Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 2, 2025, P. 375-396

Investigation of some physiological indicators affecting the growth of wheat plant (*Triticum aestivum*) under the influence of foliar application of growth regulators under salt and water stress conditions

Hamid Reza Tajdari [a], Ali Soleymani [*b], Nosratolah Montajabi [c], Mohammad Reza Naderi Darbaghshahi [a], Hamid Reza Javanmard [a]

[a] Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[b] Plant Improvement and Seed Production Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[c] Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
[*]Corresponding Author: a.soleymani444@gmail.com

Received: 26 February 2023 Accepted: 8 April 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.387466.1323**

How to cite this article:
Tajdari, H. R., Soleymani, A., Montajabi, N., Naderi Darbaghshahi, M. R., and Javanmard, H. R. 2025. Investigation of some physiological indicators affecting the growth of wheat plant (*Triticum aestivum*) under the influence of foliar application of growth regulators under salt and water stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions, 7*(2), 375-396. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.387466.1323

Abstract

Introduction: Agriculture, especially cereals, plays a very important role in food security. Among cereals, wheat is one of the most important crops in terms of cultivated area and production rate in the world, and plays an important role in providing the food needs of human societies**.** Among the environmental factors, salinity stress has been the subject of much global research for more than 100 years as one of the most important factors in reducing the production of agricultural products, and for about 50 years, it has received serious attention from researchers in our country. Many different solutions have been proposed to increase the performance of agricultural plants under different stress conditions, one of which is the use of plant growth regulators and their effect on the plant's hormonal balance.

Materials and Methods: To investigate the effect of foliar application of growth regulators of gibberellic acid, salicylic acid and cytokinin on physiological traits of wheat under salinity and water stress conditions, a split plots experiment based on randomized complete block design with tree replications was conducted in two agricultural research Station and farms in the northern plain of Golpayegan city during the 2022-2023 cropping seasons. The first treatment of salinity stress includes: a. Irrigation with EC: 1.5 ds / m^{-1} (first farm) and b. Salinity stress with irrigation water EC: 10 ds / m^{-1} (second farm) as an environmental factor, the second treatment of water stress with 2 irrigation levels: a. After 90 mm of cumulative evaporation from the Class A evaporation pan, b. After 120 mm of cumulative evaporation from the Class A evaporation pan as the main factor, the third treatment was the application of growth regulators of salicylic acid, gibberellic acid, and cytokinin at the level of 100 ppm, and the control treatment (no use of growth regulators) as a secondary factor. The

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

examined traits included leaf area index, total dry matter, net assimilation rate, relative growth rate, crop growth rate, chlorophyll a, b, and grain yield.

Results and Discussion: The non-saline environment and the irrigation level of 90 mm evaporation from the class A pan, compared to the saline environment and the irrigation level of 120 mm evaporation, increased the index of leaf area, total dry matter, net assimilation rate, relative growth rate, product growth rate and chlorophyll a, b. The interaction effect of environment × irrigation level × growth regulators showed the highest grain yield in non-saline environments at the irrigation level of 90 mm, evaporation from the class A pan in the gibberellic acid +cytokinin treatment at the rate of 8979.00 kg/ha and at the irrigation level of 120 mm, Evaporation from class A pan was observed at the rate of 7557.33 kg/ha in gibberellic acid +cytokinin treatment. The highest grain yield under salinity stress conditions at the irrigation level of 90 mm evaporation from class A pan in gibberellic acid × salicylic acid Treatment at the rate of 6737.33 kg/ha, and at the irrigation level of 120 mm evaporation from class A pan in gibberellic acid +salicylic acid +cytokinin treatment was observed at the rate of 5138.33 kg/ha.

Conclusion: The leaf area index and the production of more photosynthetic substances increased the growth rate of the plant. With the increase in plant growth in the final stages due to the decrease in the ratio of photosynthesizing organs to non-photosynthesizing organs, and by shading the upper organs on the lower organs and reducing the photosynthetic power per unit area, the amount of leaf area, dry weight, and the growth rate of the product and the relative growth rate of the product decreased. The decrease in the dry weight of the aerial organs and the leaf area index at the end of the growing season is probably due to the fall of the leaves and the negative net assimilation. The relative growth rate changes with changes in the state of photosynthesis and respiration of the plant, and for this reason, with the passage of time, the growth of the plant becomes negative with an increase in the amount of respiration at the end of the growth period.

Keywords: Class A evaporation pan, Grain yield, Leaf area index, Total dry matter

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴، ص ۳۹۶-۳۷۵

مقاله پژوهشی

ارزیابی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد گیاه گندم (*Triticum aestivum*) تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش شوری و آبی

حمید رضا تاجداری[۱]، علی سلیمانی*[۲]، نصرت اله منتجبی[۳]، محمد رضا نادری درباغشاهی[۱]، حمید رضا جوانمرد[۱]

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- مرکز تحقیقات اصلاح و تولید بذر، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۳- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

* مسئول مکاتبه: a.soleymani444@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.387466.1323**

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید، سالیسیلیک‌اسید و سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه گندم، آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دو مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و علوم دامی شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط غیر شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱/۵ دسی زیمنس بر متر) و مزارع دشت شمال شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱۰ دسی زیمنس بر متر) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش آبی در دو سطح آبیاری بر اساس ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسیلیک‌اسید، جیبرلیک‌اسید و سیتوکینین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام و تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب معمولی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محیط غیرشور و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A نسبت به محیط شور و سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، باعث افزایش ۳۶ درصدی شاخص سطح برگ، ۳۸ درصدی ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، کلروفیل a و b شد. اثر متقابل محیط × تنظیم‌کننده‌های رشد بر کلروفیل a و b به‌ترتیب باعث افزایش ۶۴ و ۶۸ درصدی و اثر متقابل سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد بر کلروفیل a و b به‌ترتیب باعث افزایش ۶۸ و ۷۰ درصدی میزان کلروفیل شد.

واژه‌های کلیدی: تشتک کلاس A، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، ماده خشک کل

مقدمه

جمعیت جهان به شکل روزافزونی در حال افزایش است. تقاضا برای مصرف مواد غذایی در کشورهای کمتر توسعه یافته از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۳۰ حدود ۲/۷ برابر خواهد شد. بنابراین بحران غذایی از مسایلی است که انسان امروزی با آن روبرو خواهد شد (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2019). در شرایط حال حاضر، علوم کشاورزی به بیش‌ترین تعداد مطالعات در زمینه سازگاری محصول با شرایط آب و هوایی در حال تغییر نیاز دارد. تغییرات اقلیمی، افزایش روزافزون تأثیر تنش‌های غیرزنده، از جمله شوری و خشکسالی، فرصت‌های جدیدی را برای استفاده از موادی ایجاد می‌کند که در موارد شدید تنش به حفظ سطح ثابتی از عملکرد محصولات کلیدی کمک کند (Kinga *et al.*, 2020). بخش کشاورزی خصوصاً غلات نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی و تولید ناخالص داخلی کشاورزی دارد.

در بین غلات، گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی ازلحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جهان است و نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (Rahimi *et al.*, 2017). در بین عوامل محیطی، تنش شوری بیش از ۱۰۰ سال است که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تولید محصولات کشاورزی موضوع بسیاری از پژوهش‌های جهانی بوده و حدود ۵۰ سال است که در کشور ما نیز مورد توجه جدی پژوهشگران قرارگرفته است. تشدید روند شور شدن منابع آب و خاک، باعث افزایش توجه به پژوهش‌های مرتبط با راهکارهای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط شور شده است (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2019). طبق آمار سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد (FAO) حدود ۸۳۰ میلیون هکتار از خاک‌های جهان شور هستند و از مجموع ۲۳۰ میلیون هکتار

اراضی کشاورزی آبی و ۱۵۰۰ میلیون هکتار اراضی دیم، به ترتیب ۴۵ میلیون و ۳۲ میلیون هکتار تحت تأثیر درجاتی از شوری قرار دارند(FAO, 2018). ایران هجدهمین کشور وسیع دنیا است، اما از نظر خاک به‌ویژه خاک مناسب کشاورزی چنین جایگاهی را ندارد. کاهش کیفیت آب و خاک مانند افزایش شوری به عنوان یکی از عوامل مهمی شناخته شده است که سبب کاهش رشد و عملکرد محصولات مختلف از جمله گندم می‌شود. در مناطق خشک و نیمه خشک، کاهش کمیت و کیفیت آب از جمله مسائل محدودکننده تولید است (Mosaffa *et al.*, 2019). شوری با منفی کردن پتانسیل اسمزی محیط خاک اطراف ریشه به دلیل تجمع مقادیر بالای نمک باعث ایجاد پدیده خشکی فیزیولوژی شده و به طور مستقیم به ساختار داخلی گیاه آسیب وارد می‌کند. همچنین با به هم زدن ساختمان خاک و جدا شدن ذرات کلوئیدی و تخلخل خاک برای ریشه مشکلات تنفسی بوجود می‌آورد (Pirasteh *et al.*, 2015).

راهکارهای متفاوت و متعددی برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های مختلف پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و تأثیر آن‌ها بر تعادل هورمونی گیاه است. تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین، سیتوکینین، اکسید نیتریک، براسینوستروئید، جیبرلین، سالیسیلیک‌اسید، آبسیزیک اسید، جاسمونات و اتیلن برای استفاده عملی جهت بهبود عملکرد محصول در شرایط تنش شوری و آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان تأثیرگذاری تنظیم‌کننده‌ها به شدت، ژنوتیپ، زمان کاربرد، غلظت مورد استفاده آن‌ها و شدت سطح تنش وابسته است (Quamruzzaman *et al.*, 2021). جیبرلین‌ها اثرات مختلفی در گیاهان دارند که برخی از این اثرات شامل طویل شدن بیش از اندازه ساقه‌ها به وسیله تحریک تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها، بولتینگ در گیاهان روز بلند، القای جوانه‌زنی بذرها، خصوصا در بذرهایی که نیاز سرمایی یا نوری دارند، تحریک تولید آنزیم‌های مهم هیدرولیزکننده در جوانه‌زنی بذرهای حبوبات و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی می‌باشد. سالیسیلیک‌اسید یکی دیگر از تنظیم‌کننده‌های رشدی است که نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش شوری دارد و از گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های غیر زنده حمایت می‌کند. نقش سالیسیلیک‌اسید در بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه مانند محتوای پروتئین‌های محلول، پرولین آزاد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان هورمون‌های گیاهی و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش شوری در برخی از گیاهان زراعی مانند گندم و جو نشان داده شده است (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2017). تأثیر مثبت یا منفی سیتوکینین‌ها در گیاهان بسته به زمان مصرف، غلظت مورد استفاده و گونه گیاهی متفاوت است. در اکثر پژوهش‌ها گزارش شده است که کاربرد سیتوکینین سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های غیرزنده و نیز باعث تقسیم سلولی، حذف چیرگی رأسی، تمایز ساقه و به تأخیر انداختن پیری می‌شود (Veselov *et al.*, 2017). در شرایط فعلی که شاهد تغییرات گسترده اقلیمی و به تبع آن تغییر در بافت و ساختمان خاک‌های زراعی هستیم، اتخاذ روش‌های مدیریت زراعی کاربرد مواد تنظیم‌کننده رشد و مسائلی از این دست با توجه به شرایط محیطی هر منطقه از جمله استان اصفهان به عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید محصولات زراعی، ضروری می‌باشد. هدف اصلی از انجام این آزمایش بررسی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد گیاه گندم تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش شوری و آبی در شهرستان گلپایگان بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دو مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و علوم دامی شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط غیر شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱/۵ دسی زیمنس بر متر) با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۷دقیقه شرقی و مزارع دشت شمال شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱۰ دسی زیمنس بر متر) با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی در هر محیط به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش در هر محیط شامل تنش آبی در دو سطح آبیاری بر اساس ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید،

سالیسیلیک‌اسید و سیتوکینین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام و تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب معمولی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمار با تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید، سالیسیلیک‌اسید و سیتوکینین به صورت پاششی در دو مرحله: ۱- برجستگی دوگلنه ، ۲- مرحله سنبلچه انتهایی یا طویل شدن ساقه به میزان ۲۵ سی‌سی محلول تنظیم‌کننده رشد در ۵ لیتر آب در هر کرت در ابتدای صبح انجام شد.

جدول ۱- مشخصات اقلیم منطقه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 1- Climate characteristics of the region in the cropping seasons 2021-2022

ماه Month	حداکثر مطلق دما maximum Absolute temperature (℃)	حداقل مطلق دما Absolute minimum (℃) temperature	میانگین ماهانه تبخیر Average monthly (mm) evaporation	میانگین ماهانه بارندگی Average monthly rainfall (mm)
آبان November	15.5	3.9	0	**52.1**
آذر December	12.9	0.8	0	**41.9**
دی January	8.9	-2.5	0	**55.7**
بهمن February	9.7	-2.5	0	**21.5**
اسفند March	3.5	3.5	0	**40.5**
فروردین April	21.3	6.8	205.3	**2.3**
اردیبهشت May	24.7	10.9	275.6	**7**
خرداد Jun	31.9	16.6	368.5	**0**
تیر July	35.9	19.5	421.5	**0**

جدول ۲- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزارع غیرشور و شور گلپایگان درسال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 2-Physicochemical characteristics of the soil of non-saline and saline fields in golpayegan in the cropping seasons 2021-2022

مزرعه Field	عمق خاک Soil depth (cm)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم Potassium (mg/kg)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	بافت خاک Soil texture
عدم شوری Non-saline	0-30	7.19	0.62	0.06	16.36	175	19	27	54	لومی سیلت Loami silt
شور Salinity	0-30	7.62	0.55	0.04	11	216	20	29	51	لومی سیلت Loami silt

صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، میزان کلروفیل a ، b و عملکرد دانه بود. در این آزمایش از گندم رقم سیوند که رقم غالب منطقه است استفاده شد. این رقم هگزاپلوئید، مقاوم به زنگ سیاه و زرد، آفات، ریزش دانه و خوابیدگی بوته بوده و مناسب برای کشت در مناطق معتدل کشور می‌باشد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و علوم دامی گلپایگان در فاصله ۱۸۰ کیلومتری و مزارع دشت شمال در فاصله ۱۴۰ کیلومتری مرکز استان اصفهان قرار گرفته‌اند. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی (Koppen,1936)، اقلیم شهرستان گلپایگان با نماد BSK (BS نمایانگر اقلیم نیمه خشک و K نشانگر اقلیم‌های است که در عرض‌های میانی جغرافیایی قراردارند و دمای میانگین سالانه آن‌ها زیر ۱۸ درجه سانتی‌گراد) نشان داده می‌شود (جدول۱).

به‌منظور اجرای این طرح، قبل از کاشت، از خاک قطعه زمین واقع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و مزارع دشت شمال گلپایگان، نمونه‌برداری انجام گرفت و این نمونه‌ها جهت انجام آزمایش خاک به آزمایشگاه خاکشناسی مرکز تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی استان اصفهان ارسال شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در جدول ۲ ارائه شده است.

جهت انجام این پژوهش ۲ قطعه زمین به مساحت هر کدام ۸۰۰ متر مربع (۴۰×۲۰) مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور آماده سازی زمین در اواخر تابستان ۱۴۰۰ توسط گاو آهن برگردان‌دار شخم به عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و به کمک دیسک و لولر کلوخه‌ها خرد و تسطیح زمین انجام گرفت. پس از انجام شخم، با توجه به نتیجه آزمایش کودی خاک، در مزرعه غیرشور در زمان قبل از کاشت، تمام کود فسفر مورد نیاز از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار (ساخت شرکت ارکان شیمی جنوب)، کود پتاسه از نوع سولفات پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (شرکت ارکان شیمی جنوب) و یک سوم کود نیتروژن (ساخت شرکت پتروشیمی پردیس) به صورت اوره به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه و سپس دیسک زده شد. پس از انجام دیسک با لولر زمین مورد نظر تسطیح گردید. مابقی کود اوره در مراحل ساقه رفتن و قبل از گل‌دهی هر کدام به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک اضافه شد. در مزرعه شور نیز در زمان قبل از کاشت، تمام کود فسفر مورد نیاز به صورت سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار (ساخت شرکت ارکان شیمی جنوب)، کود پتاسه از نوع سولفات پتاسیم به میزان ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار (ساخت شرکت ارکان شیمی جنوب) و یک سوم کود نیتروژن (شرکت پتروشیمی پردیس) به صورت اوره به خاک اضافه و سپس دیسک زده شد. پس از انجام دیسک با لولر زمین مورد نظر تسطیح گردید. مابقی کود اوره در مراحل ساقه رفتن و قبل از گل‌دهی هر کدام به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک اضافه شد. در ادامه، کرت‌هایی به طول هشت متر و عرض ۱۴۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. هر کرت آزمایشی شامل هفت خط کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. عملیات کاشت بذر در مزرعه غیر شور در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۰۱ و در مزرعه شور ۱۴۰۰/۰۹/۱۵ با تراکم ۴۰۰ بوته در هکتار انجام گرفت که علت اختلاف ۴۵ روز در تاریخ کاشت، شرایط محیطی و شوری آب آبیاری در مزرعه شور (دشت شمال) بود. جهت ممانعت از اثرات متقابل تیمارهای هم جوار بین دو کرت هم جوار 1 متر و فاصله بین تکرارها 3 متر در نظرگرفته شد. همچنین در این آزمایش، از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایشی نیم‌متر و خطوط کاشت اول، چهارم و هفتم حذف و از قسمت‌های باقی‌مانده جهت انجام نمونه‌برداری استفاده شد. نمونه‌برداری در ۵ مرحله انجام شد. مرحله اول نمونه‌برداری در مزرعه غیر شور، ۱۳۵ روز بعد از سبز شدن و در مزرعه شور ۷۵ روز بعد از سبز شدن صورت پذیرفت. مراحل بعدی هر ۱۵ روز یک‌بار و در مرحله برداشت نهایی نیز یک مرحله نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری توسط یک کوآدرات ۱×۱ متر مربع صورت گرفت و نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی با نوشتن کد برای هر یک گذاشته شد. بعد از اندازه‌گیری صفات، پاکت‌ها درون آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت گذاشته و توسط یک ترازوی دیجیتال با حساسیت یک صدم اندازه‌گیری و نتایج به دست آمده نوشته شد. همچنین در برداشت نهایی ۱ مترمربع از ردیف‌های میانی هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای از سطح خاک برداشت و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

برای تعیین محتوای نسبی آب پرچم، تغییرات شاخص سطح برگ، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول به ترتیب از روابط ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ استفاده شد (Ahmadi *et al*., 2011).

$$RWC= (FW- DW) / (TW- DW) \quad (۱)$$

$$LAI= LA / GA \quad (۲)$$

$$NAR= CGR / LAI \quad (۳)$$

$$RGR= (Ln\ W2- Ln\ W1) / (T2- T1 \quad (۴)$$

$$CGR= (W2- W1) / (T2- T1) \quad (۵)$$

کلیه داده‌های حاصله با استفاده از نرم‌افزار Mstat c ورژن ۱/۱/۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، برای بدست آوردن ضرائب رگرسیونی از نرم‌افزار Stat Graphic ورژن ۱۸/۱/۰۰۱ و نیز جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

در این پژوهش با توجه به اجرای آزمایش در دو محیط مجزا و برای تجزیه مرکب صفات و بررسی امکان ترکیب دو

محیط از آزمون بارتلت استفاده شد که به دلیل معنی‌دار نبودن آن تجزیه مرکب محیط‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). شاخص سطح برگ در محیط غیر شور (هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی زیمنس بر متر) و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد تا حدود ۱۶۰ روز پس از سبز شدن به شدت افزایش یافت. در این زمان، گیاه متأثر از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بوده و در مرحله سنبلچه انتهایی قرار داشت. تا ۱۷۰ روز پس از سبز شدن همزمان با مرحله آبستنی، با ظهور سنبله در اواخر اردیبهشت ماه به حداکثر خود رسید و از ۱۸۰ روز پس از سبز شدن همزمان با مرحله گل‌دهی به علت انتقال مواد فتوسنتزی از اندام رویشی به اندام زایشی، کاهش یافت (شکل ۱ الف).

بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط غیر شور در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمارهای جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید و جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به ترتیب به میزان ۲/۹۶ و ۲/۹۱ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۲/۳۲ بود. شاخص سطح برگ در محیط غیرشور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد تا حدود ۱۶۵ روز پس از سبز شدن که همزمان با مرحله سنبلچه انتهایی بود افزایش یافت، در ۱۷۵ روز پس از سبز شدن و همزمان با ظهور سنبله به حداکثر خود رسید و از ۱۸۰ روز پس از سبز شدن به علت انتقال فاز رویشی به مرحله گل‌دهی کاهش یافت (شکل ۱ ب).

بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط غیرشور در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمارهای جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به ترتیب به میزان ۲/۲۹ و ۲/۲۸ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱/۶۱ بود. در مطالعه‌ای مربوط به گندم هم کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در شرایط تنش آبیاری از طریق کاهش فشار تورگر و به واسطه پیری تدریجی و از دست رفتن برگ‌ها گزارش شد (Muhammad *et al*., 2016).

شاخص سطح برگ در محیط شور (هدایت الکتریکی ۱۰ دسی زیمنس بر متر) و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد تا حدود ۱۰۰ روز پس از سبز شدن به شدت افزایش یافت، در ۱۰۰ روز پس از سبز شدن در مرحله آبستنی به حداکثر خود رسید و از ۱۱۵ روز پس از سبز شدن به شدت کاهش یافت (شکل ۱ ج). بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط شور در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱/۹۵ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱/۴۱ بود.

شاخص سطح برگ در محیط شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نیز تا حدود ۱۰۵ روز پس از سبز شدن افزایش یافت، در ۱۱۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید و از ۱۲۰ روز پس از سبز شدن به شدت کاهش یافت (شکل ۱د). بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمارهای جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱/۸۲ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱/۴۹ بود.

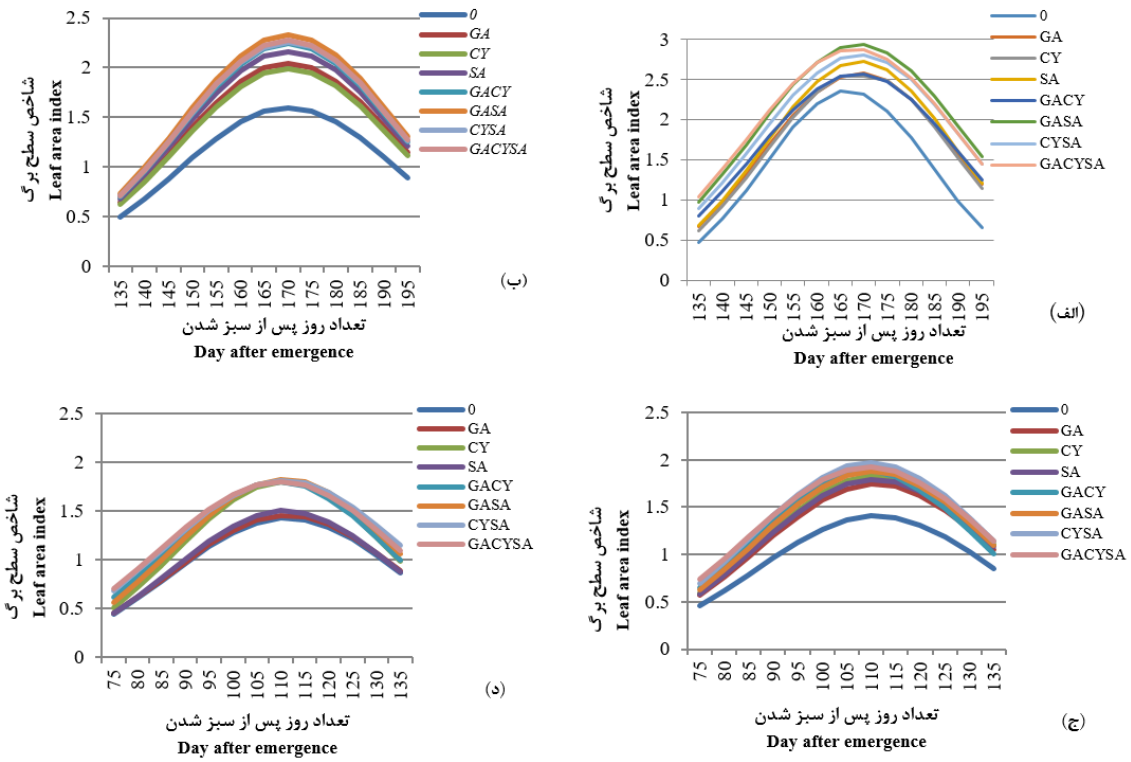
در پژوهش حاضر، محیط شور نسبت به محیط غیر شور طول دوره رشد کوتاه‌تری را تجربه کرد که دلیل آن مواجه شدن با شرایط نامناسب محیطی از جمله تنش شوری و آبی بود. لذا گیاه مراحل رشد خود را جهت فرار از این شرایط نامناسب کوتاه نمود (طول دوره رشد گیاه در محیط غیر شور ۲۴۳ روز و در محیط شور ۲۱۲ روز بود). مرحله حداکثر تجمع ماده خشک با مرحله حداکثر شاخص سطح برگ در نمودار روند رشد گیاه تقریبا مطابقت دارد. در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبستگی صفات نیز مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان شاخص سطح برگ و ماده خشک کل ($r = ۰/۷۹۲^{**}$)

وجود داشت که نشان‌دهنده هم‌روندی بین دو صفت می‌باشد (جدول ۹). در مطالعه‌ای برروی گندم هم کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ درشرایط تنش آبیاری به واسطه پیری تدریجی و ازدست رفتن برگ‌ها گزارش گردید (Muhammad *et al.*, 2016).

هم‌چنین محققان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین افزایش سطح برگ مربوط به تیمار محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله شروع پنجه زنی بود که این روند تا ۱۶۶ روز پس از کاشت به‌همین ترتیب ادامه داشت (Hashemi *et al.*, 2015)

ماده خشک کل

روند تجمع ماده خشک کل در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان می‌دهد که تا حدود ۱۳۵ روز پس از سبز شدن، تجمع ماده خشک با سرعت بطئی صورت گرفته و پس از آن تجمع ماده خشک با سرعت زیادی افزایش یافت که این زمان بعد از مرحله سنبلچه انتهایی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بود و در ۱۶۵ تا ۱۷۵ روز به حداکثر خود رسید. در این زمان گیاه در مرحله سنبلچه انتهایی بود و این روند رشد تا مرحله آبستنی ادامه پیدا کرد و پس از آن تا برداشت نهایی به دلیل ریزش برگ‌های مسن و حذف ماده خشک پهنک و دمبرگ‌های خشک شده، ماده خشک کل کاهش یافت (شکل ۲ الف).



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به روز پس از سبز شدن در:
(الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
(ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر
(ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
(د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 1- The trend of leaf area index changes (LAI) in day after emergence in:
(a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
(b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level
(c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
(d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

جدول ۳- تجزیه مرکب صفات فیزیولوژیکی در دو محیط شور و غیرشور در تنش‌های آبی و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد

Table 3- Composite analysis of physiological traits in two saline and non-saline environments under water stress and foliar application of growth regulators

		میانگین مربعات Mean squares				
منبع تغییرات S. O. V	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry mater	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	عملکرد دانه Grain yield
محیط Environment	1	9.93**	5051755.04**	4.53**	3.53**	**132713957.04****
تکرار در محیط Repeat in Environment	4	0.08	71816.71	0.01	0.06	**485758.46**
آبیاری Irrigation	1	2.46^{ns}	7.02^{ns}	4.71*	4.12*	**45460290.04***
محیط × آبیاری Environment × Irrigation	1	0.96**	25807.04^{ns}	0.01^{ns}	0.00^{ns}	**15050.04***
خطای الف Error a	4	0.00	15795.80	0.00	0.00	**729954.17**
تنظیم‌کننده Regulator	7	0.38**	456398.71**	0.80**	0.74**	**3810329.99****
محیط× تنظیم‌کننده Environment × Regulator	7	0.04**	35176.85^{ns}	0.02**	0.04**	**73156.47^{ns}**
آبیاری × تنظیم‌کننده Irrigation× Regulator	7	0.00^{ns}	5054.04^{ns}	0.02*	0.03**	**80284.47^{ns}**
محیط×آبیاری× تنظیم‌کننده Environment × Irrigation×Regulator	7	0.03**	27553.42^{ns}	0.00^{ns}	0.00^{ns}	**88379.85^{ns}**
خطای ب Error b	56	0.01	18153.49	0.00	0.00	**188996.45**
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		4.44	11.84	4.68	4.57	**6.58**

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

* ,** and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

بیش‌ترین میزان تجمع ماده خشک در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد متعلق به تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک اسید + سیتوکینین به میزان ۱۶۵۱/۳۳ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۱۰۹۰/۰۰ گرم بر متر مربع مشاهده شد (جدول ۸).

روند تجمع ماده خشک کل در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد نیز به علت فاصله کوتاه دور آبیاری مانند سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر بود (شکل ۲ ب) در این سطح آبیاری بیش‌ترین ماده خشک در تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱۶۳۱/۳۲ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۱۰۴۴/۰۰ گرم بر متر مربع مشاهده شد (جدول ۸). در هر دو محیط شور و غیر شور با نزدیک شدن به دماهای بالا شاهد ریزش برگ‌ها بودیم که در کنار تنش شوری و خشکی باعث کاهش ماده خشک گردید که این شرایط در محیط شور بیشتر نمایان شد. این نتایج با گزارش‌های سایر محققین مبنی بر کاهش ماده خشک تولیدی درشرایط تنش مطابقت دارد (Soleymani, 2017; Ren *et al*., 2016).

عملکرد بالا در شـرایطی بدسـت می‌آید که دما در ابتدای رویش، پایین، در مرحله رشد، متوسط و در مرحله رسیدن بالا باشـد. بدیهی اسـت میزان عملکرد را باید در ارتباط با تمامی عوامل و فرآیندهایی در نظر گرفت که مرتبط با عملکرد دانه و وابسته به تولید ماده‌ی خشک باشند (Fathi *et al.*, 2011).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی در دو محیط شور و غیرشور، تنش‌های آبی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد

Table 4- The results of Mean comparisons physiological traits in two saline and non-saline environments, water stress and foliar application of growth regulators

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry mater (g/m^2)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
محیط Environment					
محیط عدم شوری Non-saline	2.39^{a}	1367.58^{a}	1.26^{a}	1.10^{a}	**7781.08^{a}**
محیط شور Saline	1.57^{b}	908.79^{b}	0.82^{b}	0.71^{b}	**5429.54^{b}**
سطوح آبیاری Irrigation Levels (mm)					
90	2.23^{a}	1172.17^{a}	1.26^{a}	1.11^{a}	**7293.46^{a}**
120	1.91^{a}	1104.21^{a}	0.82^{b}	0.70^{b}	**5917.17^{b}**
تنظیم‌کننده Regulator					
Control	1.71^{c}	891.00^{e}	0.72^{c}	0.59^{c}	**5349.33^{e}**
GA	1.97^{b}	927.5^{de}	0.81^{c}	0.67^{bc}	**6760.42^{bc}**
CY	2.03^{b}	999.00^{cde}	0.97^{b}	0.86^{b}	**6539.17^{cd}**
SA	2.04^{ab}	1133.33^{bc}	0.81^{c}	0.73^{bc}	**6331.75^{d}**
GACY	2.16^{ab}	1113.5^{bc}d	1.28^{a}	1.15^{a}	**7040.83^{a}**
GASA	2.24^{a}	1268.17^{ab}	1.03^{b}	0.83^{b}	**6921.42^{ab}**
CYSA	2.17^{ab}	1370.33^{b}	1.32^{a}	1.17^{a}	**6863.17^{ab}**
GACYSA	2.24^{a}	1402.67^{a}	1.38^{a}	1.23^{a}	**7036.42^{ab}**

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی

Table 5- The results of mean comparisons interaction effect of environment × irrigation levels on physiological traits

تیمار Treatment		شاخص سطح برگ Index Leaf Area	ماده خشک کل Total dry mater (g/m^2)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)
محیط عدم شوری Non salty environment	**90 mm**	2.65^{a}	1385.17^{a}	1.47^{a}	**1.29^{a}**
	120 mm	2.13^{b}	1350.00^{a}	1.04^{b}	**0.89^{b}**
محیط شور Salinity environment	**90 mm**	1.81^{c}	959.17^{b}	1.05^{b}	**0.93^{b}**
	120 mm	1.69^{d}	858.42 ^{b}	0.59^{c}	**0.49^{c}**

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

روند تجمع ماده خشک کل در محیط شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که تا حدود ۷۵ روز پس از سبز شدن تجمع ماده خشک با سرعت بطئی صورت گرفته و پس از آن تجمع ماده خشک کل با سرعت زیادی افزایش یافت و در ۱۱۰ تا ۱۲۰ روز به حداکثر خود رسیده و پس از آن تا برداشت نهایی به دلیل ریزش برگ‌های مسن و حذف ماده خشک پهنک و دمبرگ‌های خشک شده، وزن خشک کل لندکی کاهش یافت (شکل ۲ ج). بیش‌ترین میزان تجمع ماده خشک در محیط شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد متعلق به تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱۲۲۲/۶۷ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۷۴۳/۳۳ گرم بر متر مربع مشاهده شد (جدول ۸).

روند تجمع ماده خشک کل در محیط شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد نیز به علت فاصله کوتاه دور آبیاری مانند سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر بود (شکل ۲د). در این سطح آبیاری بیش‌ترین ماده خشک در تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱۱۰۵/۳۳ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۶۸۶/۶۷ گرم بر متر مربع مشاهده شد.

در هر دو محیط شور و غیر شور دلیل برتری ماده خشک کل در مرحله پنجه‌زنی احتمالاً به دلیل رشد سریع‌تر برگ‌ها و بیشتر شدن رشد عمومی گیاه است، چرا که روند سریع رشد برگ‌ها باعث جذب بیشتر انرژی خورشیدی، آسیمیلات‌سازی و افزایش فتوسنتز خواهد شد و بر تجمع ماده خشک کل می‌افزاید. نتایج این آزمایش با یافته‌های سایر محققین که اعلام نمودند بیش‌ترین وزن خشک بوته در شرایط محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در مراحل شروع پنجه‌زنی و برجستگی دوگانه به دست آمد، نیز مطابقت داشت (Hashemi *et al*., 2015).

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محیط × تنظیم کننده های رشد بر صفات فیزیولوژیکی در دو محیط شور و غیر شور در محلول پاشی تنظیم کننده های رشد

Table 6- The results of Mean comparisons interaction effect of environment × growth regulators on physiological traits in two saline and non-saline environments Foliar application of growth regulators

تیمار Treatment		شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry mater (g/m^2)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)
محیط غیر شور Non-saline environment	Control	1.97^{e}	1067.00^{de}	0.87^{h}	**0.70^{g}**
	GA	2.30^{cd}	1116.00^{d}	0.98^{g}	**0.82^{f}**
	CY	2.25^{d}	1210.33^{bcd}	1.21^{d}	**1.08^{c}**
	SA	2.4^{bc}	1369.00^{b}	1.00^{fg}	**0.91^{e}**
	GACY	2.46^{b}	1300.67^{bc}	1.52^{b}	**1.38^{b}**
	GASA	2.65^{a}	1612.33^{a}	1.31^{c}	**0.97^{d}**
	CYSA	2.49^{b}	1624.00^{a}	1.54^{b}	**1.41^{b}**
	GACYSA	2.60^{a}	1641.33^{a}	1.62^{a}	**1.5^{a}**
محیط شور Salinity environment	Control	1.45^{h}	715.00^{h}	0.57^{k}	**0.48^{j}**
	GA	1.63^{g}	739.00^{gh}	0.65^{j}	**0.53^{ij}**
	CY	1.80^{f}	787.67^{fgh}	0.74^{i}	**0.64^{h}**
	SA	1.68^{g}	897.67^{fg}	0.61^{jk}	**0.55^{i}**
	GACY	1.85^{f}	926.33^{ef}	1.03^{f}	**0.92^{de}**
	GASA	1.83^{f}	924.00^{ef}	0.75^{i}	**0.69^{gh}**
	CYSA	1.84^{f}	1116.67^{d}	1.10^{e}	**0.93^{de}**
	GACYSA	1.88^{ef}	1164.00^{cd}	1.14^{e}	**0.96^{d}**

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

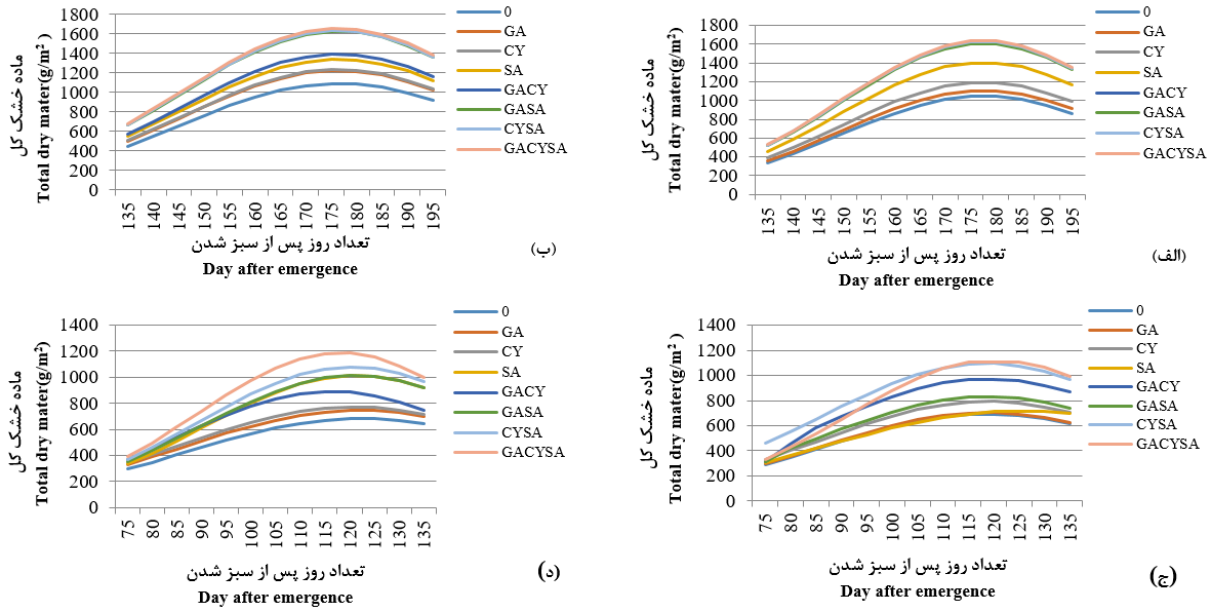
جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد بر صفات فیزیولوژیکی

Table 7- The results of mean comparisons interaction effect of irrigation levels × growth regulators on physiological traits

تیمار Treatment		شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن خشک کل Total dry mater (g/m2)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)
	Control	1.87^{fg}	916.67^{ef}	0.86^{g}	0.75^{f}
	GA	2.15^{cde}	955.67^{ef}	1.00^{f}	0.85^{e}
	CY	2.16^{bcde}	1010.33^{def}	1.19^{d}	1.09^{b}
90 mm	SA	2.21^{abcde}	1206.00^{abcd}	1.04^{f}	0.94^{cd}
	GACY	2.29^{abcd}	1138.33^{bcde}	1.52^{b}	1.41^{a}
	GASA	2.41^{ab}	1324.67^{abc}	1.29^{c}	0.96^{cd}
	CYSA	2.32^{abc}	1388.67^{a}	1.57^{b}	1.42^{a}
	GACYSA	2.43^{a}	1437.00^{a}	1.64^{a}	1.48^{a}
	Control	1.55^{h}	865.33^{f}	0.58^{i}	0.43^{i}
	GA	1.79^{g}	899.33^{ef}	0.63^{i}	0.5^{hi}
	CY	1.89^{fg}	987.67^{def}	0.76^{h}	0.63^{g}
120mm	SA	1.87^{fg}	1060.67^{def}	0.58^{i}	0.52^{h}
	GACY	2.03^{efg}	1088.67^{cdef}	1.04^{f}	0.89d^{e}
	GASA	2.08^{cdef}	1211.67^{abcd}	0.77^{h}	0.69^{fg}
	CYSA	2.01^{efg}	1352.00^{ab}	1.07e^{f}	0.92^{cde}
	GACYSA	2.06^{def}	1368.33^{ab}	1.12^{de}	0.99^{c}

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.



شکل ۲- روند تغییرات ماده خشک کل نسبت به روز پس از سبز شدن در:

(الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر (ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر

(ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر (د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 2- The trend of Total dry mater changes (TDM) in day after emergence in:

(a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level

(b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

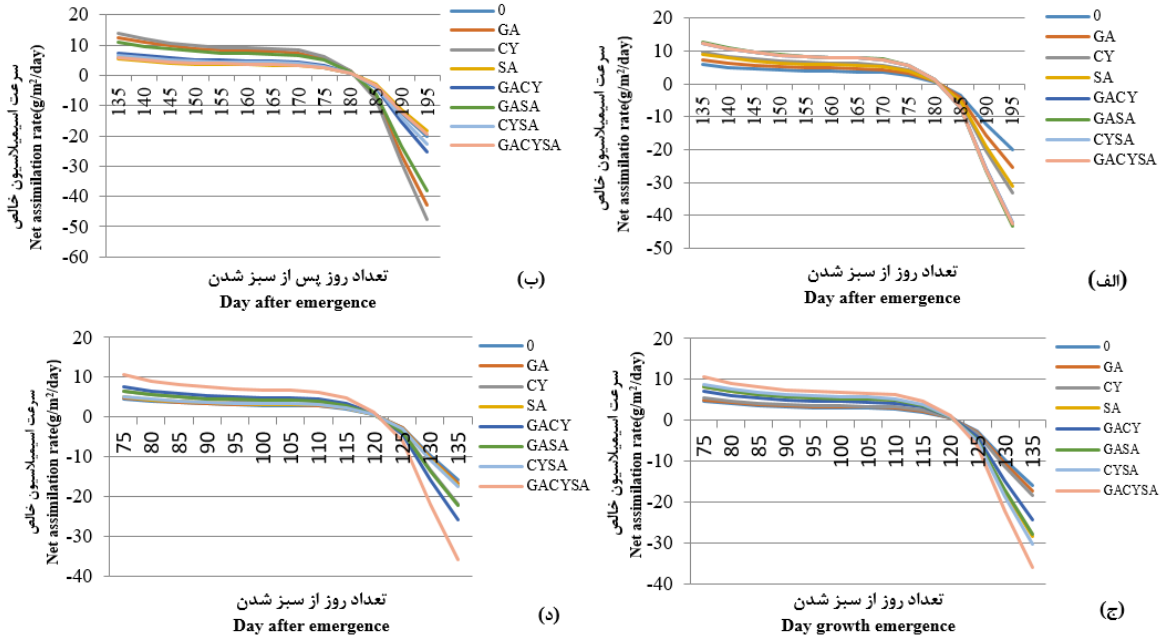
(c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level

(d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

سرعت اسیمیلاسیون خالص

روند سرعت اسیمیلاسیون خالص در محیط غیرشور و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که گیاه در اوایل دوره رشد با قرار گرفتن در محیط مناسب، سطح برگ بیش‌تری را تا حدود ۱۷۰ روز پس از سبزشدن نسبت به سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تولید می‌کند (شکل‌های ۳ الف و ب) که البته به علت کوتاه بودن فاصله آبیاری اختلاف زیادی بین سطوح آبیاری مشاهده نگردید. علت افزایش سرعت جذب خالص در ابتدای فصل رشد به این موضوع بر می‌گردد که میزان شاخص سطح برگ مرتباً کاهش پیدا می‌کند و با کاهش شاخص سطح برگ نهایتاً سرعت جذب خالص افزایش می‌یابد. نتایج یک آزمایش نشان داد که آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از نظر سرعت جذب خالص، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری نداشت. آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی به طور قابل توجهی باعث کاهش سرعت جذب خالص، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه شد. لذا آبیاری گندم پس از تبخیر تجمعی ۹۰ میلی‌متر ، می‌تواند تا ۲۲ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کند و در این شرایط کاهش معنی‌داری در شاخص‌های رشد مشاهده نشد (Dehghanzadeh, 2019).

روند سرعت اسیمیلاسیون خالص در محیط شور و سطح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان می‌دهد که گیاه در اوایل دوره رشد شاخص سطح برگ کم‌تری را تا حدود ۱۱۰ روز پس از سبز شدن تولید کرد که با قرار گرفتن در محیط شور سطح برگ کم‌تری نسبت به محیط غیرشور تولید کرد (شکل‌های ۳ ج ود). این گونه استنباط می‌شود که در تیمار تنش شدید به دلیل شاخص سطح برگ کم‌تر، برگ‌های بیش‌تری درمعرض نور مستقیم خورشید قرارگرفته و مقادیر حداکثر سرعت اسیمیلاسیون خالص بیش‌تری درمقایسه با تیمارهای شاهد و تنش ملایم ایجاد شد (Muhammad *et al*., 2016).



شکل ۳- روند تغییرات اسیمیلاسیون خالص نسبت به روز پس از سبز شدن در:

(الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر (ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

(ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر (د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 3- The trend of Net assimilation rate changes (NAR) in day after emergence in:

(a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level

(b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

(c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level

(d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

سرعت رشد نسبی

سرعت رشد نسبی (RGR) بیان‌کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است. تغییرات سرعت رشد نسبی بر مبنای روزهای پس از کاشت در ترکیبات تیماری مختلف نشان داد که در تمام ترکیبات تیماری، سرعت رشد نسبی، با افزایش سن گیاه کاهش یافت. کاهش سرعت رشد نسبی گیاه در طی فصل رشد، می‌تواند به پیری برگ‌های پایینی، در سایه قرار گرفتن آن‌ها و همچنین افزایش بافت‌ها و کربوهیدرات‌های ساختمانی (که در فتوسنتز نقشی ندارند) نسبت به بافت‌های متابولیکی فعال نسبت داده شود. طبق نتایج به دست آمده با افزایش سن گیاه سرعت رشد نسبی ارقام به صورت خطی (با شیب‌های متفاوت) کاهش یافت (شکل‌های ۴ الف، ب، ج، د). از آنجایی که سرعت رشد نسبی با مشتق گیری از تغییرات وزن خشک نسبت به زمان تعیین می‌گردد و مشتق در نقطه حداکثر صفر می‌باشد لذا در محیط غیر شور در سطوح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در محدوده بین ۱۷۰ تا ۱۹۵ روز پس از سبز شدن و در محدوده بین ۱۱۵ تا ۱۲۵ روز پس از سبز شدن در محیط شور و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر و ۱۱۵ تا ۱۳۵ روز پس از سبز شدن در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر یعنی جایی که تجمع ماده خشک به حداکثر میزان خود رسیده است، صفر گردید و بعد از آن منفی شد. تغییرات سرعت رشد نسبی (شکل‌های ۴ الف، ب، ج، د) نشان می‌دهد که در تمام ترکیبات تیماری، سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه کاهش می‌یابد.

به نظر می‌رسد رقابت برای کسب آب و عناصر غذایی در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A در دوره زمانی بیش‌تری اتفاق می‌افتد و در نتیجه میزان فتوسنتز خالص و در نهایت سرعت رشد نسبی کاهش بیش‌تری نسبت به تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر داشت. در تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر به علت فراهم بودن آب بیش‌تر سرعت رشد نسبی با شیب کم‌تری کاهش یافت.

در تیمارهای محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد، کاهش سرعت رشد از شاهد کمتر بود، یعنی اینکه وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در گیاهان شاهد کمتر از گیاهان تیمار شده بود. به نحوی که در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تیمار جیبرلیک اسید + سیتوکینین و در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید و در محیط شور در هر دو سطح آبیاری تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین باعث افزایش میزان رشد نسبی گیاه شد که این امر می‌تواند به دلیل فراهمی عناصر غذایی در مراحل اولیه رشد رویشی باشد.

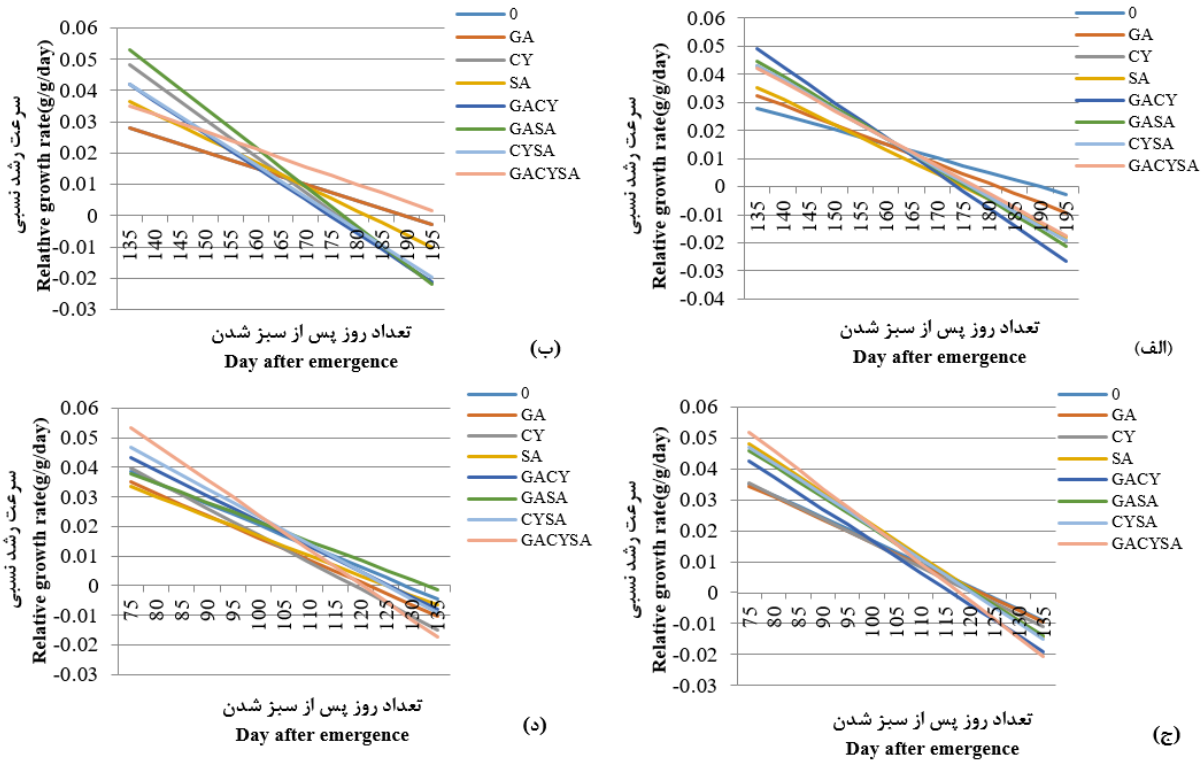
بر اساس (شکل‌های ۴ الف، ب، ج، د) حداکثر سرعت رشد نسبی در ابتدای فصل رشد به دست آمد و پس از آن روند کاهشی نشان داد. از آنجا که با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد، وزن افزایش یافته نسبت به وزن اولیه کم‌تر می‌شود سرعت رشد نسبی نیز روند کاهشی نشان می‌دهد و حداقل مقادیر این شاخص نیز در انتهای فصل رشد به دلیل توقف رشد گیاه حاصل می‌گردد. به نظر می‌رسد در ابتدای فصل رشد و قبل از ساقه رفتن به علت نفوذ نور بیشتر به داخل جامعه گیاهی و سایه اندازی کم‌تر برگ‌ها بر روی یکدیگر و جذب خالص و در نتیجه تنفس کم‌تر میزان سرعت رشد نسبی بالا بوده و به تدریج به دلیل متراکم شدن کانوپی، میزان سرعت رشد نسبی روندی کاهشی داشته و در آخر فصل رشد به دلیل پیری گیاه، افزایش بافت‌های ساختمانی، کاهش کارایی تولید و متوقف شدن فعالیت‌های گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و زایشی میزان سرعت رشد نسبی به کم‌ترین مقدار خود طی فصل رشد گندم می‌رسد.

سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول در اوایل دوره رشد در محیط غیر شور و سطوح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد متفاوت بوده و در ۱۳۵ تا ۱۴۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید و پس از آن سرعت رشد محصول روند کاهشی پیدا کرد (شکل‌های ۵ الف و ب).

روند سرعت رشد محصول در محیط شور در سطوح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر بخیر با محیط غیر شور متفاوت بود. به نحوی که پس از دوره کوتاه رشدی در اوایل سبز شدن، سرعت رشد محصول ۸۵ تا ۹۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید و پس از آن روند رشد کاهشی شد (شکل‌های ۵ ج و د). این موضوع نشان‌دهنده تأثیر مستقیم شرایط تنش‌های محیطی بر سرعت رشد و کوتاه شدن روند رشد گیاه و درنتیجه کاهش

استفاده حداکثری از شرایط محیطی نسبت شرایط نرمال را به دنبال داشت. شاخص سطح برگ نقش اصلی را درتعیین سرعت رشد محصول داشته است. نتایج یک آزمایش حاکی از آنست که با افزایش شدت تنش خشکی حداکثر سرعت رشد محصول به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرعت رشد محصول با شاخص سطح برگ مشاهده شد که نشانگر همروندی این صفات در تولید ماده خشک کل است (Soleymani, 2017).



شکل ۴- روند تغییرات سرعت رشد نسبی نسبت به روز پس از سبز شدن در:
(الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
(ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر
(ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
(د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 4- The trend of Relative growth rate changes (RGR) in day after emergence in:
(a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
(b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level
(c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
(d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

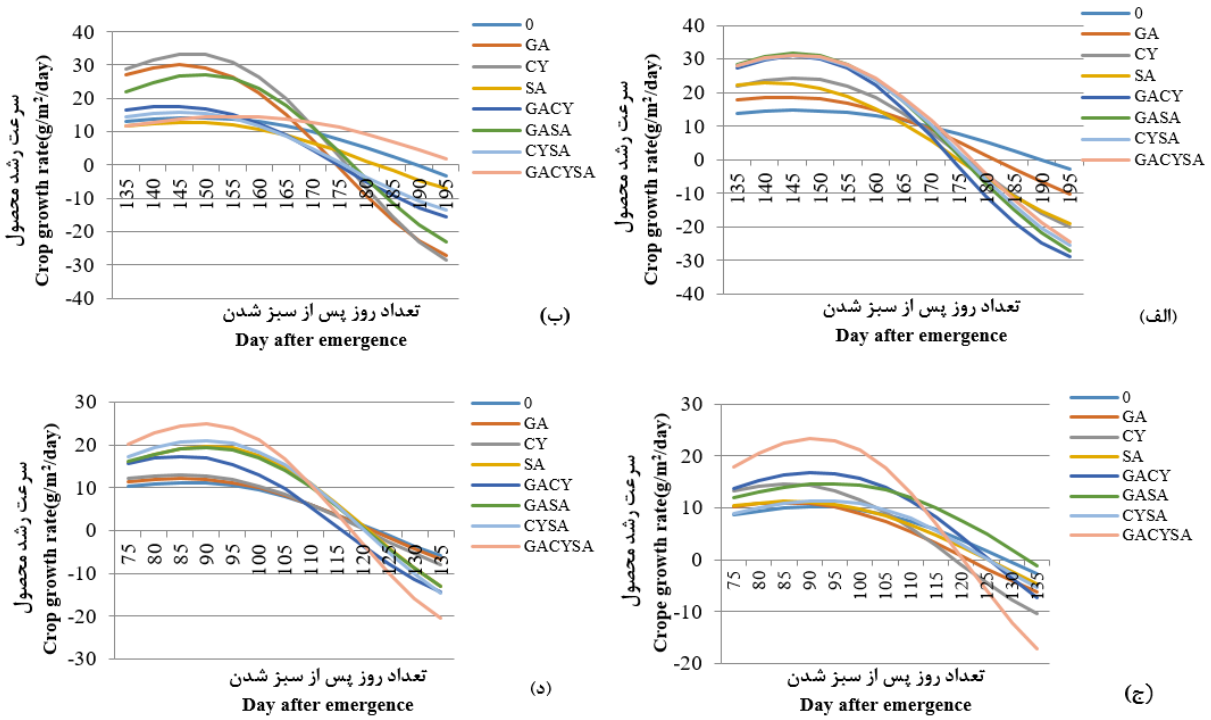
میزان کلروفیل a

اثر متقابل محیط × تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل a در محیط عدم شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید به میزان ۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که با سایر تیمارهای محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). نتایج حاکی از آن است که محیط‌های غیر شور و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش ۶۴ درصدی میزان کلروفیل a گردید.

در آزمایش حاضر شوری با اثر بر روی کلروپلاست و تغییر ساختمان کلروپلاست باعث کاهش تجمع کلروفیل در محیط شور شد. لذا محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با توجه به اثرات هرکدام به علت تعدیل در کاهش مقدار رنگیزه‌های

فتوسنتزی و احتمالاً با حفظ ساختار و فعالیت روبیسکو باعث افزایش مقدار قندها و عملکرد دانه شد.

در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبستگی صفات نیز مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کلروفیل a و عملکرد دانه (r =۰/۷۴۰**) وجود داشت که نشان‌دهنده هم‌روندی بین این صفات می‌باشد (جدول ۹). کاهش فتوسنتز بر روی غلات می‌تواند به دلیل واکنش‌های متفاوت تجمع کلروفیل و یا تغییرات ساختمان کلروپلاست در شرایط تنش شوری باشد (Fallah, 2013).



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول نسبت به روز پس از سبز شدن در:
(الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
(ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر
(ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
(د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 5- The trend of Crop growth rate changes (CGR) in day after emergence in:
(a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
(b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level
(c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
(d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

بیش‌ترین میزان کلروفیل a در شرایط سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید به میزان ۱/۶۴ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که اختلاف آن با سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و سایر تیمارهای محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی معنی‌دار بود. (جدول۷). نتایج حاکی از آن است که اثر متقابل سطوح آبیاری× محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد موجب افزایش ۶۴ درصدی میزان کلروفیل a گردید. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزکننده کلروفیل a و b، میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را به‌ترتیب ۳۲، ۳۴، ۱۵، ۱۴درصد افزایش داده است که این افزایش ارتباط مثبتی با عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی داشته است(Rezabeigi *et al*., 2021)

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده های رشد بر صفات فیزیولوژیکی

Table 8- The results of mean comparisons interaction effect of environment × irrigation levels × growth regulators on physiological traits

		تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry mater (g/m^2)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
		Control	2.32^{fg}	1090.00^{def}	0.98^{ij}	0.84^{i}	**7258.33^{ef}**
		GA	2.55^{cd}	1130.67^{def}	1.18^{h}	1.00^{h}	**8743^{ab}**
		CY	2.49^{de}	1230.67^{cde}	1.42^{de}	1.30^{c}	**8316^{abc}**
		SA	2.62^{bcd}	1336.67^{cd}	1.24^{gh}	1.11^{fg}	**8154^{bcd}**
	90	GACY	2.67^{bc}	1390.00^{bc}	1.76^{b}	1.64^{b}	**8979^{a}**
		GASA	2.96^{a}	1624.67^{ab}	1.57^{c}	1.06^{gh}	**8825^{ab}**
		CYSA	2.71^{b}	1627.33^{ab}	1.78^{ab}	1.66^{b}	**8653.33^{ab}**
		GACYSA	$2.^{91a}$	1651.33^{a}	1.85^{a}	1.76^{a}	**8925.33^{ab}**
محیط غیرشور Non salty environment		Control	1.61^{no}	1044.00^{efg}	0.76^{m}	0.57^{mn}	**5715^{klm}**
		GA	2.06^{hi}	1101.33^{def}	0.78^{klm}	$0.63l^{m}$	**7304^{ef}**
		CY	2.02^{ij}	1190.00^{cde}	1.00^{ij}	0.85^{i}	**7056.67^{efg}**
		SA	2.18^{gh}	1401.33^{abc}	0.77^{klm}	0.70^{jkl}	**6865^{efgh}**
	120	GACY	2.26^{fg}	1211.33^{cde}	1.29^{fg}	1.13^{efg}	**7557.33^{de}**
		GASA	2.35^{ef}	1600.00^{ab}	1.06^{i}	0.52^{n}	**7049.33^{efg}**
		CYSA	2.28^{fg}	1620.67^{ab}	1.3^{fg}	0.67^{kl}	**7550^{cde}**
		GACYSA	2.29^{fg}	1631.33^{ab}	1.39^{de}	0.73^{jk}	**7546^{cde}**
		Control	1.41^{p}	743.33^{ij}	0.73^{m}	0.66^{kl}	**4685.67^{n}**
		GA	1.75^{mn}	780.67^{hij}	0.82^{kl}	0.7^{jkl}	**5964^{ijk}**
		CY	1.84^{klm}	790.00^{hij}	0.96^{j}	0.87^{i}	**6172.33^{hijk}**
		SA	1.8^{klm}	1075.33^{def}	0.84^{kl}	0.76^{j}	**5866.67^{jkl}**
	90	GACY	1.91^{ijklm}	886.67^{fghij}	1.29^{fg}	1.19^{def}	**6536.33^{fghij}**
		GASA	1.86^{jklm}	1024.67^{efgh}	1.00^{ij}	0.86^{i}	**6737.33^{efghi}**
		CYSA	1.93^{ijkl}	1150.00^{cde}	1.35^{ef}	1.18^{def}	**6343^{ghijk}**
		GACYSA	1.95^{jkl}	1222.67^{cde}	1.43^{d}	1.20^{de}	**6536^{fghij}**
محیط شور Salinity environment		Control	1.49^{op}	686.67^{j}	0.41^{o}	0.30^{p}	**3738.33^{o}**
		GA	1.52^{op}	697.33^{j}	0.48^{n}	0.36^{op}	**5030.67^{mn}**
		CY	1.77^{lm}	785.33^{hij}	0.52^{n}	0.42^{o}	**4611.67^{n}**
		SA	1.56^{op}	720.00^{ij}	0.39^{o}	0.34^{op}	**4441.33^{no}**
	120	GACY	1.8^{klm}	966.00^{efghi}	0.78^{klm}	0.65^{kl}	**5090.67^{mn}**
		GASA	1.8^{klm}	823.33^{ghij}	0.49^{n}	0.52^{n}	**5074^{mn}**
		CYSA	1.75^{mn}	1083.33^{def}	0.84^{kl}	0.67^{kl}	**4906.33^{n}**
		GACYSA	1.82^{klm}	1105.33^{def}	0.85^{k}	0.73^{jk}	**5138.33^{lmn}**

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

میزان کلروفیل b

اثر متقابل محیط × تنظیم‌کننده رشد و سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل b در محیط عدم شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید به میزان ۱/۵ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که با سایر تیمارهای محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). نتایج حاکی از آن است که

محیط‌های غیر شـــور و محلول‌پاشـــی تنظیم‌کننده‌های رشـــد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین+ سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش ۶۸ درصدی میزان کلروفیل b گردید.

محققان نشـــان دادند که با افزایش میزان شـــوری، مقادیر کلروفیل‌های a و b در گیاه کلزا کاهش معنی‌داری یافت که میزان کاهش کلروفیل b در تمامی تیمارها بیش‌تر از کلروفیل a بود (Eghbal *et al*., 2013). که این گزارش با نتایج حاضـر در این آزمایش مطابقت دارد. عکس‌العمل کلروفیل b در محیط و ســـطوح مختلف آبیاری نیز همانند کلروفیل a بود. تنش‌های مختلف شـوری و خشـکی با اثر بر سـاختمان کلروپلاسـت باعث کاهش کلروفیل b شـد. اما محلول‌پاشـی تنظیم‌کننده‌های رشـد در شرایط تنش شوری و آبی باعث تعدیل اثرات منفی شده و در نهایت افزایش عملکرد گیاه را به دنبال داشـت. در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبسـتگی صـفات نیز مشـاهده می‌شـود که همبسـتگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کلروفیل b و عملکرد دانه ($r = ۰/۷۳۵^{**}$) وجود داشت که نشان‌دهنده هم‌روندی بین این صفات می‌باشد(جدول ۹).

اثر متقابل سـطوح آبیاری × محلول‌پاشـی تنظیم‌کننده‌های رشد بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل b در شـرایط سـطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشـت کلاس A و محلول‌پاشـی تنظیم‌کننده‌های رشـــد جیبرلیک‌اســـید + ســـیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید به میزان ۱/۴۸ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که اختلاف آن با ســـطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و ســـایر تیمارهای محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج حاکی از آن اســـت که اثر متقابل ســـطوح آبیاری × محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد موجب افزایش ۷۰ درصدی میزان کلروفیل b گردید. طی یک آزمایش نیز عنوان شـــد که جیبرلیک اسید، میزان کلروفیل‌های a , b و سرعت فتوسـنتزی را تحریک کرده، شکل و ساختمان پلاستیدها را تغییر می‌دهد و هم‌چنین این ماده می‌تواند میزان فعالیت آنزیم روبیســـکو را در شـرایط آزمایشـگاهی تغییر دهد (Nazarbeigi *et al*., 2014). پـاشـــش ســـیتوکینین بـا غلظـت ۱۰۰ پی‌پی‌ام در کنـار آبسـیزیک‌اسـید در شـرایط تنش خشـکی نسـبت به تیمار فاقد تنش بـاعـث اختلاف معنی‌دار در شـــاخص‌هـای کلروفیـل فلورسـانس، محتوای نسـبی آب برگ (RWC)، وزن هزاردانه و عملکرد دانـه شـــد (Sarafraz-Ardakani *et al*., 2017). محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسـنتزکننده کلروفیل a و b میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را به‌ترتیب ۱۵، ۱۴ ، ۳۴ ، ۳۲ درصـد افزایش داده که این افزایش ارتباط مثبتی با عملکرد گندم در شـرایط تنش خشـکی داشـته اسـت (Rezabeigi *et al*., 2021).

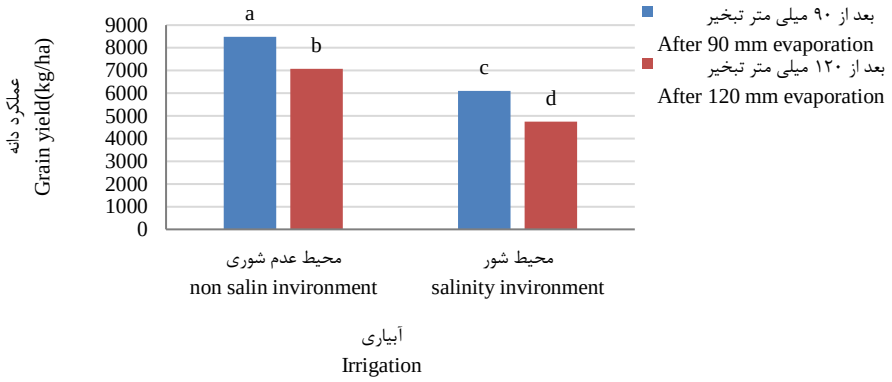
عملکرد دانه

اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصـد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشـترین عملکرد دانه در شرایط عدم شوری و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشـت کلاس A به میزان ۸۴۸۱/۷۵ کیلوگرم در هکتار حاصـل شـــد که اختلاف آن با محیط شـــور و آبیاری در ســـطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر معنی‌دار بود (جدول ۵) و (شـــکل ۶). نتایج حاکی از آن است که اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری موجب افزایش ۴۳ درصـدی عملکرد دانه گردید. تنش آبی عملکرد دانه را کاهش می‌دهد کـــه ایـــن کاهش به علت اثرات منفی این تنش بر ســـطح بـــرگ، فتوســـنتز پوشـــش گیـــاهی، ســـرعت رشـــد محصـــول و اجزای مختلف عملکرد می‌باشد (Jaberi *et al*., 2015; Faroog *et al*., 2016).

شـــوری و خشـــکی از جمله تنش‌های مهم و تأثیرگذار در عملکرد دانه اســـت که با اثر بر روی ســـطح برگ و کاهش فتوســـنتز، عملکرد نهایی را به شـــدت کاهش می‌دهد. کمیت و کیفیت دانه مهم‌ترین عامل در ارزیابی عملکرد گیاه به حســـاب می‌آید. عملکرد دلنه در اکثر گیاهان زراعی حاصـــل فاکتورهای محیطی و ژنتیکی می‌باشد.

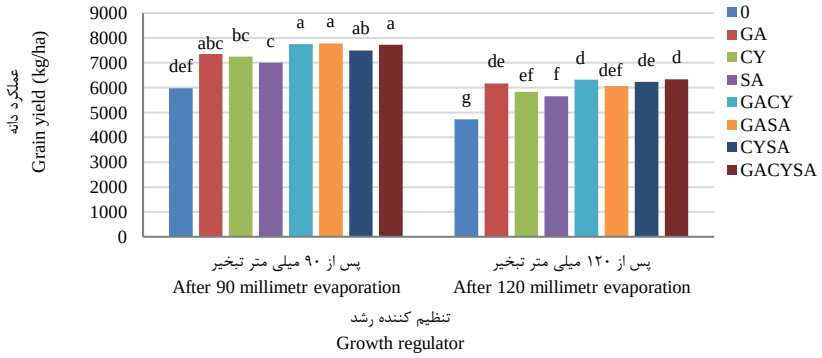
فاکتورهای محیطی از قبیل کیفیت آب، خاک و تنش‌های محیطی بـه شـــدت عملکرد نهـایی را تحـت تـأثیر خود قرار می‌دهند. در گیاه گندم ارتباط مسـتقیمی بین اندام‌های مختلف رویشی و زایشی از قبیل منبع و مقصد وجود دارد. بدست آوردن عملکرد مناسب حاصل رشد مناسب در اندام‌های سبزینه‌ای از جمله برگ‌ها، سـاقه‌ها، پدانکل و سـایر قسـمت‌ها می‌باشـد. قرار گرفتن این مراحل رشـدی در شـرایط مناسـب تضـمین کننده عملکرد اقتصـــادی و بهبود کیفیت در مخزن گیاه گندم بود. در آزماش حاضـر نیز در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبسـتگی

صفات نیز مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان عملکرد دانه و صفات شاخص سطح برگ ($r = ۰/۸۰۳^{**}$) و ماده خشک کل ($r = ۰/۷۴۳^{**}$) وجود داشت که نشان‌دهنده هم‌روندی بین این صفات می‌باشد (جدول ۹). افزایش نرخ فتوسنتز و عملکرد دانه از طریق تنظیم محتوای کلروفیل، افزایش تولید کربوهیدرات و تنظیم اسمزی در دو رقم گندم متحمل (پیشگام) و حساس (MV-17) طی کاربرد خارجی غلظت ۱۵۰میکرومولارکینتین(اسپری کردن) در مرحله بروز تنش در شرایط مزرعه طی مرحله پر شدن دانه مشاهده شده است (Sarafraz-Ardakani *et al*., 2014).



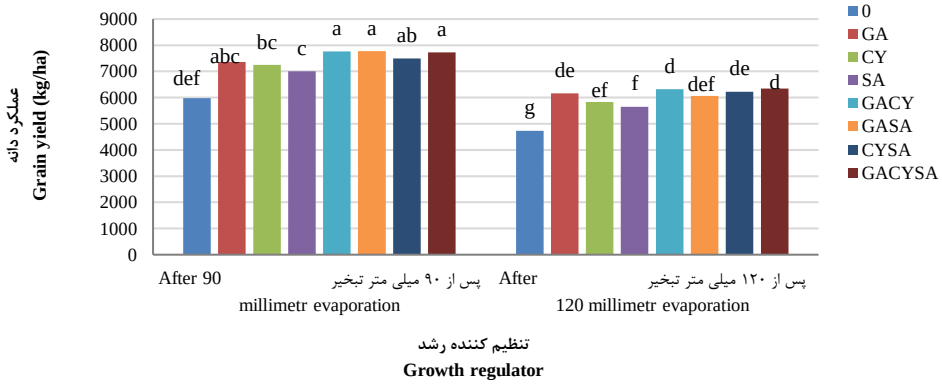
شکل ۶- اثر متقابل محیط و سطوح آبیاری روی عملکرد دانه

Figure 6- The interaction effect of environment and irrigation levels on grain yield



شکل ۷- اثر متقابل محیط و تنظیم‌کننده های رشد روی عملکرد دانه

Figure 7- The interaction effect of environment and growth regulators on grain yield



شکل ۸- اثر متقابل سطوح آبیاری و تنظیم‌کننده های رشد روی عملکرد دانه

Figure 8- The interaction effect of irrigation levels and Growth regulators on grain yield

جدول ۹- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده

Table 9- Correlation between measured traits

	LAI	TDM	CHLa	CHLb	GY
شاخص سطح برگ LAI	1				
ماده خشک کل TDM	0.786**	1			
کلروفیل a CHLa	0.805**	0.805**	1		
کلروفیل b CHL b	0.761**	0.766**	0.964**	1	
عملکرد دانه GY	0.803**	0.743**	0.740**	0.735**	1

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

* ,** and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر شاخص سطح برگ مطلوب از جمله عوامل مؤثر در عملکرد دانه بود. شاخص سطح برگ بیش‌تر با افزایش فعالیت فتوسنتزی موجب تجمع بیش‌تر هیدرات‌های کربن و تجمع ماده خشک گردید. تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تر باعث افزایش سرعت رشد گیاه شد. با افزایش رشد گیاه در مراحل پایانی به علت کاهش نسبت اندام‌های فتوسنتزکننده به اندام‌های غیرفتوسنتزکننده و با سایه‌اندازی اندام‌های بالایی بر روی لندام پایینی و کاهش توان فتوسنتزی در واحد سطح، میزان سطح برگ، ماده خشک، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی محصول کاهش یافت. کاهش ماده خشک اندام‌های هوایی و شاخص سطح برگ در اواخر فصل رشد احتمالاً به دلیل ریزش برگ‌ها و منفی شدن اسیمیلاسیون خالص می‌باشد. سرعت رشد نسبی با تغییرات وضعیت فتوسنتز و تنفس گیاه تغییر می‌یابد و به همین دلیل با گذشت زمان، رشد گیاه با افزایش مقدار تنفس در اواخر دوره رشد، منفی می‌گردد. لذا توسعه مطلوب سطح برگ، تجمع ماده خشک و رشد گیاه منوط به قرار گرفتن آن در شرایط بدون تنش از جمله شوری و آبی است که در کنار این موضوع استفاده از تیمار ترکیبی سه تنظیم‌کننده رشد (جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید) با غلظت توصیه شده ۱۰۰ پی‌پی‌ام با توجه به اثرات تخصصی هر کدام به صورت پاششی در دو مرحله: ۱- برجستگی دوگانه (Double ridge)، ۲- مرحله سنبلچه انتهایی یا طویل شدن ساقه (Terminal spikelet) می‌تواند به خوبی عملکرد گیاه را در اکثر صفات بخصوص در شرایط تنش شوری و آبی افزایش دهد. با توجه به تأثیرات بسیار زیادی که تنظیم‌کننده‌های رشد بر روی عملکرد و کیفیت و ثبات تولید محصول دارند می‌بایست به آنها توجه بیشتری کرد. با توجه به نتایج می‌توان سه توصیه کاربردی را بیان کرد که این توصیه‌ها عمدتاً برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری کلی می‌باشد. ۱- نگرش سیستم به آنها به عنوان یک کالای لوکس و غیر استراتژیک تغییر کند. ۲- توصیه می‌شود تحقیقات بیشتری در خصوص مصادیق کاربردی تنظیم‌کننده‌ها رشد گیاهی در کشور انجام شود. ۳- آموزش و ترویج کشاورزان و تبیین اهمیت و سودمندی تنظیم‌کننده‌های رشد برای تمامی گیاهان اعم از زراعت و باغبانی مخصوصاً در شرایط تنش‌های محیطی.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچگونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

Ahmadi, J., Khatibi, M., Amirshakari, H., and Aminidhaghi, M., 2013. Evaluation of effective morpho-physiological indicators on the performance of spring wheat cultivars using multivariate statistical methods. *Journal of Agriculture Science, 4*(4), pp.55-66. [In Persian].

Dehghanzadeh, H., 2019. Evaluation of some physiological growth indices effective on growth and grain yield of three wheat cultivars under drought stress. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(2), pp.365-375. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1394.1300

Eghbal, M., and Ashraf, M., 2013. Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, *86*, pp.76-85. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.06.002

Fallah, A., 2013. The final report of the research project on some physiological mechanisms related to salinity stress in rice cultivars. *Journal of Publications of the Country's Rice Research Institute*. [In Persian].

FAO., 2018. FAO. Soils portal, salt-affected soils. FAO/AGL Rome. Retrieved from http://www.fao.org/soilsportal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affectedsoils/en/

Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S.S., and Siddique, K.H.M., 2016. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science, 203*(2), 81-102. https://doi.org/10.1111/jac.12169

Fathi, R., Reza, T., and Farzad, F., 2011. Characterization of Iranian landrace wheat accessions by inter simple sequence repeat (ISSR) markers. *Journal of Applied Environment Biological Science, 1*, pp.432-436. https://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.48516

Hashemi, S.A., Imam, Y., and Pirasteh Anousheh, H., 2015. Effect of time and method of salicylic acid application on growth process, yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress. *Crop Physiology*, *6*(24), pp.5-18. [In Persian].

Jaberi, H., Lotfi, B., Jamshidnia, T., Fathi, A., Olad, R., and Abdollahi, A., 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. *Scientia*, *12*(3), pp.144-148. https://doi.org/10.15192/pscp.sa.2015.12.3.144148

Kinga, M., Idzi, S., Roman, K., Jolanta, K., and Roman, K., 2020. Effect of foliar applied acetylsalicilic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions. *Agronomy*, *10*(12), pp.1-19. https://doi.org/10.3390/agronomy10121918

Koppen, W., 1636. Das geographische system der Klimate. In W. Koppen and R. Geger (Eds.), *Handbuch der Klimatologie* (pp.1-44). Gebruder Borntraeger.

Mosaffa, H.R., and Sepaskhah, A.R., 2019. Performance of irrigation regimes and water salinity on winter wheat as influenced by planting methods. *Agricultural Water Management, 216*, pp.444-456. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.027

Muhammad, Z.I., Fathy, S.E., and Saleh, M.I., 2016. Wheat phenological development and growth studies as affected by drought and late season high temperature stress under arid environment. *Frontiers in Plant Science*, pp.1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00795

Nazarbeigi, A., Falahi, H.A., Naseri, R., Mirzaei, A., and Rashidpour, M., 2014. Effect of different concentrations of salt (NaCl), salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA3) on proline content and a, b chlorophylls of two

cultivars of canola (Hayola 401 and RGS). *Journal of Plant Ecophysiology Applied Research, 1*(2), pp.25-37. [In Persian].

Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y., 2017. Induced salinity tolerance and altered ion storage factor in *Hordeum vulgare* plants upon salicylic-acid priming. *Iran Agricultural Research, 36*(1), pp.41-84. [In Persian].

Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y., 2019. The role of plant growth regulators in enhancing crop yield under saline conditions: From theory to practice. *Iranian Journal of Crop Sciences, 21*(3), pp.188-209. https://doi.org/10.29252/abj.21.3.188

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., and Sepaskhah, A.R., 2015. Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. *International Journal of Plant Production, 9*(3), pp.467-486. https://doi.org/10.22069/ijpp.2015.2226

Quamruzzaman, M.D., Nuruzzaman Manik, S.M., Shabala, S., and Zhou, M., 2021. Improving performance of salt-grown crops by exogenous application of plant growth regulators. *Biomolecules, 6*(11), pp.788. https://doi.org/10.3390/biom11060788

Rahimi, A., Bihamta, M.R., and Khodarahmi, M., 2017. Evaluation of different characteristics of wheat genotypes under drought stress using multivariate statistical. *Journal of Crop Breeding, 9*(21), pp.147-152. https://doi.org/10.29252/jcb.9.21.147

Ren, D., Xu, X., Hao, Y., and Huang, G., 2016. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: Application to maize, sunflower and watermelon. *Journal of Hydrology, 532*, pp.122-139. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.040

Rezabeigi, S., Bijanzadeh, A., and Behpuri, A., 2021. The effect of foliar application of salicylic acid on photosynthetic pigments, enzyme activity and yield of pasta wheat (*Triticum durum* L.) under drought stress conditions. *Plant Process and Function, 9*(35), pp.243-258.

Sarafraz Ardakani, M.R., Khavarinejad, R.A., Moradi, F., and Najafi, F., 2017. Photosynthetic efficiency and grain yield of two varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) during drought stress under external application of cytokinin and abscisic acid treatments. *Environmental Stress in Agricultural Sciences, 11*(3), pp.503-514. https://doi.org/10.22077/escs.2018.431.1081

Soleymani, A., 2017. Effect of drought stress on some physiological growth indices of sunflower cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 10*(4), pp.505-519. https://doi.org/10.22077/escs.2017.108.1028

Veselov, D.S., Kudoyarova, G.R., Kudryakova, N.V., and Kusnetsov, V.V., 2017. Role of cytokinins in stress resistance of plants. *Russian Journal of Plant Physiology, 64*(1), pp.15-27. https://doi.org/10.1134/s1021443717010162