌ترین روابط همزیستی موجود در طبیعت محسوب

### مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف ارزیابی کاربرد مایکوریزا و غلظت‌های مختلف فسفر بر کشت مخلوط ذرت و کینوا به روش 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 به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. مشخصات خاک و هم‌چنین مشخصات جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

می‌گردند (۱۲). همزیستی این قارچ با ریشه گیاهان میزبان و تشکیل سیستم مایکوریزایی، نقش مهمی در حاصل‌خیزی و پایداری اکوسیستم خاک دارد (۱۳). مهم‌ترین نقش قارچ‌های مایکوریز عبارت است از: افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای گیاهان (۱۴)، افزایش فتوسنتز (۱۵)، افزایش کارایی مصرف آب در گیاه میزبان می‌شود (۱۶). این پژوهش به منظور بررسی کود زیستی همراه با کود فسفر بر برخی صفات فیتوشیمیایی و رشدی کینوا در شرایط کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک.

Table 1. Some physicochemical characteristics of the soil.

فسفر P (ppm)	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (%)	کربن C (%)	EC (ds/m)	pH -	بافت خاک Soil texture	منطقه کاشت Region
19	0.04	149	0.4	0.41	8.30	لومی-سیلتی Loam-silti	شاهرود Shahrood
33.16	0.08	339	0.189	3.25	7.75	سیلتی-لومی Silti-loam	میامی Mayamai

جدول ۲- مختصات جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه.

Table 2. Geographical and climatic characteristics of experiment locations.

ماکسیمم دمای سالانه Maximum temperature (°C)	مینیمم دمای سالانه Minimum temperature (°C)	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	طول جغرافیایی latitude	عرض جغرافیایی Longitude	منطقه Region
41.68	20.80	1420	54.58	35.36	شاهرود Shahrood
45.66	19.72	1025	55.65	36.41	میامی Mayamai

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.

تعداد کرت‌های آزمایشی ۹۰ کرت و ابعاد هر کرت آزمایشی ۲×۳ مترمربع با ۴ ردیف تعیین شد. فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و عمق کاشت در ذرت و کینوا به ترتیب ۵ و ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. الگوی کشت در

کاهش در جذب طی ۱ دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای سنجش فعالیت کاتالاز از ضریب خاموشی ( $0.043 \text{ Mm}^{-1} \text{ Cm}^{-1}$ ) استفاده شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس روش هالی (۱۹۷۲) اندازه‌گیری شد (۱۹). بدین منظور ابتدا ۲ میلی‌لیتر تامپون استات ۰/۲ مولار با  $\text{pH}=5$ ، ۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۰/۳ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر بنزیدین ۰/۰۲ مولار محلول در متانول ۵۰ درصد، در حمام یخ مخلوط شدند، سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی برگ به این مخلوط واکنش اضافه و منحنی جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در دمای اتاق، هر ۳۰ ثانیه به مدت ۳ دقیقه در طول موج ۵۳۰ نانومتر رسم شد. واحد آنزیم به‌ازای  $\mu\text{mol ml}^{-2} \text{H}_2\text{O}_2$  تجزیه شده در هر دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعریف شد و با کمک منحنی استاندارد فعالیت ویژه آنزیم برحسب تغییرات واحد آنزیم در دقیقه به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه گردید. برای سنجش فعالیت پراکسیداز از ضریب خاموشی ( $6/26 \text{ Mm}^{-1} \text{ Cm}^{-1}$ ) استفاده شد.

برای ارزیابی مقدار فلاونوئیدهای کل (TF) از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم اصلاح شده توسط رابرتز و مورآوا (۲۰۰۸) استفاده شد (۲۰). ابتدا ۰/۰۵ گرم از نمونه در ۱/۶ میلی‌لیتر متانول ۵۰ درصد به مدت ۱ ساعت سونیکاسیون شد و سپس در نوسانگر حمام آب ترموستاتیک در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۱۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه انکوباسیون شد. سپس مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و مایع رویی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. در یک لوله آزمایش، ۲ میلی‌لیتر از محلول استخراج شده با ۱ میلی‌لیتر  $\text{NaNO}_2$  ۵ درصد ترکیب شد و به مدت ۶ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد

بذر کینوا رقم تی تی کاکا<sup>۱</sup> 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 تهران تهیه شد.

استخراج آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بر اساس روش‌های اصلاح شده توسط گونگ (۲۰۰۸) انجام شد (۱۷). در مجموع ۰/۲ گرم از بافت گیاهی با محلول عصاره، که شامل ۱۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ( $\text{pH}=6/8$ )، ۲۰ میکرولیتر ۰/۱ مولار EDTA و ۳۸۰ میکرولیتر آب مقطر بود، همگن شد. سپس محلول در ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد و از فاز بالایی عصاره برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با استفاده از روش اسپکتروفتومتری پیشنهاد شده توسط ابی (۱۹۸۴) تعیین شد (۱۸). پس از تهیه عصاره آنزیمی، یک سنجش سینتیکی برای فعالیت کاتالاز با مخلوط کردن ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ( $\text{pH}=7$ ) و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳ درصد در حمام یخ انجام شد. بلافاصله پس از آن، ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی اضافه شد و تغییر در جذب در ۲۴۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر ثبت شد. فعالیت به صورت میلی‌مول  $\text{H}_2\text{O}_2$  تجزیه شده در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم وزن برگ تازه ( $\text{U mg}^{-1}$  وزن تر برگ) بیان شد.

اندازه‌گیری کاتالاز به روش ابی (۱۹۸۴) انجام شد (۱۸). مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار ( $\text{pH}=7$ ) شامل ۰/۲ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱ درصد و ۰/۳ میلی‌لیتر عصاره استخراجی بود. سپس فعالیت آنزیم کاتالاز به صورت

از نمونه را ابتدا وزن کرده و سپس درون لوله هضم ریخته شد. در ادامه میزان ۱/۱ گرم از کاتالیزور به همراه ۵ میلی‌لیتر از اسید سولفوریک غلیظ به لوله اضافه کرده و این محتویات را درون دستگاه هضم به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. در این مرحله حرارت ایجاد شده باعث سریع‌تر شدن عمل هضم می‌شود. و پس از سرد شدن این محتویات مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از سود ۱۰ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر از محلول اسید بوریک را به لوله اضافه کرده و در نهایت با استفاده از دستگاه کجدال، میزان نیتروژن موجود در نمونه گیاهی استخراج شد. در نهایت با قرار دادن میزان اسید سولفوریک مصرفی و میلی‌گرم وزن نمونه، میزان نیتروژن موجود در نمونه تعیین شد.

تکان داده شد. سپس ۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد به لوله آزمایش اضافه شد و تکان داده شد و سپس ۵ میلی‌لیتر ۱ NaOH مولار با تکان دادن بیش‌تر انجام شد. جذب مایع واکنش در طول موج ۵۱۰ نانومتر، با استفاده از متانول ۵۰ درصد به عنوان بلانک اندازه‌گیری شد. غلظت TF با استفاده از منحنی کالیبراسیون  $(R^2=0.999, y=0.326x + 0.0046)$  تهیه شده با کاتکول از Sigma Chemicals به عنوان استاندارد تعیین شد.

برای سنجش پروتئین 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

$$(1) \quad (\text{میلی‌گرم وزن نمونه} \times 1000) / (1000 \times 50 \times 14 \times \text{نرمالیتت اسید} \times \text{حجم اسید مصرفی}) = \text{درصد نیتروژن نمونه}$$

به دست آمد.

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

$$(2) \quad \text{درصد نیتروژن نمونه} \times \text{ضریب تبیین ازت به پروتئین} = \text{درصد پروتئین}$$

از مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد بدین صورت 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 فسفر مشاهده شد (شکل ۱). افزایش پارامترهای رشدی گیاهان به دلیل 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 (۲۱).

استخراج اسید چرب با استفاده از روش سوکسله با حلال ان-هگزان صورت گرفت.

جهت تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید و هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) انجام شد. رسم نمودارها در اکسل صورت گرفت.

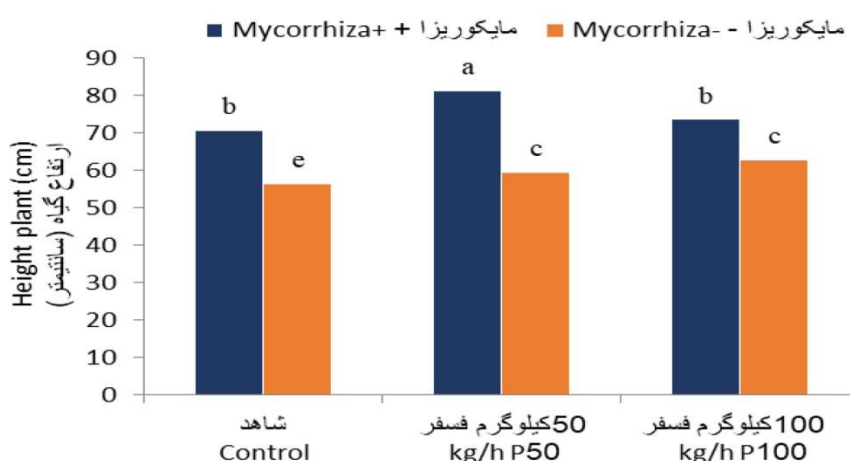
### نتایج و بحث

**ارتفاع بوته:** نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر مکان، آرایش کشت، غلظت‌های مختلف فسفر و استفاده از مایکوریزا و اثر متقابل فسفر  $\times$  مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد روی ارتفاع کینوا معنی‌دار شد. بر اساس نتایج حاصل



جدول ۳- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات فیتوشیمیایی و مورفولوژی کینوا.

Table 3. Results of analysis of variance (mean squares) of phytochemical characteristics and morphology of quinoa.										
ارتفاع بوته	عملکرد	درصد پروتئین	فلاونوید	آنتی اکسیدان	اسید چرب	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز	درجه آزادی	منبع تغییرات
Height	Yield	Protein Percentage	Flavonoid	Antioxidant	Fatty acid	SOD	POX	CAT	DF	S.O.V
3645.20**	1083.50 <sup>ns</sup>	14.1125**	1266.76**	24.2474**	1.46006**	0.2554**	1.0254**	0.3458**	1	Location (L)
6.64749 <sup>ns</sup>	240727 <sup>ns</sup>	0.121625 <sup>ns</sup>	5.0238 <sup>ns</sup>	5.79652 <sup>ns</sup>	0.011597 <sup>ns</sup>	0.01142 <sup>ns</sup>	1.03546 <sup>ns</sup>	4.2584 <sup>ns</sup>	4	Error <sub>1</sub>
11092.5**	114410 <sup>ns</sup>	0.157964 <sup>ns</sup>	337.796**	3041.185**	2.62636**	56.2415*	16.258*	68.364*	3	Intercropping (I)
901.910**	1539037**	8.21579**	186.276**	140.1577**	0.935833**	132.045**	150.471**	168.442**	2	Phosphorus (P)
8822.84**	1179577**	6.56213**	241.543**	74.4625**	0.293402**	82.1254**	15.352**	20.3654**	1	Mycorrhizal (M)
32.7268 <sup>ns</sup>	60853.5 <sup>ns</sup>	1.73569**	58.7374**	115.2230**	0.089907**	125.4320**	12.235112*	0.42517**	6	I* P
6.43175 <sup>ns</sup>	7003.17 <sup>ns</sup>	0.114165 <sup>ns</sup>	1.5408 <sup>ns</sup>	41.9981**	0.271180**	52.8811**	12.41256 <sup>ns</sup>	0.54213**	3	I* M
72.9539**	705779**	2.47183**	14.050*	69.6913**	0.054444 <sup>ns</sup>	57.56941**	65.1402**	0.10254 <sup>ns</sup>	2	P* M
27.4371 <sup>ns</sup>	14019.4 <sup>ns</sup>	2.47183 <sup>ns</sup>	15.9733**	72.2031**	0.021111 <sup>ns</sup>	78.0014**	42.12534**	0.103265 <sup>ns</sup>	6	I* P * M
0.03220 <sup>ns</sup>	29738.7 <sup>ns</sup>	0.096457 <sup>ns</sup>	318.157**	0.297693 <sup>ns</sup>	0.020069 <sup>ns</sup>	0.00235 <sup>ns</sup>	0.498055**	0.103254 <sup>ns</sup>	3	L*I
48.2674 <sup>ns</sup>	22562.6 <sup>ns</sup>	0.0161459 <sup>ns</sup>	81.4813**	0.16806 <sup>ns</sup>	0.007777 <sup>ns</sup>	0.11025 <sup>ns</sup>	0.01425 <sup>ns</sup>	0.120540 <sup>ns</sup>	2	L*P
2.6623 <sup>ns</sup>	13321 <sup>ns</sup>	0.042025 <sup>ns</sup>	10.4006 <sup>ns</sup>	0.432306 <sup>ns</sup>	0.225625**	0.341520 <sup>ns</sup>	0.054210 <sup>ns</sup>	0.225625**	1	L*M
25.1271 <sup>ns</sup>	53248.6 <sup>ns</sup>	0.015038 <sup>ns</sup>	43.0471**	0.151063 <sup>ns</sup>	0.071111*	0.124785 <sup>ns</sup>	0.314520*	0.412560*	6	L*I*P
8.1862 <sup>ns</sup>	27457.1 <sup>ns</sup>	0.029931 <sup>ns</sup>	31.109**	0.415986 <sup>ns</sup>	0.127476**	0.51234 <sup>ns</sup>	0.11305 <sup>ns</sup>	0.06254**	3	L*I*M
11.6395 <sup>ns</sup>	13072.8*	0.056168 <sup>ns</sup>	18.5527**	0.164390 <sup>ns</sup>	0.025833 <sup>ns</sup>	0.02548 <sup>ns</sup>	0.03741 <sup>ns</sup>	0.01025 <sup>ns</sup>	2	L*P*M
7.97915 <sup>ns</sup>	77155.7 <sup>ns</sup>	0.062525 <sup>ns</sup>	12.6781**	0.085294 <sup>ns</sup>	0.027685 <sup>ns</sup>	0.12540 <sup>ns</sup>	0.1427 <sup>ns</sup>	0.15230 <sup>ns</sup>	6	L*I*P*M
15.0068	50427.4	0.061846	2.94490	6.95754	0.023988	0.00254	0.12540	0.15234	92	Error: MS (Error)
5.747	10.511	1.637	3.04	4.21	4.90	7.25	6.12	5.82		CV



شکل ۱- اثر فسفر و مایکوریزا بر ارتفاع بوته.

Fig. 1. The Effect of phosphorus and mycorrhiza on plant height.

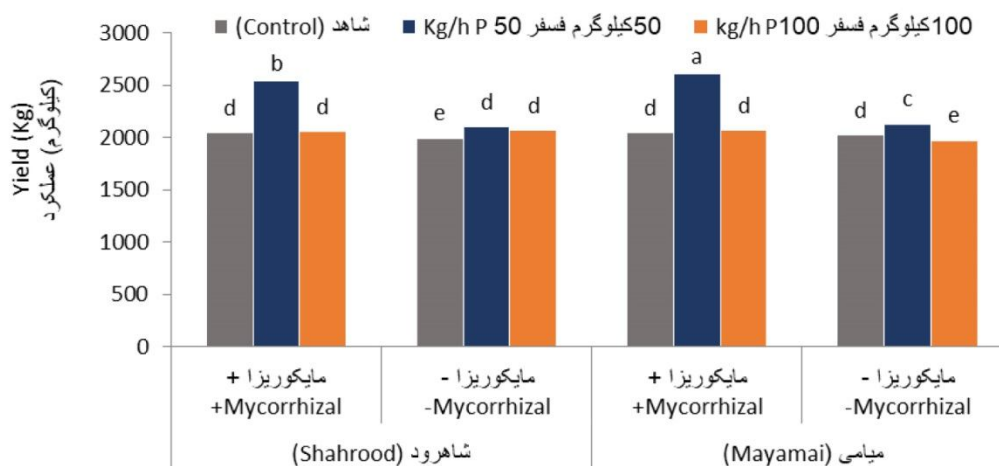
عملکرد دانه: براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر مکان، آرایش کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر متقابل فسفر × مایکوریزا، روی عملکرد گیاه کینوا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۲) تیمارها و متغیرهای مختلف مورد استفاده در این آزمایش، اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نشان دادند. بالاترین عملکرد دانه کینوا (۱/۲۶۰۴ کیلوگرم در هکتار) در منطقه میامی با کاربرد ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و کم‌ترین عملکرد دانه کینوا (۳/۱۹۷۱ کیلوگرم در هکتار) در منطقه میامی در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم فسفر مشاهده گردید. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۲) تیمارها و متغیرهای مختلف مورد استفاده در این آزمایش، اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نشان دادند.

اردوغان و همکاران (۲۰۲۰)، در نتایج حاصل از پژوهش‌های خود مبنی بر کشت مخلوط ذرت با کینوا بیان کردند که ذرت اثرات نامطلوب جدی بر روی عملکرد کینوا در طول رشد گیاه دارد و برعکس. هیچ‌یک از تیمارهای مخلوط (۲۵، ۵۰ یا ۷۵ درصد کینوا) با گیاه کینوا به اندازه ۱۰۰ درصد ذرت، عملکرد

علف سبز و خشک بالایی را نشان ندادند (۲۲). عملکرد بالای کینوا در منطقه میامی نسبت به منطقه بسطام می‌تواند به دلیل میانگین دمای بالاتر منطقه میامی نسبت به شاهرود باشد (جدول ۲). دمای مطلوب در طول دوره رشد و نمو گیاه منجر به جوانه‌زنی زودهنگام، سریع و یکنواخت بذر شده و در نتیجه باعث سبز شدن مطلوب و رشد اولیه سریع در گیاهان می‌گردد و این امر خود باعث تابش بیشتر خورشید و برگ بیشتر شده و در نهایت، نرخ رشد و تجمع مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد (۲۳). سرعت فتوسنتز گیاه کینوا در دمای بالاتر بیشتر می‌شود. کینوا در برابر دماهای بالا انعطاف‌پذیری بالایی دارد (۲۴). در مطالعه ما نتایج استفاده از مایکوریزا و فسفر با پژوهش‌های بنافیری و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی کینوا با استفاده از قارچ مایکوریزا، مطابقت و هم‌خوانی داشت (۲۵). در مطالعه ماتور و جاجو (۲۰۲۰) مشخص شد که تلقیح با مایکوریزا به گیاهان کمک می‌کند تا یک پارچگی و پایداری PSI و PSII را تحت تنش غیرزیستی حفظ کنند. هیف‌های قارچ آربوسکولار مایکوریزا احتمالاً جذب منیزیم را افزایش می‌دهند (۲۶)، که می‌تواند

و نیتروژن مرتبط است (۲۷). علاوه بر این، فسفر با نیتروژن اثر هم‌افزایی داشته و در نتیجه باعث افزایش عملکرد و رشد گیاه می‌شود (۲۸).

محتوای کلروفیل کل را در گیاهان کینوا افزایش دهد (۲۵). برخی از مطالعات نشان دادند که بهبود سنتز کلروفیل با جذب کافی عناصر معدنی، به ویژه منیزیم



شکل ۲- اثر فسفر و مایکوریزا بر عملکرد دانه.

Fig. 2. The effect of phosphorus and mycorrhiza on grain yield.

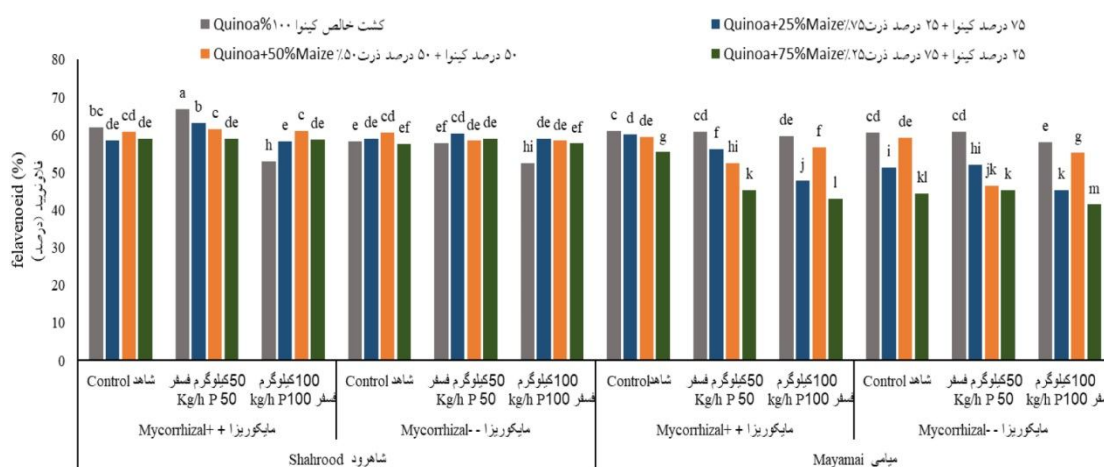
افزایش دسترسی و جذب مواد مغذی از طریق هیف‌های میکوریزا رخ می‌دهد. فلاونوئیدها ترکیباتی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا (۲۹) بوده که بیوسنتز آن‌ها را می‌تواند توسط فلاونوئیدهای درون‌زا و برون‌زا و در دوزهای مختلف، بر انتقال اکسین در ریشه تأثیرگذار باشد و در شرایط تنش باعث رشد ریشه‌های جانبی و در نتیجه افزایش جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی گردند (۳۰).

تلقیح با قارچ مایکوریزا (AMF) هم به‌طور مستقیم با افزایش جذب آب و مواد مغذی و هم‌چنین بهبود ظرفیت فتوسنتز در گیاه و در نتیجه باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه شده و هم به‌طور غیرمستقیم با تحریک مسیرهای بیوسنتزی از طریق تغییر در غلظت‌های فیتوهورمونی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه می‌گردد (۳۱). به گفته بولز و همکاران (۲۰۱۶)، قارچ‌های مایکوریزا آرباسکولار

فلاونوئید: همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) مشاهده می‌شود، تمامی تیمارهای مورد استفاده بر روی فلاونوئیدهای موجود در برگ کینوا اثر معنی‌داری داشتند. بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیش‌ترین میزان فلاونوئید (۶۶/۸۰ میلی‌گرم در گرم) در تیمار کشت ۱۰۰ درصد کینوا و تلقیح با قارچ میکوریزا و ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در منطقه میامی به‌دست آمد. کم‌ترین میزان فلاونوئید (۴۱/۵ میلی‌گرم در گرم) در نسبت کاشت ۲۵ درصد کینوا + ۷۵ درصد ذرت بدون تلقیح با قارچ مایکوریزا و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در منطقه شاهرود به دست آمد. همه تیمارهای میکوریزا مؤثرتر از تیمارهای بدون تلقیح میکوریزا بودند. مقدار کم فلاونوئیدها در منطقه شاهرود در نسبت کشت ۲۵ درصد کینوا و ۷۵ درصد ذرت می‌تواند به دلیل شرایط اقلیمی و خاکی این منطقه باشد. افزایش متابولیت ثانویه به‌دلیل

بیوشیمیایی و تسهیل در مسیرهای بیوستزی باشد (۲۵). در مطالعه صورت گرفته روی گیاه ارزن مشخص شد، تلقیح با قارچ میکوریزا آرباسکولار باعث افزایش محتوای متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیبات فنلی و فلاونوئید در این گیاه شد (۳۴). در مطالعات صورت گرفته، AMF به‌طور قابل‌توجهی غلظت آنتوسیانین و فلاونوئید کل را در برگ‌های یونجه (*Medicago truncatula*) افزایش داد (۳۵). با این‌حال، این اثرات میکوریزی را می‌توان تا حدی به وضعیت بهبود یافته فسفر (P) نسبت داد (۳۶). در پژوهشی در کشت مخلوط سویا- آویشن پس از تلقیح با AMF به‌طور معنی‌داری میزان متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس در آویشن را افزایش داد (۳۱).

جذب مواد مغذی به ویژه نیتروژن و فسفر را بهبود بخشیدند که با افزایش فعالیت آنزیمی همراه است و منجر به افزایش سنتز متابولیت‌های اولیه و ثانویه می‌شود (۳۲). گیاهانی که در معرض قارچ‌های میکوریزی قرار گرفتند، سیستم ریشه‌ای وسیع‌تری ایجاد کردند که دسترسی به آب و مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاس را افزایش داد که این عناصر نقش مهمی در رشد و نمو گیاه دارند (۳۳). هیف‌های میکوریزی باعث افزایش جذب منیزیم شده و در نتیجه مقدار فلاونوئید در کینوا افزایش می‌یابد (۲۵). عنصر فسفر به‌دلیل اثر هم‌افزایی با ازت، نقش مهمی در مسیر بیوستزی ترکیبات فیتوشیمیایی دارد. نتایج ما نشان داد که استفاده از قارچ‌های میکوریزا باعث افزایش میزان متابولیت ثانویه در کینوا نسبت به تیمار شاهد شد. این افزایش می‌تواند به دلیل بهبود ترکیبات



شکل ۳- اثر سطوح کشت، فسفر و میکوریزا بر فلاونوئید.

Fig. 3. The effect of cropping ratio, phosphorus and mycorrhiza on flavonoids.

کود فسفر و نسبت کشت × مکان × میکوریزا اثر معنی‌داری روی میزان اسید چرب نشان دادند (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیش‌ترین میزان اسید چرب (۱۵/۸ درصد) در تیمارهای ۵۰ درصد کینوا و فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار در منطقه

اسید چرب: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ساده تیمارهای نسبت کشت، مکان، کود فسفر و میکوریزا و همچنین اثر برهمکنش‌های دوگانه نسبت کشت × کود فسفر، نسبت کشت × میکوریزا، مکان × میکوریزا و اثرهای سه‌گانه نسبت کشت × مکان ×

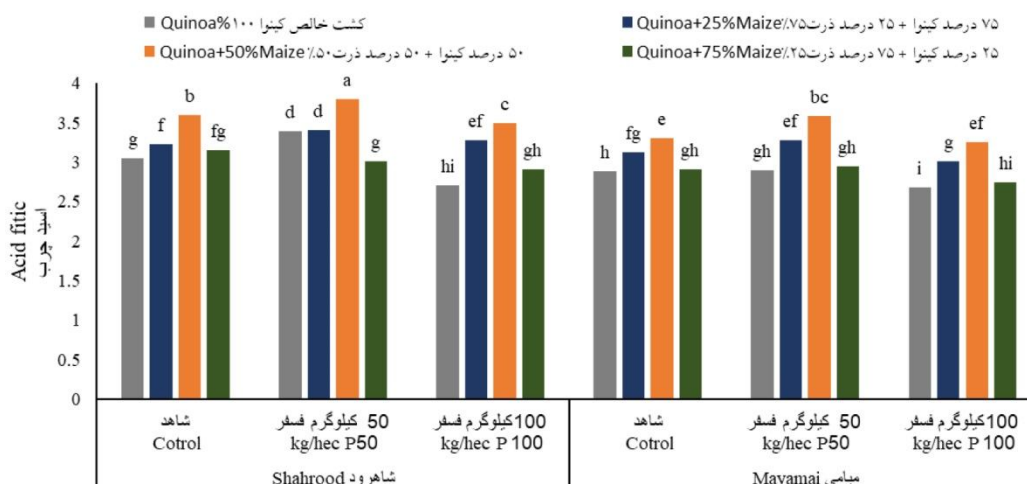
کینوا را مورد بررسی قرار داده و بیشترین میزان اسید چرب (۱۰/۸ درصد) را در رقم Sajama گزارش دادند (۴۳).

مطالعات دیگر اثرات مثبت سیستم‌های کشت مخلوط را بر در دسترس بودن مواد مغذی گیاه، بهره‌وری روغن و کیفیت روغن گزارش کرده‌اند. رضایی چپانه و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که نسبت کشت ۵۰ درصد در کشت مخلوط زیره سیاه با شنبلیله با استفاده از کود زیستی، دارای بالاترین درصد اسانس زیره سیاه به دلیل افزایش جذب مواد مغذی بود (۴۴). هم‌چنین رضاپور و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که کاربرد ترکیبی فسفر و مایکوریزا باعث افزایش سنتز اسیدهای چرب در بادام‌زمینی شد (۴۵). در مطالعه مشابهی، پژوهش‌گران نشان دادند که استفاده از کود شیمیایی فسفر و کود بیولوژیک باعث افزایش عملکرد روغن در گلرنگ شد (۴۶). سنتز روغن نسبت به سایر ترکیبات مورد مطالعه در این پژوهش به انرژی بیشتری نیاز دارد. به همین دلیل استفاده از میکوریزا با افزایش در دسترس بودن و جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه انرژی بیشتری برای انجام این فرآیندها فراهم می‌کند. بنابراین منجر به افزایش سنتز روغن شده و از طرف دیگر، انرژی مورد نیاز فرآیندهای گیاهی به شکل مولکول‌های پراترزی ATP تامین می‌شود. به دلیل نقش فسفر در این مولکول‌ها، در دسترس بودن فسفر منجر به تولید بیش‌تر مولکول‌های پراترزی و در نتیجه افزایش سنتز روغن می‌شود. هم‌چنین، در کشت مخلوط بادام‌زمینی و ذرت مخلوط میزان اسید پالمیتیک روغن بادام‌زمینی را در مقایسه با کشت خالص کاهش داد و کیفیت روغن بادام‌زمینی را بهبود بخشید (۴۵). هم‌چنین مصرف فسفر باعث افزایش اسیدهای چرب اشباع در ذرت شد (۴۷).

میامی و کم‌ترین اسید چرب (۸/۶۸ درصد) در تیمار ۲۵ درصد کینوا + ۷۵ درصد ذرت و فسفر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در منطقه شاهرود به‌دست آمد (شکل ۴).

آندرینو و همکاران (۲۰۲۱) وجود اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم مونو، دی و تری کربوکسیلیک ارتوفسفات را در محفظه‌های حاوی ارتوفسفات (OP) یا ارتوفسفات متصل به گوتیت (GOE-PA) و اسید فیتیک (PA یا GOE-PA) نشان داد (۳۷). برخی از مطالعات نشان دادند که ذرت اثرات نامطلوبی روی کینوا در طول رشد گیاه دارد و کینوا نیز اثرات منفی بر ذرت دارد. هیچ‌یک از تیمارهای مخلوط (۲۵، ۵۰ یا ۷۵ درصد کینوا) حاوی کینوا مقادیر فیتوشیمیایی یکسانی را با ذرت ۱۰۰ درصد نشان نداد (۲۲). مطالعات قبلی که مکانیسم‌های تعامل بین گیاهان و میکروبه‌های مفید مانند باکتری‌ها و AMF را بررسی می‌کردند، عمدتاً بر روی گیاهان مدل و زراعی متمرکز بودند (۳۸ و ۳۹). فتوسنتز و توانایی استفاده از مواد مغذی خاک تعیین‌کننده رشد، نمو، فعالیت متابولیک و اسیدهای چرب است (۴۰). زمانی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که مقادیر ترکیبات فنلی و پروفایل اسیدهای چرب در *Lallemantia iberica* کشت مخلوط با نخود (*Cicer arietinum* L.) با تلقیح مایکوریزا افزایش یافت (۴۱). اسید فیتیک کینوا در الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد با قارچ مایکوریزا افزایش یافت. قارچ مایکوریزا دسترسی به مواد مغذی را بهبود می‌بخشد و بنابراین رشد و فتوسنتز گیاه بر تولید ترکیبات پیش‌ساز اسیدهای چرب و فعالیت آنزیم‌های مرتبط مانند اسید چرب سنتاز و استیل کوآ کربوکسیلاز تأثیر می‌گذارد (۴۲).

فرج‌زاده و همکاران (۱۴۰۲)، میزان و پروفایل اسیدهای چرب موجود در ارقام مختلف دانه‌های

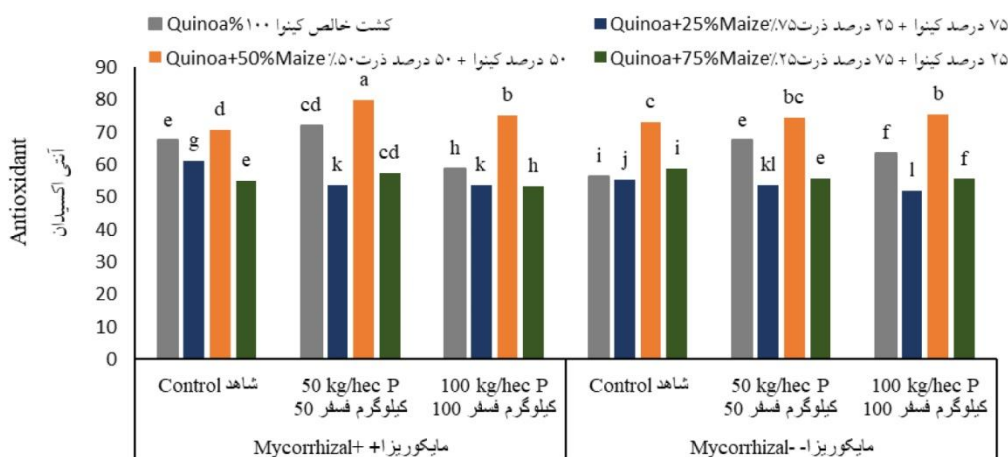


شکل ۴- اثر نسبت کشت و فسفر بر میزان اسید چرب.

Fig. 4. The effect of cropping ratio and phosphorus on fatty acid.

کیلوگرم فسفر با استفاده از مایکوریزا و نسبت کشت ۵۰ درصد کینوا به دست آمد. کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۵۲/۰۵ درصد) در نسبت کشت ۲۵ درصد کینوا و غلظت ۱۰۰ کیلوگرم فسفر بدون استفاده از قارچ مایکوریزا به دست آمد (شکل ۵).

آنتی‌اکسیدان: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان می‌دهد که کشت مخلوط، کود فسفر، مایکوریزا و مکان تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی کینوا داشتند. طبق نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت فسفر با قارچ مایکوریزا نشان داد که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۹/۸۵ درصد) از تیمار کود ۵۰



شکل ۵- اثر نسبت کشت، فسفر و مایکوریزا بر آنتی‌اکسیدان.

Fig. 5. The effect of cropping ratio, phosphorus and mycorrhiza on antioxidants.

برهمکنش دوگانه تیمارهای نسبت کشت × کود فسفر، نسبت کشت × مایکوریزا، مکان × مایکوریزا و اثرهای سه‌گانه مکان × فسفر × قارچ مایکوریزا به‌طور

آزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (SOD, POX, CAT) فعالیت آنتی‌اکسیدانی: تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده مکان، نسبت کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر

مختلف، نقش مثبت قارچ‌های مایکوریزای را در محافظت از آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی نشان می‌دهد (۲۷). در یک پژوهش کشت مخلوط اثر تحریکی بر سیستم آنتی‌اکسیدانی گندم و تاج خروس داشت. به‌طوری‌که نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گندم و تاج خروس (SOD, APX, POD, CAT) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایش یافت (۴۶). در مطالعه صورت گرفته روی گیاه کنگر تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در این گیاه شد (۴۸). در بررسی اثر تلقیح با قارچ‌های مختلف مایکوریزایی روی کاهو نتایج نشان داد که محتوای فعالیت‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌های این گیاه توسط قارچ مایکوریزا افزایش پیدا کرد (۴۹). در تلقیح پیاز با قارچ مایکوریزا، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (۵۰). کشت مخلوط سویا و ذرت و تلقیح با مایکوریزا به‌طور قابل‌توجهی رشد ذرت و سویا را افزایش داد و غلظت نیتروژن و فسفر موجود در خاک را نسبت به کشت تک کشت افزایش داد. همچنین، مطالعات نشان داد که در دسترس بودن کود فسفر با زیست‌توده گیاهی همبستگی مثبت دارد (۵۱). دانگ و همکاران (۲۰۲۳) در ماش (*Vigna radiate* L.) نشان داد که استفاده از کود فسفر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را به ترتیب ۲۰/۹ و ۴۳/۷ درصد افزایش داد (۵۲). در برخی از پژوهش‌ها افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز با تلقیح با قارچ‌های همزیست در گل رز (۵۳) گزارش شده است. براساس نتیجه‌گیری برخی از پژوهش‌گران بیان ژن تغییر یافته در میزبان در نتیجه کلونیزاسیون با قارچ مایکوریزا بر متابولیسم آن‌ها تأثیر می‌گذارد و منجر به القای دفاع شیمیایی می‌شود (۵۴).

معنی‌داری بر فعالیت آنزیم کاتالاز تأثیر گذاشت (جدول ۳). بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۱/۲ واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در منطقه میامی با استفاده از مایکوریزا و فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴).

**فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز:** طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس اثر ساده مکان، نسبت کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر برهمکنش دوگانه تیمارهای نسبت کشت × کود فسفر، نسبت کشت × مایکوریزا، فسفر × مایکوریزا و اثرهای سه-گانه نسبت کشت × فسفر × مایکوریزا و مکان × فسفر × قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تأثیر گذاشت. (جدول ۳). نتایج حاصل بیانگر اثر مثبت و مؤثر کاربرد کود فسفر می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای سوپراکسید دیسموتاز (۰/۵۲ واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در منطقه شاهرود مشاهده شد (جدول ۴).

**فعالیت آنزیم پراکسیداز:** تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار تیمارهای مکان، نسبت کشت، فسفر و مایکوریزا و اثر برهمکنش دوگانه تیمارهای نسبت کشت × کود فسفر، فسفر × مایکوریزا و اثرهای سه‌گانه نسبت کشت × فسفر × مایکوریزا و مکان × فسفر × قارچ مایکوریزا بر فعالیت آنزیم پراکسیداز بود (جدول ۳). بیش‌ترین فعالیت پراکسیداز (۱/۴۴ واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در منطقه میامی و در تلقیح با قارچ مایکوریزا و استفاده ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به‌دست آمد (جدول ۳).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از جمله سوپراکسید دیسموتاز، هم در ریشه و هم در شاخساره گیاهان

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر فسفر و میکوریزا بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کینوا.

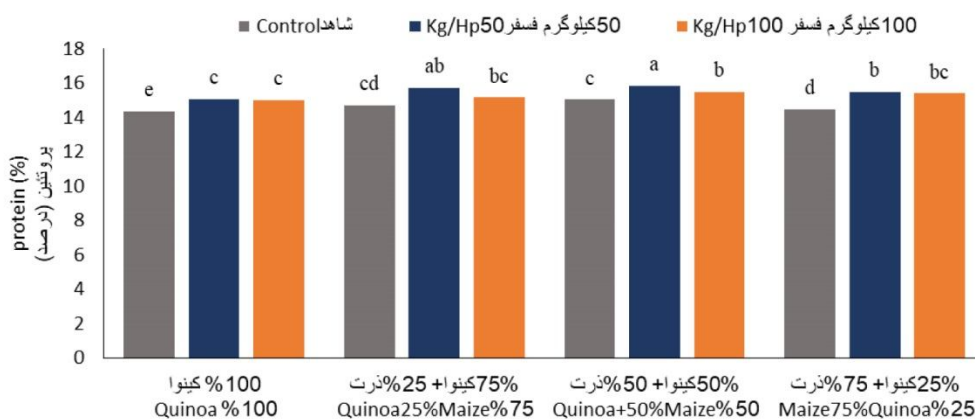
**Table 4. Mean comparisons effect of phosphorus and mycorrhiza on antioxidative enzymes of quinoa.**

کاتالاز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	مایکوریزا	فسفر (کیلوگرم در هکتار)	مکان
CAT	POX	SOD	Mycorrhiza	Phosphorus (kg/hect)	Location
0.46 <sup>h</sup>	0.95 <sup>g</sup>	0.15 <sup>ij</sup>	M1	0	Shahrood
0.73 <sup>g</sup>	1.06 <sup>e</sup>	0.23 <sup>h</sup>	M2	0	
0.90 <sup>e</sup>	1.20 <sup>c</sup>	0.40 <sup>e</sup>	M1	50	
1.110 <sup>b</sup>	1.35 <sup>b</sup>	0.52 <sup>b</sup>	M2	50	
0.96 <sup>cd</sup>	1.110 <sup>cd</sup>	0.30 <sup>g</sup>	M1	100	
1.023 <sup>c</sup>	1.125 <sup>cd</sup>	0.45 <sup>cd</sup>	M2	100	
0.85 <sup>f</sup>	1.00 <sup>f</sup>	0.18 <sup>i</sup>	M1	0	Mayamey
0.96 <sup>cd</sup>	1.11 <sup>cd</sup>	0.30 <sup>g</sup>	M2	0	
0.99 <sup>b</sup>	1.13 <sup>cd</sup>	0.44 <sup>d</sup>	M1	50	
1.20 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>	M2	50	
0.96 <sup>cd</sup>	0.95 <sup>g</sup>	0.36 <sup>ef</sup>	M1	100	
1.10 <sup>b</sup>	1.07 <sup>e</sup>	0.49 <sup>c</sup>	M2	100	

Means followed by similar superscripts have not significantly different at  $\alpha=5\%$  probability level, LSD Test

با درصد پروتئین ۱۸/۹-۱۱/۳ درصد (۵۶، ۵۵) دارای پروتئین بالاتر از غلاتی مانند جو، چاودار و ذرت و مشابه گندم (۱۶/۹-۹/۸ درصد) می‌باشد (۵۶). استفاده از قارچ مایکوریزا میزان پروتئین بذر را در کینوا نسبت به تیمارهای شاهد افزایش داد. این افزایش می‌تواند به دلیل بهبود صفات بیوشیمیایی از جمله میزان پروتئین بذر باشد بهبود فتوسنتز باعث افزایش سنتز پروتئین شده و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (۵۷).

درصد پروتئین: طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده مکان، فسفر و مایکوریزا و اثرات متقابل آرایش کشت  $\times$  فسفر و فسفر  $\times$  مایکوریزا روی درصد پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۶) 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. کینوا



شکل ۶- اثر سگانه بین سطوح کشت، فسفر و مایکوریزا در درصد پروتئین.

Fig. 6. The effect of cropping ratio, phosphorus and mycorrhiza in protein percentage.



### نتیجه‌گیری کلی

میامی دارای مقادیر بیش‌تری نسبت به منطقه شاهرود بود. به‌طورکلی استفاده از مایکوریزا و کاربرد فسفر موجب افزایش شاخص‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سیستم کشت مخلوط کینوا- ذرت گردید. استفاده از مایکوریزا به همراه فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار به افزایش عملکرد و سایر پارامترهای رشدی در هر دو منطقه توصیه شده و کشت مخلوط این گیاهان در این مناطق توجیه اقتصادی داشته و به عنوان کشت الگویی جدید در دو منطقه مورد مطالعه، برای بهره‌برداران و کشاورزان پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان دریافت که استفاده از قارچ مایکوریزا و ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، به‌طور قابل‌توجهی خصوصیات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه کینوا را نسبت به شاهد در هر دو مکان مورد مطالعه، افزایش داد. از طرف دیگر این اثرات تحت‌تأثیر مکان کشت هم قرار گرفت بدین‌صورت که میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه میامی نسبت به منطقه شاهرود به‌دلیل وضعیت اقلیمی و میانگین دمای سالیانه بالاتر، افزایش بیش‌تری نشان داد. بنابراین می‌توان دریافت که که اغلب صفات در منطقه

### منابع

- Rostaei, M., & Fallah, S. (2016). Assessment of Canopy Characteristics and Essential Oil Yield of Fenugreek and Black cumin in Intercropping under Application of Organic and Chemical Fertilizer. *Journal of agricultural science and sustainable production*, 25 (4), 1-23.
- Akbarpour, V., Ashnavar, M., & Bahmanyar, M. A. (2016). Effect of manure and chemical fertilizer on physiological and phytochemical properties of coneflower. *Agricultural Crop Management*, 18 (3), 701-711.
- Tavoosi, M., & Sepahvand, N. A. (2012). Evaluation of different genotypes of quinoa for yield and other phenological characteristics in khuzestan. *12th Iranian Genetic Congress*. 21-23 May, 2012. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. [In Persian with English abstract]
- Keskin, Ş., & Kaplan, E. A. (2015). Use of quinoa in bakery products. *Journal of Field Crops Central Research Institute*, 24 (2), 150-156.
- Cheeseman, J. (2016). Food security in the face of salinity, drought, climate change, and population growth. In *Halophytes for food security in dry lands* (pp. 111-123). Academic Press.
- Oelke, M., Giuliano, F., Mirone, V., Xu, L., Cox, D., & Viktrup, L. (2012). Monotherapy with tadalafil or tamsulosin similarly improved lower urinary tract symptoms suggestive of benign prostatic hyperplasia in an international, randomised, parallel, placebo-controlled clinical trial. *European urology*, 61 (5), 917-925.
- Bazile, D., & Baudron, F. (2015). The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. pp. 42-55.
- Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., ... & Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of cereal science*, 55 (2), 132-138.
- 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.
- Saleh, V., Afroundeh, R., Siahkoughian, M., & Asadi, A. (2021). Relationship between resting metabolic rate and body composition factors in obese and normal weight gymnast children. *International Journal of Pediatrics*, 9 (9), 14331-14340.
- Sharma, M. P., Bhatia, N. P., & Adholeya, A. (2001). Mycorrhizal dependency and growth responses of *Acacia nilotica* and *Albizia lebbek* to inoculation by indigenous AM fungi as influenced by available soil P levels in a semi-arid Alfisol wasteland. *New Forests*, 21, 89-104.

12. Schalamuk, S., Velazquez, S., Chidichimo, H., & Cabello, M. (2006). Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. *Mycologia*, 98 (1), 16-22.
13. Gosling, P., Denizeau, M., & Oberlé, D. (2006). Denial of responsibility: a new mode of dissonance reduction. *Journal of personality and social psychology*, 90 (5), 722.
14. Khan, Z. R., Amudavi, D. M., Midega, C. A., Wanyama, J. M., & Pickett, J. A. (2008). Farmers' perceptions of a 'push-pull' technology for control of cereal stem borers and Striga weed in western Kenya. *Crop protection*, 27 (6), 976-987.
15. Valentine, S. P., Le Nedelec, M. J., Menzies, A. R., Scandlyn, M. J., Goodin, M. G., & Rosengren, R. J. (2006). Curcumin modulates drug metabolizing enzymes in the female Swiss Webster mouse. *Life sciences*, 78 (20), 2391-2398.
16. Augé, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*, 84 (4), 373-381.
17. Gong, X., Gutala, R., & Jaiswal, A. K. (2008). Quinone oxidoreductases and vitamin K metabolism. *Vitamins & Hormones*, 78, 85-101.
18. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In *Methods in enzymology*. Academic press. 105, 121-126.
19. Hale, M. B. (1972). Making fish protein concentrates by enzymatic hydrolysis: a status report on research and some processes and products studied by NMFS.
20. Nsimba, R. Y., Kikuzaki, H., & Konishi, Y. (2008). Antioxidant activity of various extracts and fractions of Chenopodium quinoa and Amaranthus spp. seeds. *Food Chemistry*, 106 (2), 760-766.
21. Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., & Berta, G. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, 27, 1-11.
22. Erdoğan, H., & Onur, K. O. C. A. (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.
23. Chimenti, C. A., Pearson, J., & Hall, A. J. (2002). Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crops Research*, 75 (2-3), 235-246.
24. Hinojosa, L., Sanad, M. N., Jarvis, D. E., Steel, P., Murphy, K., & Smertenko, A. (2019). Impact of heat and drought stress on peroxisome proliferation in quinoa. *The Plant Journal*, 99 (6), 1144-1158.
25. Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., & 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.
26. Mathur, S., Tomar, R. S., & Jajoo, A. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. *Photosynthesis Research*, 139, 227-238.
27. Begum, N., Ahanger, M. A., 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.
28. Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A. M., Alqarawi, A. A., Al-Arjani, A. B. F., Singh, G., ... & Abd-Allah, E. F. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26 (3), 614-624.
29. Ait Chaouche, F. S., Mouhouche, F., & Hazzit, M. (2018). Antioxidant capacity and total phenol and flavonoid contents of *Teucrium polium* L. grown in Algeria. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 11 (2), 135-144.

30. Maloney, E. A., Sattizahn, J. R., & Beilock, S. L. (2014). Anxiety and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science*, 5 (4), 403-411.
31. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Habibi Machiani, R., & Sadeghpour, A. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and changes in primary and secondary metabolites. *Plants*, 11 (17), 2183.
32. Bowles, T. M., Barrios-Masias, F. H., Carlisle, E. A., Cavagnaro, T. R., & Jackson, L. E. (2016). Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. *Science of the Total Environment*, 566, 1223-1234.
33. Sardans, J., Lambers, H., Preece, C., Alrefaei, A. F., & Penuelas, J. (2023). Role of mycorrhizas and root exudates in plant uptake of soil nutrients (calcium, iron, magnesium, and potassium): has the puzzle been completely solved?. *The Plant Journal*, 114, 1227-1242.
34. Tyagi, T., & Agarwal, M. (2017). Phytochemical screening and GC-MS analysis of bioactive constituents in the ethanolic extract of *Pistia stratiotes* L. and *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6 (1), 195-206.
35. Adolfsson, L., Nziengui, H., Abreu, I. N., Šimura, J., Beebo, A., Herdean, A., & Spetea, C. (2017). Enhanced secondary-and hormone metabolism in leaves of arbuscular mycorrhizal *Medicago truncatula*. *Plant Physiology*, 175 (1), 392-411.
36. Gerlach, N., Schmitz, J., Polatajko, A., Schlüter, U., Fahnenstich, H., Witt, S., & Bucher, M. (2015). An integrated functional approach to dissect systemic responses in maize to arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant, Cell & Environment*, 38 (8), 1591-1612.
37. Dias, J. D. S., Oliveira Ferreira Melo, M. L., Andriano, M. A., Silva, M. R., Augusti, R., Lemos, E. E. P. D., & Simões, B. D. S. (2021). Organic acid adaptations in sugarcane juice. *Avancos em Cienca e Tecnologia de Alimentos*, 5 (1), 285-299.
38. Wang, Y. J., He, X. H., Meng, L. L., Zou, Y. N., & Wu, Q. S. (2023). Extraradical mycorrhizal hyphae promote soil carbon sequestration through difficultly extractable glomalin-related soil protein in response to soil water stress. *Microbial Ecology*, 86 (2), 1023-1034.
39. Bastías, D. A., Balestrini, R., Pollmann, S., & Gundel, P. E. (2022). Environmental interference of plant-microbe interactions. *Plant, cell & environment*, 45 (12), 3387-3398.
40. Li, Q. S., & Cai, D. (2021). Integrated mirna-seq and mrna-seq study to identify mirnas associated with alzheimer's disease using post-mortem brain tissue samples. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 620899.
41. Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., Gheshlaghi, M., von Cossel, M., & Siddique, K. H. (2023). Optimizing essential oil, fatty acid profiles, and phenolic compounds of dragon's head (*Lallemantia iberica*) intercropped with chickpea (*Cicer arietinum* L.) with biofertilizer inoculation under rainfed conditions in a semi-arid region. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 69 (9), 1687-1704.
42. García-Parra, M., Cuellar-Rodríguez, L. Á., & Balaguera-López, H. E. (2022). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A systematic review. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75 (1), 9853-9865.
43. Rezaei-Chiyaneh, E., Mahdaviakia, H., Battaglia, M. L., Thomason, W. E., & Caruso, G. (2021). Intercropping and fertilizer type impact seed productivity and secondary metabolites of dragon's head and fenugreek. *Scientia Horticulturae*, 287, 110277.
44. Farajzadeh, Z., Shakerian, A., Rahimi, E., & Bagheri, B. (2023). Study the Profile of Fatty Acids in Different Varieties of Quinoa Sseed (*Chenopodium quinoa* willd.) for Improving Food Safety and Food Quality. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 15 (57), 77-86. [magiran.com/p2514699](http://magiran.com/p2514699).

45. Rezapour Kavishahi, T., Mostafavirad, M., Saifzadeh, S., Valadabady, A. R., & Hadidimasouleh, E. (2021). Response of qualitative yield and fatty acids combination in groundnut oil to intercropped system with corn and combined application of chemical phosphorus and bio-fertilizers. *Journal of Crop Production*, 14 (1), 69-86.
46. Alizadeh Yeloojeh, K., Saeidi, G., & Ehsanzadeh, P. (2020). Effectiveness of physiological traits in adopting safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes to water deficit condition. *International Journal of Plant Production*, 14, 155-164.
47. Kaptan, M. A., Koca, Y. O., & Canavar, O. (2017). Effect of NPK Fertilization on Mineral Content and Fatty Acid Compounds of Corn Seed. *Journal of Adnan Menderes University, Agricultural Faculty*, 14 (2).
48. Ceccarelli, N., Curadi, M., Martelloni, L., Sbrana, C., Picciarelli, P., & Giovannetti, M. (2010). Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant. *Plant and Soil*, 335, 311-323.
49. Baslam, M., Qaddoury, A., & Goicoechea, N. (2014). Role of native and exotic mycorrhizal symbiosis to develop morphological, physiological and biochemical responses coping with water drought of date palm, *Phoenix dactylifera*. *Trees*, 28, 161-172.
50. Perner, H., Rohn, S., Driemel, G., Batt, N., Schwarz, D., Kroh, L. W., & George, E. (2008). Effect of nitrogen species supply and mycorrhizal colonization on organosulfur and phenolic compounds in onions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (10), 3538-3545.
51. Qin, Y., Yan, Y., Cheng, L., Lu, Y., Chen, J., Liu, F., & Tan, J. (2023). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium Facilitate Nitrogen and Phosphate Availability in Soybean/Maize Intercropping Systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23 (2), 2723-2731.
52. Dang, K., Gong, X., Liang, H., Guo, S., Zhang, S., & Feng, B. (2023). Phosphorous fertilization alleviates shading stress by regulating leaf photosynthesis and the antioxidant system in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 1111-1121.
53. Amiri, R., Nikbakht, A., & Etemadi, N. (2015). Alleviation of drought stress on rose geranium (*Pelargonium graveolens* L.) Herit. in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. *Scientia Horticulturae*, 197, 373-380.
54. Al-Arjani, A. B. F., Hashem, A., & Abd Allah, E. F. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi modulate dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27 (1), 380-394.
55. Mu, J., Qi, Y., Gong, K., Brennan, M. A., Ma, Q., Wang, J., & Brennan, C. S. (2023). Effects of quinoa flour (*Chenopodium Quinoa* Willd.) substitution on wheat flour characteristics. *Current Research in Food Science*, 7, 100556.
56. Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernandez-Lopez, J., Perez-Alvarez, 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.
57. Wang, Q., Qiu, Y., Li, J. Y., Zhou, Z. J., Liao, C. H., & Ge, X. Y. (2020). A unique protease cleavage site predicted in the spike protein of the novel pneumonia coronavirus (2019-nCoV) potentially related to viral transmissibility. *Virologica Sinica*, 35, 337-339.
58. Saddiq, M. S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Khan, S., Raza, A., & Gulshan, A. B. (2021). Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, 11 (10), 1934.