

Improving the nutrient absorption and yield of chickpeas and barley under row inter-cropping with foliar application of plant growth regulators in saline soil conditions

Ali Talebi ¹, Mohamad Rahim Owji* ², Farhad Mohajeri ², Mohammad Reza Baziar ²

1- Ph.D Student Of Agronomy, Fasa Islamic azad University

2- Assistant Proffessor, Department of Agricultur, Islamic azad University Fasa branch

* corresponding author: owjirahim9@gmail.com

Introduction

Soil salinity is one of the environmental stresses that is an important threat to agricultural production in the world. The global scientific community has been testing possible technologies for increasing salt stress tolerance in plants for more than three decades. New advances and perspectives have been obtained to restore the productivity of plants under salt stress. Utilization of plant growth regulators is one of the promising strategies to overcome the adverse effects of salinity. Also, row inter-cropping can increase the efficiency of the used resources. Improving the yield of chickpeas and barley in row inter-cropping using foliar spraying of salicylic acid, jasmonic acid and brassinosteroid was the hypothesis proposed in this research. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of these hormones' application in mixed cropping of chickpeas and barley under salt stress conditions.

Materials and Methods

A split plot experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications in the growing seasons of 2021 and 2022. This research was carried out in Fasa, Iran. The main factor was the planting arrangement included monocropping of chickpeas and barley and their row inter-cropping (75% chickpeas + 25% barley, 50% chickpeas + 50% barley and 25% chickpeas + 75% barley as row intercrop). The second factor was the foliar spray of growth regulators consisting of salicylic acid, jasmonic acid, brassinosteroid and distilled water as control. Data variance analysis for different traits was done using SAS statistical software version 9.1.

Results and Discussion

In the row inter-cropping of 25% chickpeas + 75% barley, the leaf sodium concentration of chickpeas and barley showed a decrease of 5 and 3%, respectively, compared to the monocropping of these two plants. An increase in leaf nitrogen concentration was observed in the mixed cropping of chickpeas and barley compared to the monocropping system. In the monocropping of chickpeas and barley, salicylic acid and jasmonic acid foliar application improved the leaf potassium content of chickpeas and barley. In the conditions of mixed cropping, foliar spray of salicylic acid and jasmonic was able to increase the leaf potassium concentration of chickpeas compared to the control. The plant's ability to remove sodium from the cytosol increases water absorption and preserves photosynthetic pigments. The results of this experiment confirmed the hypothesis of synergistic effects of row inter-cropping compared to monocropping. Positive changes in the row inter-cropping can be related to the diverse absorption of ions by plants, changes in ion solubility and interaction between ions. In 2021, the highest biological yields of chickpeas and barley (3199 and 10351 kg ha⁻¹) were observed in mixed cropping of 50% chickpeas + 50% barley. In 2022, the row inter-cropping of 50%

chickpeas + 50% barley increased the biological yield of chickpeas and barley by 9% and 18%, respectively, compared to monocropping. The highest yield of chickpeas and barley seeds was observed in row inter-cropping of 75% chickpea + 25% barley, using foliar spray of salicylic acid and jasmonic acid. The increase in the grain yield of chickpeas and barley plants in other treatments of row inter-cropping was also observed with foliar spray of salicylic acid and jasmonic acid.

Conclusion

The results of this research showed that salt stress and sodium absorption cause disturbances in the absorption of nutrients. Foliar spray of growth regulators improved growth by reducing sodium and increasing nutrient absorption. Also, the positive effect of row inter-cropping of chickpeas and barley compared to their monocropping on increasing the growth and grain yield under salt stress conditions was a successful result. Therefore, row inter-cropping can be used to ensure production stability under salinity stress conditions.

Acknowledgment

We would like to thank the Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, and the Islamic Azad University of Fasa for their sincere assistance in carrying out this research.

Keywords: Grain yield, Nitrogen, Photosynthetic pigments, Sodium.

بهبود جذب عناصر غذایی و عملکرد نخود و جو در کشت مخلوط ردیفی با محلول پاشی تنظیم کننده های رشد در شرایط خاک شور

علی طالبی^۱، محمد رحیم اوجی^{۲*}، فرهاد مهاجری^۲، محمد رضا بازاریار^۲

۱- دانشجوی دکتری، رشته زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا

۲- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا

*نویسنده مسئول: owjirahim9@gmail.com

چکیده

از راهکارهای امیدوارکننده برای غلبه بر تنش شوری، استفاده از تنظیم کننده های رشد گیاهی است. همچنین برای بهینه سازی کارایی استفاده از منابع، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می تواند مفیدتر باشد. این آزمایش به صورت کرت های خرد شده، در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با سه تکرار در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ در شرایط خاک شور انجام شد. عامل اصلی آرایش کاشت شامل کشت خالص و مخلوط از دو گیاه نخود و جو و عامل فرعی محلول پاشی تنظیم کننده رشد گیاه شامل سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی مولار، جاسمونیک اسید با غلظت ۱۰۰ میکرومولار، براسینواستروئید با غلظت ۱ میکرومولار و شاهد بود. نتایج نشان داد که در کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود+ ۷۵ درصد جو، غلظت سدیم برگ نخود و جو در مقایسه با کشت خالص این دو گیاه به ترتیب کاهش معنی داری ۵ و ۳ درصدی نشان داد. کشت مخلوط سبب افزایش پتاسیم برگ، شاخص سبزیگی و عملکرد زیست توده نسبت به تک کشتی شد. بیشترین کلروفیل b برگ نخود در سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید

مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب افزایش معنی داری ۶ و ۵ درصدی نشان داد. محلول پاشی براسینواسستروئید توانست سبب بهبود محتوای کلروفیل a و b برگ نخود و جو شود. در سال دوم کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو سبب افزایش ۱۰ درصدی عملکرد دانه نخود نسبت به کشت خالص شد. در مجموع با توجه به تاثیر مثبت محلول پاشی تنظیم کننده رشد گیاه در افزایش عملکرد دانه نخود و جو در شرایط کشت مخلوط می توان در شرایط تنش شوری توصیه کرد.

کلمات کلیدی: رنگدانه های فتوسنتزی، سدیم، عملکرد دانه، نیتروژن

۱. مقدمه

شوری خاک از جمله تنش های محیطی در سطح جهان است که تهدید مهمی برای تولیدات کشاورزی است. شور شدن خاک در بیش از یک میلیارد هکتار از اراضی و در بیش از ۱۰۰ کشور جهان گسترش یافته است (Singh, 2022). کاهش رشد و عملکرد گیاه به دلیل تنش شوری در نتیجه اختلال در تغذیه، کاهش فتوسنتز و افزایش تخریب غشای سلولی و تنش اکسیداتیو حاصل می شود (Desoky et al., 2020). به طور واضح مشخص نیست که در شرایط تنش شوری کدام عوامل نقش مهمتری در کاهش رشد و عملکرد گیاه را دارند. جامعه علمی جهانی بیش از سه دهه است که در حال آزمایش فناوری های ممکن برای افزایش تحمل به تنش شوری در گیاهان هستند (Hayat et al., 2020). در نتیجه پیشرفت ها و چشم اندازهای جدیدی برای بازیابی بهره وری گیاهان تحت تنش شوری حاصل شده است (Mishra et al., 2021). براساس گزارش های اخیر پژوهشگران، تغییر در مکانیسم های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و هورمونی می تواند در برخی موارد سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری شود (Muchate et al., 2016).

کشت مخلوط به عنوان نمونه ای از نظام کشاورزی پایدار، اهدافی هم چون ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره وری بیش تر از منابع و افزایش کمی و کیفی محصول را دنبال می کند (Glaze-Corcoran et al., 2020). بنابراین، توجه زیادی به افزایش تنوع سیستم های تولیدی با افزودن تعداد گونه های گیاهی برای به حداکثر رساندن کارایی استفاده از منابع در مقایسه با سیستم های تک کشتی شده است (Ghaffarian et al., 2020). کشت مخلوط یک سیستم کشاورزی سازگار برای بهینه سازی کارایی استفاده از منابع و عملکرد محصول، به ویژه در شرایط تنش های محیطی است (Su et al., 2022). در شرایط تنش های محیطی، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای مزیت نسبی است و شاخص های کمی و کیفی گیاهان بهبود پیدا می کند (Chamkhi et al., 2022). اثرات مفید انجام کشت مخلوط غلات با حبوبات می تواند جذب عناصر غذایی را بهبود بخشد و متعاقباً عملکرد رشد هر دو محصول مخلوط را برای سیستم های کشاورزی کم نهاده بهبود بخشد (Bi et al., 2019).

از راهکارهای دیگر جهت افزایش تحمل به تنش شوری در گیاهان استفاده از تنظیم کننده رشد گیاهی می باشد (Farhangi-Abriz et al., 2019). اسید سالیسیلیک یکی از هورمون های دفاعی ضروری گیاهی است که نقش مهمی در تنظیم رونویسی ژن های دفاعی ایفا می کند (Zhang and Li, 2019). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنل طبیعی و از تنظیم کننده های درون زای رشد می باشد. ترکیبات فنلی، به عنوان موادی شناخته شده اند که دارای یک حلقه آروماتیک همراه با یک گروه هیدروکسیل یا مشتقات فعال آن می باشند (Hassoon and Abduljabbar, 2019). اسید

سالیسیلیک یک مولکول زیستی پیام‌رسانی فنولی قوی و یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی چندوجهی است که در طیف گسترده‌ای از رشد، متابولیسم و سیستم‌های دفاعی شرکت می‌کند (Arif et al., 2020). بسیاری از بررسی‌های انجام شده نشان داده است که کاربرد اسید سالیسیلیک به صورت خارجی در گیاهان تحت تنش شوری می‌تواند اثرات تخریبی ناشی از تنش‌ها را کاهش دهد و فرآیندهای رشد را سریعاً به حالت اول برگرداند. در واقع اسید سالیسیلیک در تنش‌های محیطی نقش محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد در گیاه در شرایط تنش شوری می‌شود (Nigam et al., 2022). از سوی دیگر جاسمونیک اسید و مشتقات آن که به صورت مولکول‌های پیام‌رسان سیستم‌های دفاعی گیاهان را در مقابل عوامل تنش‌زای محیطی فعال می‌کند (Ruan et al., 2019). جاسمونات‌ها در رشد و نمو و واکنش به تنش‌های محیطی نقش تنظیم‌کننده‌ای را ایفا می‌کنند (Hewedy et al., 2023). جاسمونیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده کلیدی شناخته شده است، که به‌عنوان کدکننده ژن‌های پروتئین‌های بازدارنده، نظیر پروتئین‌های تثبیت، اسموتین، پرولین و همچنین در بیوسنتز متابولیت‌های مختلف (به عنوان مثال، فیتوالکسین‌ها و تریپنئیدها) نقش دارد (Ali and Baek, 2020; Ghorbel et al., 2021). همچنین براسینواستروئیدها گروهی از هورمون‌های استروئیدی گیاهی هستند که نقش‌های متعددی در رشد، نمو و پاسخ به تنش‌ها دارند (Ahamed et al., 2020). تعداد زیادی از مطالعات نشان می‌دهد که براسینواستروئیدها می‌توانند با تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، متابولیسم عناصر مغذی، وضعیت آب، تعادل هورمونی در سطح مولکولی بر پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی تأثیر بگذارند و نقش مثبت در رشد گیاه داشته باشد (Hafeez et al., 2021). براسینواستروئیدها با تنظیم بیان ژن‌های دفاعی، فرآیندهای مختلف رشد و نمو گیاهان را تنظیم می‌کند. همچنین براسینواستروئیدها با هورمون‌های مختلف برای تنظیم فیزیولوژی و رشد گیاه تداخل دارند (Bhandari and Nailwal, 2020). گزارش شده است که براسینواستروئیدها بازده فتوسنتزی را در شرایط تنش شوری بهبود می‌بخشد، که تا حد زیادی به افزایش رشد و عملکرد محصول کمک می‌کند (Siddiqui et al., 2018).

با توجه به اینکه شوری خاک از چالش‌های عمده حال حاضر کشاورزی است و در آینده نزدیک امنیت غذایی، بهره‌وری کشاورزی و پایداری محیط زیست را به خطر می‌اندازد، یافتن فن‌آوری‌های جدید برای بهبود تولید در خاک‌های متأثر از تنش شوری یک نیاز اساسی است. در سال‌های اخیر، کاربرد تنظیم‌کننده رشد گیاهی در توسعه و بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش و غیرتنش گسترش یافته است. موارد زیادی در مورد نحوه اثرات دقیق تنظیم‌کننده رشد گیاهی در کشت مخلوط تحت شرایط تنش شوری در دست نمی‌باشد، لذا هدف از این پژوهش بررسی اثر تنظیم‌کننده رشد گیاهی در کشت مخلوط نخود و جو، تحت شرایط خاک نسبتاً شور می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. طراحی آزمایش و تیمارها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ انجام شد. این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی در مرکز تحقیقات کشاورزی فارس- فسا و در موقعیت مکانی با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه و ارتفاع ۱۳۷۰ متر از سطح دریا انجام شد. عامل اصلی آرایش کاشت شامل کشت خالص از دو گیاه نخود ایرانی و

جو و کشت مخلوط آن‌ها (۱۰۰ درصد نخود ایرانی و ۱۰۰ درصد جو، ۷۵ درصد نخود ایرانی+۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد نخود ایرانی+۵۰ درصد جو، ۲۵ درصد نخود ایرانی+۷۵ درصد جو) و عامل فرعی محلول‌پاشی تنظیم کننده رشد گیاه شامل سالیسیلیک اسید، جاسمونیک اسید، براسینواستروئید و شاهد بود.

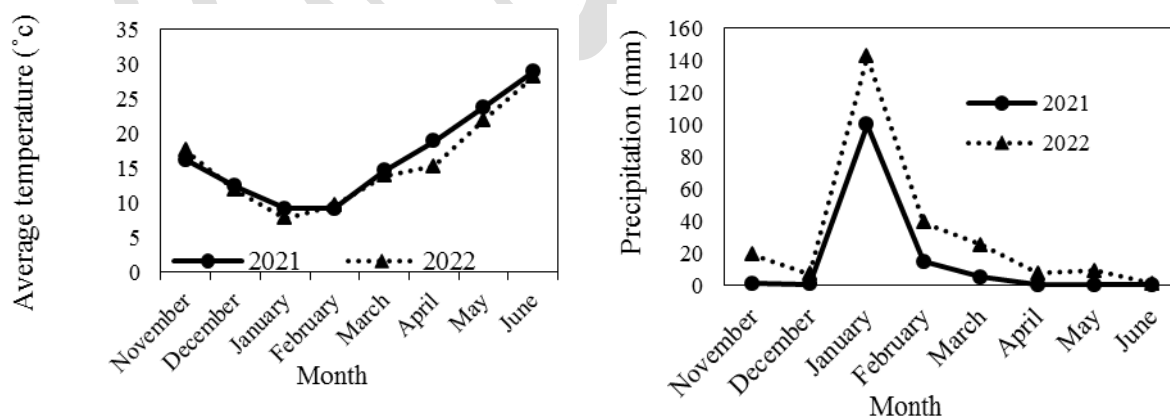
۲.۲. اجرای آزمایش

پیش از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). این آزمایش در شرایط خاک شور با هدایت الکتریکی در حدود ۶ دسی زیمنس بر متر انجام شد. میزان بارندگی و متوسط دمای ماهیانه در طول اجرای آزمایش به شرح شکل ۱ بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 1. The results of the chemical and physical analysis of the soil at the experiment location.

Year	Texture	EC (dS m ⁻¹)	O.C (%)	N	Na ⁺	Cl ⁻	Mg ⁺²	Ca ⁺²	P	K	Zn	Mn	Fe	Cu
(m eq L ⁻¹)														
(mg Kg ⁻¹)														
2021	Sandy clay loam	6.02	0.42	0.07	104.11	124.60	27.40	20.50	12.60	141	1.44	0.93	4.57	0.05
2022	Sandy clay loam	6.01	0.97	0.24	106.74	125.31	27.22	19.89	11.12	136	1.34	1.07	4.49	0.05



شکل ۱. شرایط آب و هوایی برای الگوهای فصلی از مارس تا جولای ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲.

Figure 1. The climate conditions for the seasonal patterns from March to July 2021 and 2022.

قبل از کاشت عملیات خاک‌ورزی اولیه شامل شخم، دیسک و آماده‌سازی بستر کشت انجام شد. سپس کرت‌هایی با طول ۴/۵ متر و عرض ۳ متر با ۸ خط کشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر برای کشت آماده شد. کاشت برای هر دو گیاه نخود و جو به صورت دستی و در اواخر ماه آبان در هر دو

سال (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) انجام شد. برداشت گیاه جو در سال اول در اواسط اردیبهشت سال ۱۴۰۱ و در سال دوم در اواسط اردیبهشت سال ۱۴۰۲ انجام شد. همچنین برداشت گیاه نخود در سال اول در اوایل خرداد سال ۱۴۰۱ و در سال دوم در اوایل خرداد سال ۱۴۰۲ انجام شد. در عمق کاشت برای بذرهای جو در حدود ۱ تا ۲ سانتی متر و برای نخود در حدود ۲ تا ۳ سانتی متر بود. به منظور اطمینان از تراکم مطلوب مزرعه برای هر دو گیاه نخود و جو، سه عدد بذر در هر کپه به صورت دستی کشت شد و پس از مرحله دو برگی یک بوته باقی گذاشته شد. نحوه کاشت دو گیاه در سامانه های مخلوط ۵۰+۵۰ درصد به صورت یک در میان و در سامانه های مخلوط ۷۵+۲۵ درصد به صورت دو در میان بود. بذرهای جو رقم زهک و نخود ایرانی رقم داراب از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس تهیه شد. تراکم کاشت برای گیاه جو ۴۰۰ بوته در متر مربع و برای نخود ۴۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. جو رقم زهک جزو ارقام شش ردیفه می باشد که نیمه زودرس بوده و دارای ارتفاع بوته ۹۰ سانتی متر، با میانگین وزن ۱۰۰۰ دانه ۳۵ گرم و مقاوم به ریزش دانه است. همچنین نخود ایرانی متوسط رس، با ارتفاع بوته ۲۸ سانتی متر، حالت نیمه ایستاده داشته که وزن ۱۰۰ دانه آن ۳۵۰ گرم می باشد و مساعد برای نواحی گرم و خشک است. با در نظر گرفتن نیاز غذایی برای دو گونه، میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و به صورت پیش کاشت از منبع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم مصرف شد. نیتروژن از منبع اوره و به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار در سه تقسیط مساوی مصرف شد. آبیاری ها به صورت ردیفی و در زمان ۲۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد (Attarzadeh et al., 2019). وجین علف های هرز در طول فصل رشد به صورت دستی و در چند نوبت انجام گرفت. محلول پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی مولار، جاسمونیک اسید با غلظت ۱۰۰ میکرومولار و براسینواستروئید با غلظت ۱ میکرومولار (Ramakrishna and Rao, 2015; Shahzad et al., 2021; Es-sbihi et al., 2015) در سه مرحله رشد برای هر دو گونه گیاهی شامل دوره های در حدود تقریباً مشابه از لحاظ زمانی شامل سه تا چهار برگی، شروع ساقه دهی و اوایل گلدهی انجام شد.

۳.۲. اندازه گیری صفات

۳.۲.۱. غلظت عناصر برگ

اوایل گلدهی در هر گونه، ۵ برگ جوان و بالغ انتخاب و نمونه گیری شد. برگ ها با آب مقطر شسته شدند و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک و سپس آسیاب شدند. یک گرم از نمونه آسیاب شده در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا تبدیل به خاکستر شود. خاکستر بدست آمده با اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره گیری شد و غلظت عناصر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر (مدل Jenway 7, German) قرائت شد. در نهایت اعداد قرائت شده با استفاده از نمودار حاصل از نمونه های استاندارد تعدیل شدند (Patterson et al., 1984). اندازه گیری نیتروژن برگ پس از هضم نمونه گیاهی براساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کج دال مدل V40 اندازه گیری شد (Lang, 1958).

۳.۲.۲. صفات فیزیولوژیکی

برای اندازه گیری صفات فیزیولوژیک در مرحله گلدهی از بوته های داخل مزرعه نمونه برداری شد.

جهت اندازه‌گیری شاخص سبزیگی (Spad) از دستگاه SPAD-502 ساخت کشور ژاپن استفاده شد. در هر تیمار ۱۰ برگ انتخاب و میانگین آنها گزارش شد.

برای اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس از دستگاه Chlorophyll Fluorimeter مدل Hansatech LTD Pocket PEA ساخت کشور انگلستان استفاده شد. به این منظور برگ‌های گیاهان جوان و بالغ به مدت ۱۵ دقیقه جهت سازگاری به تاریکی به وسیله گیره‌های مخصوص از تابش نور خورشید محافظت شدند. بعد از گذشت ۱۵ دقیقه سنسور دستگاه داخل گیره‌ها قرار داده شد و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (Fv/Fm) ثبت شد.

با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون میزان کلروفیل a و b به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Vis 2100 در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد و میزان کلروفیل با استفاده از روابط ۱ تا ۲ محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll a (mgg}^{-1}\text{)} = (12.7 \times \text{OD}.663) - (2.69 \times \text{OD}.645) \times V/1000 \times W \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\text{Chlorophyll b (mgg}^{-1}\text{)} = (22.9 \times \text{OD}.645) - (4.68 \text{OD}.663) \times V/1000 \times W \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادلات V حجم نمونه، OD میزان جذب و W وزن تر نمونه است.

۲.۳.۳. عملکرد دانه و زیست توده

در هر دو سال برداشت در هر کرت از ردیف‌های وسط با مساحتی معادل یک متر مربع و با در نظر گرفتن نسبت مخلوط صورت گرفت. برای تعیین عملکرد زیست توده نمونه‌ها توسط آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس به وسیله ترازوی دقیق توزین شدند. عملکرد دانه پس از جداسازی و توزین دانه‌ها گزارش شد.

۲.۴. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. آزمون بارتلت روی کلیه صفات مورد بررسی انجام شد. هنگامیکه واریانس خطای صفات در دو سال متوالی با یکدیگر همگون بودند، مقایسه میانگین این صفات به صورت تجزیه مرکب صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. غلظت سدیم، پتاسیم و نیتروژن

اثر آرایش کاشت، تنظیم کننده رشد گیاه و سال بر غلظت سدیم برگ نخود و جو معنی دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر برهم کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲). همچنین برهم کنش آرایش کاشت و تنظیم کننده رشد گیاه و برهم کنش سال و تنظیم کننده رشد گیاه بر غلظت پتاسیم و نیتروژن برگ نخود و جو معنی دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای اثرات آرایش کاشت و تنظیم کننده رشد گیاه روی غلظت سدیم، پتاسیم، نیتروژن، شاخص سبزیگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در نخود و جو.

Table 2. Analysis of variance for the effects of cropping system and plant growth regulators on the Na^+ , K^+ , N, spad and fv/fm of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Source of variation	Degrees of freedom	chickpeas					Barley				
		Na^+	K^+	N	Spad	fv/fm	Na^+	K^+	N	Spad	fv/fm
Year	1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Block	2	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cropping system (C)	3	**	**	**	**	**	**	**	NS	**	**
Block $\times$ C (E_a)	6	0.191	0.084	0.008	7.45	0.0019	0.679	0.597	0.012	10.42	0.0084
Plant growth regulators (PGR)	3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C $\times$ PGR	9	NS	*	*	NS	NS	NS	**	*	NS	NS
Block $\times$ PGR (E_b)	24	0.520	0.095	0.001	1.147	0.0002	0.230	0.072	0.008	1.30	0.0013
C $\times$ Year	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Block $\times$ C $\times$ Year (E_c)	8	0.662	0.090	0.032	9.67	0.0057	0.358	0.229	0.008	5.28	0.0010
PGR $\times$ Year	3	NS	*	*	NS	NS	NS	*	*	NS	NS
C $\times$ PGR $\times$ Year	9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error	24	0.398	0.140	0.002	2.88	0.0004	0.343	0.111	0.005	1.45	0.0011
CV (%)	-	11.2	9.26	10.1	14.1	10.5	10.3	8.2	12.1	12.7	9.4

*, **, ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری.

ns, *, ** and ns are significant at the 5 and 1 percent of probability levels and non-significant, respectively.

در تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود + ۷۵ درصد جو، غلظت سدیم برگ نخود و جو در مقایسه با کشت خالص این دو گیاه به ترتیب کاهش ۵ و ۳ درصدی نشان داد (جدول ۳). همچنین کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب کاهش معنی دار سدیم نسبت به کشت خالص این دو گیاه شد. از سوی دیگر غلظت سدیم در گیاه نخود و جو در محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید نسبت به شاهد کاهش معنی داری نشان داد (جدول ۴). غلظت سدیم برگ نخود و جو در سال دوم نسبت به سال اول کاهش معنی داری نشان داد (جدول ۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر آرایش کاشت بر صفات اندازه گیری شده نخود و جو.

Table 3. Mean comparison for the effect of intercropping on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Cropping system	chickpeas				Barley			
	Na^+	Spad	fv/fm	Chlorophyll	Na^+	Spad	fv/fm	Chlorophyll

	(mg g ⁻¹ leaf dry weight)		a (mg g ⁻¹ fresh weight)		(mg g ⁻¹ leaf dry weight)		a (mg g ⁻¹ fresh weight)
sole cropping	29.25 a	37.83 b	0.728 b	1.88 c	25.29 a	41.77 b	0.702 c
75% chickpeas + 25% Barley	28.80 b	41.20 a	0.767 a	1.97 b	25.33 a	42.80 ab	0.792 ab
50% chickpeas + 50% Barley	28.13 c	43.00 a	0.764 a	2.00 a	24.70 b	44.30 a	0.824 a
25% chickpeas + 75% Barley	27.86 c	42.37 a	0.759 ab	1.99 ab	24.55 b	43.95 ab	0.756 bc

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار هستند.

Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنظیم کننده رشد گیاه بر صفات اندازه‌گیری شده نخود و جو.

Table 4. Mean comparison for the effect of plant growth regulators on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Plant growth regulators	chickpeas				Barley			
	Na ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	Spad	fv/fm	Chlorophyll b (mg g ⁻¹ fresh weight)	Na ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	Spad	fv/fm	Chlorophyll b (mg g ⁻¹ fresh weight)
Control	28.96 a	39.64 c	0.738 c	0.886 c	25.43 a	42.34 b	0.741 b	0.867 c
Salicylic acid	28.10 b	42.12 a	0.765 a	0.942 a	24.55 b	43.78 a	0.787 a	0.942 ab
Jasmonic acid	28.29 b	42.08 a	0.764 a	0.936 a	24.67 b	43.79 a	0.785 a	0.958 a
Brassinosteroid	28.69 a	40.56 b	0.750 b	0.910 b	25.21 a	42.92 b	0.768 a	0.910 b

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار هستند.

Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال بر سدیم، شاخص سبزیگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در نخود و جو

Table 5. Mean comparison for the effect of year on the Na⁺, spad and fv/fm of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Year	chickpeas			Barley		
	Na ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	Spad	fv/fm	Na ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	Spad	fv/fm
2021	28.91 a	40.12 b	0.706 b	25.68 a	42.26 b	0.757 b
2022	28.11 b	42.09 a	0.803 a	24.26 b	44.15 a	0.780 a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار هستند.

Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

کشت مخلوط دو گونه نخود و جو سبب افزایش غلظت پتاسیم برگ نسبت به سیستم تک کشتی شد (جدول ۶). در کشت خالص نخود و جو، محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سبب بهبود محتوای پتاسیم برگ نخود و جو گردید. همچنین در شرایط کشت مخلوط، محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک تا حدودی توانست سبب جذب پتاسیم برگ نخود نسبت به شاهد گردد (جدول ۶). از سوی دیگر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سبب افزایش پتاسیم برگ نخود در سال‌های اول و دوم نسبت به شاهد شد (جدول ۷). در سال‌های اول و دوم محلول پاشی جاسمونیک اسید به ترتیب سبب افزایش ۳ و ۵ درصدی پتاسیم برگ جو نسبت به شاهد شد. محلول پاشی براسینواستروئید در سطح پایینتر توانست سبب بهبود جذب پتاسیم برگ نخود و جو شود (جدول ۷).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش اثر آرایش کاشت و تنظیم کننده رشد بر صفات اندازه گیری شده نخود و جو.

Table 6. Mean comparison for the effect of intercropping and plant growth regulators on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Cropping system	Plant growth regulators	chickpeas				Barley			
		K ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	N (%)	Biological yield (kg ha ⁻¹)	Grain yield (kg ha ⁻¹)	K ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	N (%)	Biological yield (kg ha ⁻¹)	Grain yield (kg ha ⁻¹)
Sole cropping	Control	10.29 b	1.61 b	2979 b	814 c	11.54 b	1.51 a	8386 b	2643 b
	Salicylic acid	10.94 a	1.73 a	3208 a	863 a	12.10 a	1.56 a	8954 a	2841 a
	Jasmonic acid	10.86 a	1.69 ab	3174 a	856 ab	11.98 ab	1.57 a	8854 a	2820 a
	Brassinosteroid	10.39 b	1.64 ab	3034 b	825 bc	11.62 ab	1.56 a	8759 a	2760 ab
75% chickpeas + 25% Barley	Control	10.79 b	1.67 a	3092 c	840 c	11.95 a	1.77 b	9427 c	2822 b
	Salicylic acid	11.53 a	1.77 a	3370 a	924 a	12.27 a	1.97 a	10135 ab	2988 a
	Jasmonic acid	11.49 a	1.76 a	3285 ab	908 ab	12.18 a	1.97 a	10326 a	2932 ab
	Brassinosteroid	11.21 a	1.73 a	3209 b	890 b	12.18 a	1.87 ab	9861 b	2869 ab
50% chickpeas + 50% Barley	Control	11.11 b	1.73 a	3251 b	890 b	12.18 b	1.68 a	9663 b	2927 b
	Salicylic acid	11.57 a	1.76 a	3455 a	916 ab	12.41 ab	1.76 a	10861 a	3019 ab
	Jasmonic acid	11.79 a	1.78 a	3403 a	933 a	12.54 a	1.78 a	10731 a	3125 a
	Brassinosteroid	11.41 ab	1.74 a	3284 b	910 ab	12.26 ab	1.74 a	10381 ab	2993 ab
25% chickpeas + 75% Barley	Control	11.02 b	1.73 b	3111 c	879 b	12.19 a	1.64 a	9000 b	2799 b
	Salicylic acid	11.55 a	1.78 ab	3283 ab	897 ab	12.39 a	1.68 a	9475 a	3083 a
	Jasmonic acid	11.65 a	1.81 a	3312 a	917 a	12.59 a	1.70 a	9576 a	2983 a
	Brassinosteroid	11.45 ab	1.78 ab	3205 b	877 b	12.44 a	1.64 a	9497 a	2938 ab

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف در هر ستون و هر آرایش کاشت اختلاف معنی داری با رویه L.S. Means در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Different letters indicate on Duncan's multiple range tests in each column and every cropping system has a not significant difference with the procedure of L.S. Means at the 5% probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش اثر سال و تنظیم کننده رشد بر صفات اندازه گیری شده نخود و جو.

Table 7. Mean comparison for the effect of year and plant growth regulators on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Year	Plant growth regulators	chickpeas			Barley		
		K ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	N (%)	Chlorophyll ^a (mg g ⁻¹ fresh weight)	K ⁺ (mg g ⁻¹ leaf dry weight)	N (%)	Chlorophyll ^a (mg g ⁻¹ fresh weight)
2021	Control	10.62 c	1.56 c	1.90 b	11.90 b	1.67 b	1.87 c
	Salicylic acid	11.32 a	1.65 ab	2.00 a	12.21 a	1.75 a	2.01 a

	Jasmonic acid	11.38 a	1.66 a	2.00 a	12.25 a	1.74 a	2.00 ab
	Brassinosteroid	11.01 b	1.61 bc	1.94 ab	12.08 a	1.68 b	1.94 b
2022	Control	10.68 b	1.77 b	1.87 b	11.87 b	1.56 c	1.92 b
	Salicylic acid	11.38 a	1.85 a	1.97 a	12.22 a	1.86 a	2.05 a
	Jasmonic acid	11.61 a	1.87 a	2.00 a	12.45 a	1.73 b	2.08 a
	Brassinosteroid	11.52 a	1.88 a	1.99 a	12.42 a	1.69 b	2.07 a

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف در هر ستون و هر سال اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Different letters indicate on Duncan's multiple range tests in each column and every year has a not significant difference with the procedure of L.S. Means at the 5% probability level.

افزایش غلظت نیتروژن برگ در کشت مخلوط نخود و جو نسبت به سیستم تک کشتی مشاهده شد (جدول ۶). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید سبب افزایش ۷ درصدی غلظت نیتروژن برگ نخود نسبت به شاهد در کشت خالص گردید. بیشترین غلظت نیتروژن برگ نخود در شرایط کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود+ ۷۵ درصد جو در محلول‌پاشی جاسمونیک مشاهده شد (جدول ۶). همچنین محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سبب افزایش نیتروژن برگ جو در شرایط کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود+ ۲۵ درصد جو شد (جدول ۶). از سوی دیگر در سال‌های اول و دوم بیشترین غلظت نیتروژن برگ نخود و جو در محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج این آزمایش نشان داد که کمترین تجمع یون سدیم با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید اتفاق افتاد. وجود تنظیم‌کننده‌های رشد مثل سالیسیلیک اسید از طریق کاهش انتقال سدیم از ریشه به اندام‌های هوایی تجمع سدیم را محدود کند (Ghassemi-Golezani and Farhadi, 2021). همچنین کاربرد جاسمونیک اسید می‌تواند سبب تغییر در نسبت پتاسیم به سدیم، تنظیم اسمزی و هموستازی یونی تحت تنش شوری شود (Lotfi et al., 2024). مطابق با نتایج این پژوهش محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه در تلفیق با سامانه کشت مخلوط سبب افزایش جذب عناصر غذایی نیتروژن شد. ممکن است سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید با تنظیم فعالیت پمپ $H^+ATPase$ و ژن‌های دخیل در جذب پتاسیم مانعی برای انتقال سدیم ایجاد کند (Ghassemi-Golezani and Farhangi-Abri, 2018; Ghassemi-Golezani and Abdoli, 2021). در نتیجه ممکن است استفاده از سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید تأثیر قابل توجهی بر جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن داشته باشد. از سوی دیگر در سیستم‌های کشت مخلوط، گیاهان نقش مستقیم یا غیرمستقیم در تنظیم نسبت سدیم به پتاسیم و یا اصلاح خاک در شرایط تنش شوری دارند (Guerchi et al., 2024). گزارش شده است که در شرایط خاک‌های شور استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط به دلیل تغییر در تجمع سدیم، تا حدودی سبب تغییر در وضعیت شوری در خاک‌های زراعی و جذب عناصر غذایی می‌گردند (Ghaffarian et al., 2020). کشت مخلوط نخود و جو نسبت به سیستم تک کشتی سبب افزایش غلظت نیتروژن برگ شد. کشت مخلوط به‌طور قابل توجهی در کاهش جنبه‌های منفی تنش شوری در جذب عناصر غذایی کمک می‌کند. حبوبات، که به دلیل قابلیت‌های بیولوژیکی تثبیت نیتروژن استثنایی‌شان شناخته می‌شوند، دسترسی و جذب نیتروژن را در شرایط تنش شوری تغییر دهند (Kirova and Kocheva, 2021). بنابراین تعامل بین دو گونه در سیستم‌های کشت مخلوط ممکن است سبب دسترسی بیشتر به عناصر غذایی شود (Li et al., 2023).

۳.۲. شاخص سبزی‌نگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر

اثر آرایش کاشت، تنظیم کننده رشد گیاه و سال بر شاخص سبزیگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر نخود و جو معنی دار بود، ولی این صفات تحت تأثیر برهم کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲).

افزایش شاخص سبزیگی گیاه نخود در کشت مخلوط نخود و جو با درصدهای مختلف نسبت به سیستم تک کشتی مشاهده شد (جدول ۳). همچنین استفاده از سامانه کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب افزایش شاخص سبزیگی گیاه جو به میزان ۶ درصد نسبت به سامانه تک کشتی این گیاه گردید (جدول ۳). همچنین محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به ترتیب سبب افزایش ۶ و ۶ درصدی شاخص سبزیگی گیاه نخود نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). شاخص سبزیگی گیاه جو در محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید و در سطح پایینتر براسینواسترئوئید نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۴). شاخص سبزیگی برگ نخود و جو در سال دوم نسبت به سال اول افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۵).

استفاده از سامانه های مختلف کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود + ۲۵ درصد جو و کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب افزایش نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر برگ نخود و جو نسبت به سامانه تک کشتی این گیاه گردید (جدول ۳). محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به ترتیب سبب افزایش معنی دار ۴ و ۳ درصدی نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر گیاه نخود نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). همچنین محلول پاشی تنظیم کننده رشد گیاه شامل سالیسیلیک اسید، جاسمونیک اسید و براسینواسترئوئید توانست سبب افزایش نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در گیاه جو شود (جدول ۴). همچنین بیشترین نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر برگ نخود و جو در سال دوم مشاهده شد (جدول ۵).

بالا تر بودن شاخص سبزیگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در گیاه نخود و جو در سال دوم نسبت به سال اول، احتمالاً به دلیل بارندگی بیشتر در سال دوم و اختلاف در شرایط آب و هوایی در دو سال می باشد. از سوی دیگر تنش شوری از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو و منجر به افزایش تولید و تجمع رادیکال های فعال می شود که به نوبه خود تخریب ساختار غشا و ساختمان کلروفیل را به دنبال دارد (García-Caparrós *et al.*, 2019). کاربرد تنظیم کننده های رشد گیاهی مثل اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری با کاهش تخریب غشاء سلولی سبب کاهش خسارت وارد به گیاه در اثر تنش شوری می شود (Pai and Sharma, 2024). محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید با القای بیان ژن های خاص و تأثیر مثبت آن بر یکپارچگی غشای سلولی سبب کاهش خسارت تنش شوری می گردند (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2018; Saleem *et al.*, 2021). در این پژوهش سامانه کشت مخلوط شرایط را برای جذب بیشتر عناصر غذایی و به خصوص پتاسیم فراهم آورد. بنابراین دور از انتظار نیست که در سامانه کشت مخلوط میزان خسارت به شاخص سبزیگی کمتری مشاهده شود. از سوی دیگر محققان گزارش کردند که استفاده از گیاهان متحمل به تنش شوری در کشت مخلوط شرایط بهتری برای رشد سایر گیاهان در شرایط تنش شوری فراهم می نماید (Ghaffarian *et al.*, 2020).

۳.۳. محتوای کلروفیل a و b

اثر آرایش کاشت و برهم کنش سال و تنظیم کننده رشد گیاه روی محتوای کلروفیل a برگ نخود و جو معنی دار بود (جدول ۸). همچنین اثر تنظیم کننده رشد گیاه و برهم کنش سال و آرایش کاشت محتوای کلروفیل b برگ گیاه نخود و جو را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار داد.

سنگه پیشانش

جدول ۸- نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای اثرات آرایش کاشت و تنظیم کننده رشد گیاه روی محتوای کلروفیل a و b، عملکرد زیست توده و عملکرد دانه در نخود و جو

Table 8. analysis of variance for the effects of cropping system and plant growth regulators on the chlorophyll a, chlorophyll b, biological yield and grain yield of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Source of variation	Degrees of freedom	chickpeas				Barley			
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Biological yield	Grain yield	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Biological yield	Grain yield
Year	1	*	**	**	**	*	**	NS	**
Cropping system (C)	3	**	**	**	**	**	**	**	**
Block × C (E _a)	6	0.761	0.007	19388	345	0.011	0.014	12440242	7462
Plant growth regulators (PGR)	3	**	**	**	**	**	**	**	**
C×PGR	9	NS	NS	*	*	NS	NS	*	*
Block × PGR (E _b)	24	0.003	0.0008	4403	442	0.004	0.004	128475	12952
C× Year	3	NS	*	*	*	NS	*	**	*
Block × C × Year (E _c)	8	0.0041	0.016	12901	323	0.011	0.003	1107657	22799
PGR × Year	3	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
C × PGR × Year	9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error	24	0.003	0.001	6422	656	0.006	0.002	117382	14053
CV (%)	-	9.5	7.4	13.6	12.4	10.0	8.8	15.8	14.0

*, **, ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری.

*, **, and ns are significant at the 5 and 1 percent of probability levels and non-significant, respectively.

بیشترین محتوای کلروفیل a برگ نخود در شرایط کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو و کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود+ ۷۵ درصد جو مشاهده شد (جدول ۳). از سوی دیگر محتوای کلروفیل a برگ جو در سامانه های کشت مخلوط نسبت به سیستم تک کشتی افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۳). از سوی دیگر در سال های اول و دوم محتوای کلروفیل a برگ نخود و جو در محلول پاشی سالیسیلیک اسید، جاسمونیک اسید و براسینواستروئید نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۷).

بیشترین محتوای کلروفیل b برگ نخود در محلول پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب افزایش ۶ و ۵ درصدی نشان داد، همچنین براسینواستروئید توانست در سطح پایینتر نسبت به دیگر تنظیم کننده های رشد سبب بهبود میزان کلروفیل b در برگ نخود شود (جدول ۴). همچنین محلول پاشی سالیسیلیک اسید، جاسمونیک اسید و براسینواستروئید توانست سبب بهبود کلروفیل b برگ جو شود (جدول ۴). در سال اول محتوای کلروفیل b برگ نخود در سامانه کشت مخلوط نسبت به تک کشتی افزایش معنی داری نشان داد شد (جدول ۹). از سوی دیگر در سال های اول و دوم بیشترین محتوای کلروفیل b برگ جو در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو و کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود+ ۲۵ درصد جو مشاهده شد (جدول ۹).

جدول ۹- مقایسه میانگین برهمکنش اثر سال و آرایش کاشت بر صفات اندازه گیری شده نخود و جو.

Table 9. Mean comparison for the effect of year and intercropping on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.).

Year	Cropping system	chickpeas			Barley		
		Chlorophyll b (mg g ⁻¹ fresh weight)	Biological yield (kg ha ⁻¹)	Grain yield (kg ha ⁻¹)	Chlorophyll b (mg g ⁻¹ fresh weight)	Biological yield (kg ha ⁻¹)	Grain yield (kg ha ⁻¹)
2021	Sole cropping	0.827 b	2994 c	834 b	0.814 c	8657 b	2719 c
	75% chickpeas + 25% Barley	0.865 a	3095 b	883 a	1.05 a	10275 a	2815 bc
	50% chickpeas + 50% Barley	0.885 a	3199 a	896 a	0.945 b	10351 a	2966 a
	25% chickpeas + 75% Barley	0.880 a	3081 b	883 a	0.888 bc	9132 b	2892 ab
2022	Sole cropping	0.922 a	3203 c	845 c	0.795 c	8819 c	2812 b
	75% chickpeas + 25% Barley	0.963 a	3383 b	898 b	1.03 a	9600 b	2990 a
	50% chickpeas + 50% Barley	1.03 a	3498 a	929 a	0.930 b	10466 a	3066 a
	25% chickpeas + 75% Barley	0.979 a	3375 b	903 b	0.898 b	9642 b	3010 a

بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن، حروف مختلف در هر ستون و هر سال اختلاف معنی داری با رویه L.S. Means در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Different letters indicate on Duncan's multiple range tests in each column and every year has a not significant difference with the procedure of L.S. Means at the 5% probability level.

توانایی گیاه برای حذف سدیم از سیتوزول سبب افزایش جذب آب و حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Wungrampha et al., 2018). محققان اظهار داشتند که افزایش غلظت نیتروژن برگ و فعالیت کربوکسیلازی رویسکو سبب سنتز بیشتر کلروفیل برگ می‌گردد (Yang et al., 2022). همچنین جذب بهتر عناصر غذایی سبب حفظ تثبیت دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز بیشتر و محافظت از کلروپلاست در شرایط تنش‌های محیطی می‌گردد (Attarzadeh et al., 2019). از سوی دیگر استفاده از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه تحت تنش شوری به دلیل حفظ ظرفیت‌های سوخت و ساز و فعالیت‌های فیزیولوژیکی برای گیاه نقش حفاظتی دارد (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2018). نتایج این آزمایش فرضیه اثرات هم‌افزایی کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص گیاه مورد تایید قرار داد. تغییرات مثبت در سامانه کشت مخلوط را می‌توان به جذب متنوع یون‌ها توسط گیاهان، تغییرات در حلالیت یون و برهم‌کنش بین یون‌ها مرتبط دانست (Guerchi et al., 2024). بنابراین سامانه کشت مخلوط به دلیل بهره‌وری بالا و استفاده بهینه از منابع سبب افزایش جذب آب و بهبود ظرفیت فتوسنتزی می‌گردد (Yin et al., 2020).

۳. ۴. عملکرد زیست توده و عملکرد دانه

عملکرد زیست توده و عملکرد دانه گیاه نخود و جو تحت تاثیر برهم‌کنش آرایش کاشت و تنظیم‌کننده رشد گیاه و برهم‌کنش سال و آرایش کاشت قرار گرفت (جدول ۸).

کشت مخلوط دو گونه نخود و جو سبب افزایش عملکرد زیست توده نسبت به سیستم تک کشتی شد (جدول ۶). در کشت خالص نخود و جو، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سبب بهبود عملکرد زیست توده نخود و جو شد. همچنین در شرایط کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود+ ۲۵ درصد جو، استفاده از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید سبب افزایش به‌ترتیب ۹ و ۸ درصدی عملکرد زیست توده نخود و جو نسبت به شاهد شد (جدول ۶). در هر حال افزایش عملکرد زیست توده گیاه نخود و جو در شرایط کشت مخلوط با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشاهده شد. از سوی دیگر در سال اول، بیشترین عملکرد زیست توده نخود و جو به‌ترتیب با میزان ۳۱۹۹ و ۱۰۳۵۱ کیلوگرم در هکتار در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو مشاهده شد (جدول ۹). همچنین در سال دوم کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو به‌ترتیب سبب افزایش ۹ و ۱۸ درصدی عملکرد زیست توده نخود و جو نسبت به کشت خالص شد.

محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سبب بهبود عملکرد دانه نخود و جو در کشت خالص گردید (جدول ۶). همچنین بیشترین عملکرد دانه نخود و جو در شرایط کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود+ ۲۵ درصد جو، با استفاده از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشاهده شد (جدول ۶). در هر حال افزایش عملکرد دانه گیاه نخود و جو در سایر شرایط کشت مخلوط با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید مشاهده شد. از سوی دیگر در سال اول، استفاده از سامانه کشت مخلوط سبب افزایش عملکرد دانه در نخود شد (جدول ۹). همچنین در سال دوم کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو سبب افزایش معنی‌داری ۱۰ درصدی عملکرد دانه نخود نسبت به کشت خالص شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه جو در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب با میزان ۲۹۶۶ و ۳۰۶۶ کیلوگرم در هکتار در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو مشاهده شد (جدول ۹).

عملکرد زیست توده و عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول افزایش نشان داد. دلیل این تفاوت را می‌توان احتمالاً میزان بارندگی بیشتر و پایین‌تر بودن دما زمان تشکیل دانه در سال دوم نسبت به سال اول دانست. در نتیجه اختلاف در شرایط آب و هوایی منجر به افزایش قابل توجه عملکرد در سال دوم نسبت به سال اول شد. در شرایط نامساعد محیطی مثل تنش شوری تفاوت‌های ژنتیکی گونه‌های مختلف و شرایط مختلف محیطی باعث تغییر در جذب عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیک می‌شود که بر رشد گیاه و عملکرد دانه تاثیر گذار است (Ghaffarian et al., 2020). از سوی دیگر افزایش در میزان عملکرد زیست توده و عملکرد دانه در سامانه‌های کشت مخلوط به دلیل ساختار متفاوت گونه‌های مختلف بوده است. بررسی کشت مخلوط در شرایط تنش شوری نشان داد که استفاده از گیاهان مختلف در سامانه‌های کشت مخلوط می‌تواند یک راهکار کاربردی جهت افزایش عملکرد زیست توده در شرایط شور باشد (Kurdali et al., 2003). در شرایط تنش‌های محیطی استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط جو با نخود راهکاری مناسب برای تولید پایدارتر این گیاهان نسبت به تک‌کشتی می‌باشد (Mohavieh Asadi et al., 2020). بنابراین استفاده از کشت مخلوط نخود و جو باعث کاهش رقابت درون گونه‌ای به ویژه رقابت بر سر نور و عناصر غذایی شده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد می‌شود. هر چند در برخی گزارش‌ها در شرایط نرمال محیطی، عملکرد بیشتر در کشت خالص نسبت به سامانه کشت مخلوط غلات و حبوبات مثل جو و ماشک (*Vicia villosa* Roth) گزارش شده است (Kahrarian and Fatemi, 2023). بهبود عملکرد دانه در سامانه‌های کشت مخلوط می‌تواند به کمتر بودن رقابت و همچنین اثرات مکملی بیشتر گونه‌ها در این سامانه‌ها باشد (Yang et al., 2017). از سوی دیگر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید نقش اساسی در پاسخ‌های سیگنالینگ گیاه دارند. آنها با تنظیم طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن و پروتئین و با فعال کردن سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی، از گیاهان در برابر تنش‌های غیر زنده محافظت کرده و باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Mohi-Ud-Din et al., 2021).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که به دلیل وجود تنش شوری و جذب سدیم، اختلال در جذب عناصر غذایی و شاخص‌های فتوسنتزی حاصل شد. از سوی دیگر، عوامل نامساعد محیطی مانند تنش شوری ممکن است با تغییر در سطوح درون‌زای هورمون‌های گیاهی و یا مسیرهای پیام‌رسانی باعث کاهش رشد و بهره‌وری گیاه شوند. بنابراین محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش‌های غیر زنده دارند. این تاثیرات پیچیده هستند و از طریق جذب آب، عناصر غذایی و بیان ژن‌های موثر در پاسخ به تنش شوری اعمال می‌گردند. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی با کاهش جذب سدیم و افزایش جذب عناصر غذایی سبب بهبود رشد شد. همچنین استفاده از سامانه کشت مخلوط بر ویژگی‌های مهم مثل جذب نیتروژن و رنگدانه‌های فتوسنتزی تاثیر مثبت داشت. چنین به نظر می‌رسد که استفاده از سامانه کشت مخلوط به صورت ردیفی باعث کاهش رقابت درون گونه‌ای به ویژه رقابت بر سر نور و عناصر غذایی شده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد در سامانه کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شود. همچنین به نظر می‌رسد که کشت مخلوط نخود و جو موجب کاهش اثرات تنش شوری روی نخود شده که گونه‌ای حساس به شوری است. در نتیجه تأثیر ترکیب مخلوط دو گونه همراه با محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی روی رشد و بدنبال آن افزایش

عملکرد دانه در شرایط تنش شوری یک نتیجه موفقیت‌آمیز بود. بنابراین، کشت مخلوط همراه با استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند برای اطمینان از پایداری تولید در شرایط تنش شوری استفاده شود.

سیاسگزاری

بدین وسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس و دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌نماییم.

References

- Ahammed, G. J., Li, X., Liu, A., & Chen, S. (2020). Brassinosteroids in plant tolerance to abiotic stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 1451-1464. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10098-0>
- Ali, M. S., & Baek, K.-H. (2020). Jasmonic acid signaling pathway in response to abiotic stresses in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 621. <https://doi.org/10.3390/ijms21020621>
- Arif, Y., Sami, F., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. *Environmental and Experimental Botany*, 175, 104040. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104040>
- Arnon, D. E. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology*, 24, 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, M., & Salehi, A. (2019). Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus with arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas fluorescent* bacterium under different irrigation regimes. *Journal of Environment Management*, 231, 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.040>
- Bhandari, S., & Nailwal, T.K. (2020). Role of brassinosteroids in mitigating abiotic stresses in plants. *Biologia*, 75, 2203-2230. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00587-8>
- Bi, Y., Zhou, P., Li, S., Wei, Y., Xiong, X., Shi, Y., Liu, N., & Zhang, Y. (2019). Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully-mixed perennial legume and grass intercropping system. *Field crops research* 244, 107636. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107636>
- Chamkhi, I., Cheto, S., Geistlinger, J., Zeroual, Y., Kouisni, L., Bargaz, A., & Ghoulam, C. (2022). Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing conditions. *Industrial Crops and Products*, 183, 114958. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114958>
- Desoky, E.-S.M., Saad, A.M., El-Saadony, M.T., Merwad, A.-R.M., & Rady, M.M. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 30, 101878. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101878>
- Es-sbihi, F. Z., Hazzoumi, Z., Aasfar, A., & Amrani Joutei, K. (2021). Improving salinity tolerance in *Salvia officinalis* L. by foliar application of salicylic acid. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00221-y>
- Farhangi-Abriz, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2018). How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants? *Ecotoxicology and environmental safety*, 147, 1010-1016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.070>
- Farhangi-Abriz, S., Alaei, T., & Tavasolee, A. (2019). Salicylic acid but not jasmonic acid improved canola root response to salinity stress. *Rhizosphere*, 9, 69-71. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.11.009>
- García-Caparrós, P., Hasanuzzaman, M., & Lao, M. T. (2019). *Oxidative Stress and Antioxidant Defense in Plants Under Salinity*, Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms, 291-309. <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch12>
- Ghaffarian, M.R., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., & Salehi, M. (2020). Improvement of physiological indices and biological yield by intercropping of *Kochia* (*Kochia scoparia*), *Sesbania* (*Sesbania aculeata*) and *Guar* (*Cyamopsis tetragonoloba*) under the salinity stress of irrigation water. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, 1319-1330. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00833-y>

- Ghassemi-Golezani, K., & Abdoli, S. (2021). Improving ATPase and PPase activities, nutrient uptake and growth of salt stressed ajowan plants by salicylic acid and iron-oxide nanoparticles. *Plant Cell Reports*, 40, 559-573. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02652-7>
- Ghassemi-Golezani, K., & Farhadi, N. (2021). The efficacy of salicylic acid levels on photosynthetic activity, growth, and essential oil content and composition of pennyroyal plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10515-y>
- Ghassemi-Golezani, K., & Farhangi-Abriz, S. (2018). Foliar sprays of salicylic acid and jasmonic acid stimulate H⁺-ATP_{ase} activity of tonoplast, nutrient uptake and salt tolerance of soybean. *Ecotoxicology and environmental safety*, 166, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.059>
- Ghorbel, M., Brini, F., Sharma, A., & Landi, M. (2021). Role of jasmonic acid in plants: the molecular point of view. *Plant Cell Reports*, 40, 1471-1494. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02687-4>
- Glaze-Corcoran, S., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Afshar, R.K., Liu, X., & Herbert, S.J. (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in agronomy*, 162, 199-256. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004>
- Guerchi, A., Mnafigui, W., Jabri, C., Merghni, M., Sifaoui, K., Mahjoub, A., Ludidi, N., & Badri, M. (2024). Improving productivity and soil fertility in *Medicago sativa* and *Hordeum marinum* through intercropping under saline conditions. *BMC Plant Biology*, 24, 158. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04820-3>
- Hafeez, M.B., Zahra, N., Zahra, K., Raza, A., Batool, A., Shaikat, K., & Khan, S. (2021). Brassinosteroids: Molecular and physiological responses in plant growth and abiotic stresses. *Plant Stress*, 2, 100029. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100029>
- Hassoon, A.S., & Abduljabbar, I. A. (2019). *Review on the role of salicylic acid in plants*. Sustainable crop production. IntechOpen, pp. 61-64.
- Hayat, K., Bundschuh, J., Jan, F., Menhas, S., Hayat, S., Haq, F., Shah, M.A., Chaudhary, H.J., Ullah, A., & Zhang, D. (2020). Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50, 1085-1115. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1646087>
- Hewedy, O.A., Elsheery, N.I., Karkour, A.M., Elhamouly, N., Arafa, R.A., Mahmoud, G.A.-E., Dawood, M.F.-A., Hussein, W.E., Mansour, A., & Amin, D.H. (2023). Jasmonic acid regulates plant development and orchestrates stress response during tough times. *Environmental and Experimental Botany*, 208, 105260. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105260>
- Kahrarian, B., Fatemi, R. (2023). The effect of intercropping Additive on yield and yield components of spring barley and vetch. *Iranian Journal of Field Crop Science* 54, 35-46. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.349393.654945>
- Kirova, E., & Kocheva, K. (2021). Physiological effects of salinity on nitrogen fixation in legumes—a review. *Journal of Plant Nutrition*, 44, 2653-2662. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1921204>
- Kurdali, F., Janat, M., & Khalifa K. (2003). Growth and nitrogen fixation and uptake in Dhaincha/Sorghum intercropping system under saline and non-saline conditions. *Communications in soil science and plant analysis*, 34, 2471-94. <https://doi.org/10.1081/CSS-120024780>
- Lang, C.A. (1958). Simple micro determination of kjeldahl nitrogen in biological materials. *Analytical Chemistry*, 30, 1692–1694. <https://doi.org/10.1021/ac60142a038>
- Li, B., Liu, J., Shi, X., Han, X., Chen, X., Wei, Y., & Xiong, F. (2023). Effects of belowground interactions on crop yields and nutrient uptake in maize-faba bean relay intercropping systems. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 69, 314-325. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1989416>
- Lotfi, R., Abbasi, A., Pessarakli, M., Rastogi, A., Kalaji, H.M., & Alizadeh, K. (2024). A comparison of Jasmonic acid and salicylic acid-induced salinity stress tolerance in safflower plants, particularly on sodium (Na) and potassium (K) nutrient contents. *Journal of Plant Nutrition*, 47, 515-528. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2280125>
- Mishra, P., Mishra, J., & Arora, N.K. (2021). Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants—recent developments and prospects: a review. *Microbiological Research*, 252, 126861. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861>
- Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., Behpouri, A., Barati, V. (2020). Effect of relay intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with barley (*Hordeum vulgare* L.) on biochemical traits and yield under late season drought stress. *Iranian Journal Pulses Research* 11, 164-182. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.78361>
- Mohi-Ud-Din, M., Talukder, D., & Rohman M. (2021). Exogenous application of methyl jasmonate and salicylic acid mitigates drought-induced oxidative damages in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plants*, 10, 2066. <https://doi.org/10.3390>

- Muchate, N. S., Nikalje, G. C., Rajurkar, N.S., Suprasanna, P., & Nikam, T. D. (2016). Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*, 82, 371-406. <https://doi.org/10.1007/s12229-016-9173-y>
- Nigam, B., Dubey, R.S., & Rathore, D. (2022). Protective role of exogenously supplied salicylic acid and PGPB (*Stenotrophomonas* sp.) on spinach and soybean cultivars grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 293, 110654. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110654>
- Pai, R., & Sharma, P.K. (2024). Exogenous supplementation of salicylic acid ameliorates salt-induced membrane leakage, ion homeostasis and oxidative damage in Sorghum seedlings. *Biologia*, 79, 23-43. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01554-9>
- Patterson, B., Macrae, E., & Ferguson, I. (1984). Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Annual Biochemical*, 139, 487-492. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(84)90039-3)
- Ramakrishna, B., & Rao, S.S.R. (2015). Foliar application of brassinosteroids alleviates adverse effects of zinc toxicity in radish (*Raphanus sativus* L.) plants. *Protoplasma*, 252, 665-677. <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0714-0>
- Ruan, J., Zhou, Y., Zhou, M., Yan, J., Khurshid, M., Weng, W., Cheng, J., & Zhang, K. (2019). Jasmonic acid signaling pathway in plants. *International journal of molecular sciences*, 20, 2479. <https://doi.org/10.3390/ijms20102479>
- Saleem, M., Fariduddin, Q., & Castroverde, C.D.M. (2021). Salicylic acid: A key regulator of redox signalling and plant immunity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 168, 381-397. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.011>
- Shahzad, R., Waqas, M., Khan, A.L., Hamayun, M., Kang, S.-M., & Lee, I.-J. (2015). Foliar application of methyl jasmonate induced physio-hormonal changes in *Pisum sativum* under diverse temperature regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96, 406-416. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.020>
- Siddiqui, H., Hayat, S., & Bajguz, A. (2018). Regulation of photosynthesis by brassinosteroids in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2639-2>
- Singh, A., 2022. Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management* 38, 39-67.
- Su, K., Mu, L., Zhou, T., Kamran, M., & Yang, H. (2022). Intercropped alfalfa and spring wheat reduces soil alkalinity in the arid area of northwestern China. *Plant and Soil*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05846-y>
- Wungrampha, S., Joshi, R., Singla-Pareek, S., & Pareek, A. (2018). Photosynthesis and salinity: are these mutually exclusive? *Photosynthetica*, 56, 366-381. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0763-7>
- Yang, F., Liao, D., Wu, X., Gao, R., Fan, Y., Raza, M. A., Wang, X., Yong, T, Liu, W., & Liu, J. (2017). Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize-soybean relay intercropping systems. *Field Crops Research*, 203, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.007>
- Yang, Q., Ravnskov, S., Pullens, J.W.M., & Andersen, M.N. (2022). Interactions between biochar, arbuscular mycorrhizal fungi and photosynthetic processes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Science of the Total Environment*, 816, 151649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151649>
- Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., Guo, Y., & Coulter, J.A. (2020). Water utilization in intercropping: A review. *Agricultural Water Management*, 241, 106335. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>
- Zhang, Y., & Li, X. (2019). Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. *Current opinion in plant biology*, 50, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.02.004>