مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۳۹، شماره ۱، ۱۳۸۷ (۴۲-۳۳)

برهمکنش ماده تنظیم کننده رشد کلرمکوات کلرید (CCC) و تنش خشکی بر رشد و عملکرد دانه سه رقم جو پاییزه (*Hordeum vulgare* L.)

نوش‌آفرین خواجه[۱]، یحیی امام*[۲]، حسن پاک‌نیت[۳] و علی‌اکبر کامگار حقیقی[۴]
۱، ۲، ۳، ۴، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و دانشیاران دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
(تاریخ دریافت:۸۶/۲/۱۸ - تاریخ تصویب:۸۶/۱۲/۱)

چکیده

به منظور بررسی اثر ماده تنظیم کننده رشد کلرمکوات کلرید (CCC) در شرایط تنش خشکی بر رشد و عملکرد دانه سه رقم جو در شرایط اقلیمی مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ´٤٦ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی ´۵۰ °۲۹ شمالی)، پژوهشی مزرعه‌ای طی سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ انجام شد. آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح رطوبتی: آبیاری مطلوب و تنش خشکی (قطع آبیاری) بعد از گرده افشانی به عنوان عامل اصلی، محلول پاشی بوته‌ها توسط کلرمکوات کلرید در دو سطح (صفر و ۱۳۷۰ گرم ماده موثر در هکتار در مرحله نموی انگیزش آغازه لما) به عنوان عامل فرعی و سه رقم جو (ریحانه، کارون در کویر و والفجر) به عنوان عامل فرعی فرعی بود. نتایج بدست آمده نشان داد که اعمال تنش خشکی بعد از گرده افشانی باعث کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گردید. تنش خشکی اجزای عملکرد دانه به جز تعداد دانه در سنبله را به طور معنی‌دار کاهش داد. کلرمکوات کلرید در شرایط مطلوب رطوبتی افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را به دنبال داشت، لیکن در شرایط تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. از بین اجزای عملکرد دانه، تعداد سنبله در واحد سطح تحت تاثیر معنی‌دار کلرمکوات کلرید قرار گرفت. وزن خشک و سطح برگ بوته‌های تیمار شده تحت تاثیر تنش خشکی نسبت به بوته‌های شاهد کاهش معنی‌دار نشان دادند. پس از گرده افشانی، سطح سبز برگ‌ها و وزن خشک بوته‌های تیمار شده با کلرمکوات کلرید نسبت به بوته‌های شاهد زیادتر بود. هر چند درک مکانیزم دقیق تاثیر کلرمکوات کلرید بر عملکرد دانه جو در شرایط تنش خشکی نیازمند پژوهش‌های بیشتر و طولانی مدت‌تری است، لیکن با توجه به نتایج پژوهش حاضر به نظر می‌رسد کاربرد به موقع کلرمکوات کلرید در مزارع آبی جو بتواند افزایش عملکرد دانه را به دنبال داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: کلرمکوات کلرید، تنش خشکی، عملکرد، اجزای عملکرد، جو

مقدمه

خشکی و کمبود آب مهم‌ترین عاملی است که در اغلب نقاط جهان تولیدات کشاورزی را مورد تهدید قرار می‌دهد. این عامل در ایران نیز یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید می‌باشد. در مناطق خشک ونیمه خشک میزان بارندگی اندک (معمولا کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر) است و توزیع آن از سالی به سال دیگر متفاوت بوده و بنابراین پیش‌بینی میزان و توزیع آن بسیار مشکل است (۵، ۶).

*نویسنده مسئول: یحیی امام تلفن: ۰۷۱۲-۲۶۵۳۳۷۴ E-mail: Yaemam@shirazu.ac.ir

امروزه روش‌های متفاوتی جهت مقابله با اثرات تنش خشکی مد نظر قرار گرفته است (۲۷). یکی از این روش‌ها استفاده از مواد شیمیایی تنظیم کننده رشد گیاهی نظیر کلرمکوات کلرید (CCC) است (۱۱). تاثیر تنظیم کنندگی رشد کلرمکوات کلرید نخستین بار توسط تولبرت (۱۹۶۰) در طیف وسیعی از گیاهان به اثبات رسید و هدف اولیه از کاربرد کلرمکوات کلرید در تولید گیاهان زراعی به اثر ضد خوابیدگی آن محدود می‌شد. نتایج پژوهش‌های بعدی نشان داد که کاربرد کلرمکوات کلرید حتی در غیاب خوابیدگی هم باعث افزایش در عملکرد دانه می‌شود (۱۹).

کاربرد این ماده با هدف تحریک تولید پنجه یا تغییر در رشد گیاه زراعی تنها در صورتی موثر واقع می‌شود که در مرحله مناسب نمو مریستم انتهایی بکار برده شده باشد (۲۹). کاربرد به موقع کلرمکوات کلرید مراحل نمو مریستم انتهایی را به تاخیر می‌اندازد که باعث افزایش پنجه‌زنی و تعداد بیشتر سنبله در واحد سطح می‌شود (۱۲). اثر کندکنندگی کاربرد زود هنگام کلرمکوات کلرید موقتی است، اما همراه با افزایش دائمی اندازه مقصد می‌باشد (۱۷).

در پژوهش‌های مزرعه‌ای کاربرد به هنگام کلرمکوات کلرید در اواسط پنجه‌زنی با افزایش عملکرد دانه بین ۱۰ تا ۱۷ درصد در جو بهاره و ۱۲ تا ۱۸ درصد در جو زمستانه همراه بوده است. دلیل این افزایش عملکرد دانه، افزایش تعداد سنبله در واحد سطح بوده است (۳۴).

دی و همکاران (۱۱) از پژوهش مزرعه‌ای خود چنین نتیجه گرفتند که در شرایط تنش خشکی با کاربرد کلرمکوات کلرید در گندم، رشد ریشه در لایه‌های عمقی خاک افزایش یافته و با ازدیاد کارایی مصرف آب عملکرد دانه افزایش یافته است.

در غلات مختلف نشان داده شده که تنش خشکی، تقریبا در هر مرحله از زندگی گیاه بین آغازش سنبله و رسیدگی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود (۸). البته به نظر می‌رسد که این اثرات در بافت‌ها و اندام‌هایی بیشتر تاثیر دارد که در زمان وقوع تنش در مراحل رشد یا نمو سریع هستند (۸ و ۹).

آسپینال و همکاران (۸) در مطالعه اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه جو دریافتند که کلیه مراحل رشد، تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرد، ولی حساس‌ترین مرحله، از گلدهی تا زمان باز شدن سنبلک‌ها است. تنش خشکی حتی برای مدت کوتاهی در زمان گل شکفتگی[1]، تعداد گلچه‌هایی را که به دانه تبدیل می‌شوند به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

تاثیر کلرمکوات کلرید بر رشد و عملکرد دانه جو تحت شرایط تنش خشکی در مطالعات اندکی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه حاضر با هدف درک بهتر تاثیر کلرمکوات کلرید تحت تنش خشکی بعد از گلدهی بر رشد و عملکرد دانه سه رقم جو (والفجر، ریحانه و کارون در کویر) در شرایط اقلیمی نیمه خشک در قالب آزمایشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

کاشت مزرعه آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی (ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ´۴۶ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی ´۵۰ °۲۹ شمالی)، در تاریخ ۱۷ آبان ماه ۱۳۸۲ صورت گرفت. تیمارها شامل دو سطح رطوبت به عنوان عامل اصلی، محلول پاشی بوته‌ها توسط کلرمکوات کلرید در دو سطح (صفر و ۱۳۷۰ گرم ماده موثر در هکتار) به عنوان عامل فرعی و سه رقم جو (والفجر، ریحانه و کارون در کویر) به عنوان عامل فرعی فرعی بود. بذرهای کاملا یکنواخت سه رقم جو که از قبل با قارچ‌کش وایتا واکس به میزان دو در هزار ضدعفونی شده بودند، در کرت‌هایی به ابعاد ۲×۵ متر، در عمق ۵-۳ سانتی‌متری خاک، به فواصل ردیف ۱۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف حدود ۳ سانتی‌متر (تراکم تقریبی ۲۰۰ بوته در متر مربع) همراه با کودهای فسفات آمونیوم و اوره به میزان ۱۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با دست کاشت و سپس آبیاری شدند. یک سوم کود اوره در زمان کاشت و بقیه به صورت سرک در اواسط مرحله پنجه زنی (ZGS=۲۳) و ساقه رفتن (ZGS=۳۲) همزمان با آبیاری به کرت‌های آزمایشی افزوده شد.

1. Anthesis

تیمار کلرمکوات کلرید در مرحله نموی انگیزش لما (DS=۳) (۱۳۸۲/۱۲/۲۳) با استفاده از یک دستگاه محلول پاش دقیق دستی با فشار ثابت ۳ بار و حجم محلول پاشی ۴۰۰ لیتر در هکتار به طور کاملا یکنواخت اعمال شد. اعمال تیمار آبیاری از زمان گلدهی (ZGS=۶۵) (۱۷۰ روز پس از کشت) بود.

کلیه کرت‌ها تا زمان گلدهی به صورت منظم و بر اساس نیاز آبی آبیاری شده و سپس به دو دسته آبیاری مطلوب (بر اساس نیاز آبی گیاه) و تنش کامل (که بعد از گلدهی هیچ آبی دریافت نکردند)، تقسیم بندی شدند. برای تعیین میزان آبیاری از روش مقدار رطوبت وزنی استفاده شد. با نمونه‌برداری از عمق‌های ۶۰-۰ سانتیمتری از خاک مزرعه مقدار آب مورد نیاز خاک جهت رسیدن به ظرفیت مزرعه‌ای محاسبه شد. جهت محاسبه عمق آب مورد نیاز از معادله زیر استفاده شد:

$$D/100 \times \rho_b \times d_n=(F_c-\theta_m)$$

که در آن dn: ارتفاع آب مورد نیاز برای رساندن عمق خاک مورد نظر به حد ظرفیت مزرعه‌ای بر حسب سانتیمتر می‌باشد، F_c: حد ظرفیت مزرعه‌ای در خاک محل آزمایش بر حسب درصد وزنی، θ_m: رطوبت وزنی خاک که به صورت تفاضل وزن نمونه‌های مرطوب و نمونه‌های خشک شده در آون (به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد) تقسیم بر وزن نمونه خشک محاسبه شد، D: ارتفاع یا عمق نمونه‌برداری از خاک که در این آزمایش به صورت دو نمونه‌برداری ۳۰ سانتیمتری بود، ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب gcm^{-3} است. مقدار ρ_b با توجه به آزمایش‌های قبلی در باجگاه $1/4\ gcm^{-3}$ در نظر گرفته شد.

پس از محاسبه آب مورد نیاز برای آبیاری، مزرعه آزمایشی با سیفون آبیاری شد و میزان آب آبیاری با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۲۲):

$$Q = 0.65\times10^{-3}\times A\times(2gh)^{1/2}$$

که در آن Q: دبی بر حسب لیتر بر ثانیه A: سطح مقطع لوله سیفون بر حسب سانتی‌متر مربع g: شتاب جاذبه زمین برابر با ۹۸۱ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه h: اختلاف ارتفاع بین سطح آب در نهر اصلی و کف کرت بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

روند تغییرات شاخص سطح برگ با نمونه‌برداری در طول فصل رشد و اندازه‌گیری سطح برگ پنج بوته با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ و روند تغییرات وزن خشک با قرار دادن نمونه‌های برداشت شده در طول فصل رشد در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد.

برداشت نهایی کرت‌های آزمایشی در تاریخ ۲۶ خرداد ماه ۱۳۸۳ در سطح یک متر مربع از وسط هر کرت با دست انجام شد و نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در آون با دمای ?C ۷۵ به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس عملکرد دانه و اجزای آن، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت (بر اساس تراکم تقریبی ۲۰۰ بوته در متر مربع) اندازه گیری شدند. در پایان داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DNMRT) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و اجزای آن

عملکرد دانه تحت تاثیر تنش خشکی کاهش معنی‌دار نشان داد. ولی با وجود تاثیر غیرمعنی‌دار کلرمکوات‌کلرید بر عملکرد دانه (جدول ۱) برهمکنش این دو تیمار معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط مطلوب رطوبتی کلرمکوات‌کلرید باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه به میزان ۲۵/۸ گرم در متر مربع شد؛ لیکن در حالت تنش خشکی عملکرد دانه را به میزان ۲۴/۵ گرم در متر مربع کاهش داد (جدول ۲). این نتیجه نشان می‌دهد که در شرایط آزمایشی منطقه مورد نظر کلرمکوات‌کلرید در شرایط بهینه رطوبتی می‌تواند تاثیر مثبت بر عملکرد دانه ارقام جو مورد استفاده داشته باشد.

کاهش عملکرد دانه تحت تاثیر تنش خشکی عمدتا به دلیل کاهش معنی دار وزن هزار دانه و کاهش معنی دار تعداد سنبله در متر مربع بود (جدول ۱)، به نحوی که وزن هزار دانه تحت تاثیر تنش خشکی ۱۷/۸۲ درصد و تعداد سنبله در متر مربع ۱۶/۳۱ درصد کاهش نشان دادند (جدول ۱). اوسترهوس و کارترایت (۲۴) نیز بیان کردند که

تنش خشکی اندام‌هایی را بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهد که در زمان وقوع تنش در حال رشد یا نمو سریع باشند. در پژوهش حاضر نیز تنش خشکی که بعد از گلدهی اعمال شد، میانگین وزن هر دانه و تعداد ساقه‌های بارور هر بوته را به شدت کاهش داد (جدول ۱). آسپینال و همکاران (۸) نیز گزارش کردند که بخش قابل توجه اثر تنش خشکی بر کل عملکرد دانه ناشی از کاهش تعداد سنبله‌های مولد دانه در هر بوته بوده است. اثرمتقابل کلرمکوات کلرید و آبیاری معنی دار بود و در شرایط رطوبتی مطلوب کلرمکوات کلرید عملکرد دانه را به میزان ۲۵/۸ گرم در متر مربع به طور معنی دار افزایش داد (جدول ۲). این نتیجه بیانگر آن است که کلرمکوات کلرید در شرایط آزمایشی منطقه مورد نظر در شرایط بهینه رطوبتی می‌تواند تاثیر مثبتی بر عملکرد دانه ارقام جو مورد بررسی داشته باشد.

عملکرد دانه رقم والفجر چه در شرایط رطوبتی مطلوب و چه در شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌داری نسبت به دو رقم دیگر نشان داد (جدول ۳). علت برتری عملکرد دانه رقم والفجر شاید به دلیل ارتفاع بیشتر ساقه نسبت به دو رقم دیگر باشد (جدول ۱)، زیرا ساقه به عنوان یک منبع ثانویه مهم برای ذخیره هیدرات‌های کربن در گیاه به حساب می آید که در زمان پرشدن دانه، به ویژه تحت شرایط تنش خشکی، می تواند نقش مهم تری در تامین مواد پرورده برای پر شدن دانه ها داشته باشد.

جدول۱- اثر کلرمکوات کلرید و رژیم رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و ارتفاع نهایی در سه رقم جو زمستانه

تیمارهای اصلی		عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع)	شاخص برداشت (درصد)	ارتفاع نهایی گیاه (سانتیمتر)
آبیاری	آبیاری مطلوب	۴۱۲/۹a	۴۸۳/۰a	۲۹/۱۹a	۴۰/۰۱a	۹۳۴/۴a	۴۴/۲۸a	۷۰/۷۵a
	تنش خشکی	۲۹۱/۰b	۴۰۴/۲b	۲۸/۳۱a	۳۲/۸۸b	۷۵۶/۹b	۳۸/۰۷b	۶۵/۱۸a
تنظیم کننده	شاهد	۳۵۱/۷a	۴۲۶/۳b	۲۷/۹۷a	۳۶/۸۶a	۸۴۲/۹a	۴۱/۶۲a	۶۷/۸۴a
رشد	کلرمکوات کلرید	۳۵۲/۳a	۴۶۱/۰a	۲۹/۵۲a	۳۶/۰۳a	۸۴۸/۳a	۴۰/۷۳a	۶۸/۱۰a
ارقام	والفجر	۴۱۵/۶a	۴۱۳/۳b	۳۰/۴۲a	۳۷/۰۴a	۹۶۸/۸a	۴۲/۵۳a	۸۰/۱۳a
	کارون در کویر	۳۱۵/۶b	۴۶۳/۹a	۳۷/۹۳b	۳۶/۳۸a	۷۷۲/۲b	۴۰/۴۹a	۶۷/۷۱b
	ریحانه	۳۲۴/۷b	۴۵۳/۶a	۲۷/۸۹b	۳۵/۹۲a	۷۵۹/۹b	۴۰/۵۰a	۶۲/۰۷b

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند (دانکن، ۵٪).

جدول ۲- میانگین عملکرد دانه جو و اجزای آن در شرایط مختلف رطوبتی تحت تاثیر کلرمکوات کلرید

تنظیم کننده رشد	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)		تعداد سنبله در متر مربع		تعداد دانه در سنبله		وزن هزار دانه (گرم)	
	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی
شاهد	۴۰۰/۰b	۳۰۳/۳c	۴۶۴/۷a	۳۸۷/۸b	۲۸/۴۰a	۲۷/۵۵a	۴۰/۳۵a	۳۳/۳۸b
کلرمکوات کلرید	۴۲۵/۸a	۲۷۸/۸d	۵۰۱/۴a	۴۲۰/۵b	۲۹/۹۸a	۲۹/۰۷a	۳۹/۶۸a	۳۲/۳۹b

برای هر ویژگی میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند (دانکن، ۵ ٪).

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه و اجزای آن در سه رقم جو پاییزه در شرایط مختلف رطوبتی

ارقام جو	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)		تعداد سنبله در مترمربع		تعداد دانه در سنبله		وزن هزار دانه (گرم)	
	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی
والفجر	۴۸۳/۱a	۳۴۸/۱b	۴۴۷/۵ab	۳۴۹/۰e	۲۹/۱۶ab	۳۱/۶۹a	۴۱/۷۵a	۳۲/۳۳c
کارون در کویر	۳۶۱/۳b	۲۷۰/۰c	۵۰۶/۴a	۴۲۱/۵d	۲۹/۴۸ab	۲۶/۳۹b	۳۸/۹۰b	۳۳/۸۶c
ریحانه	۳۹۴/۴b	۲۵۵/۰c	۴۶۵/۳bc	۴۴۲/۰cd	۲۸/۹۳ab	۲۶/۸۵b	۳۹/۳۸b	۳۲/۴۶c

برای هر ویژگی میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند (دانکن، ۵ ٪).

ارقام مورد استفاده از لحاظ وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۱)، اگرچه اثر متقابل رقم و تیمار آبیاری معنی دار بود، به نحوی که رقم والفجر نسبت به تیمار آبیاری حساسیت بیشتری نشان داد، و در شرایط مطلوب رطوبتی بیشترین وزن و در شرایط تنش خشکی کمترین وزن هزار دانه از این رقم بدست آمد (جدول ۳). در آزمایش امام و کریمی (۳) نیز مشابه نتایج حاصل از این پژوهش، میانگین وزن هزار دانه تحت تاثیر کلرمکوات کلرید قرار نگرفت. نتایج پژوهش‌های ما و اسمیت (۲۰) نیز نشان داد که وزن هزار دانه تنها اندکی تحت تاثیر کلرمکوات کلرید قرار می‌گیرد. از مجموع این نتایج چنین برمی‌آید که وزن هزار دانه جو از اجزای نسبتا باثبات عملکرد دانه در گندم و جو می‌باشد (۱، ۲، ۷).

در پژوهش حاضر کاربرد کلرمکوات کلرید باعث افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در متر مربع شد، هر چند تاثیر آن بر دیگر اجزای عملکرد دانه غیر معنی‌دار بود (جدول ۱).

ازدیاد عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بر اثر تیمار CCC ممکن است نتیجه افزایش اندازه مقصد[1] پیش از گلدهی باشد (۳). به نظر می‌رسد تیمار بوته‌ها با CCC که با تغییر زاویه برگ‌ها و پنجه‌ها و بهبود نفوذ نور به داخل سایه‌انداز گیاهی همراه است، پیش از گلدهی اندازه مقصد را افزایش داده و بعد از گلدهی به دلیل تاثیر بازخوری مثبت افزایش اندازه مقصد بر سرعت فتوسنتز بوته‌ها، سبب افزایش میزان مواد پرورده تولیدی برای پرشدن دانه‌های اضافی گردیده باشد (۲۰،۱۴،۲،۱، ۳۳).

افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به دنبال تیمار بوته‌ها با کلرمکوات کلرید تنها در صورتی به وقوع می‌پیوندد که شرایط محیطی برای فتوسنتز سایه‌انداز گیاهی مناسب باشد و شاید به همین دلیل پژوهشگرانی نظیر گرین (۱۴) علی‌رغم گزارش تعداد دانه بیشتر در هر بوته به دنبال تیمار CCC، واکنشی از عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک مشاهده ننموده‌اند.

عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر تنش خشکی کاهش معنی‌دار نشان داد (جدول ۱). عملکرد بیولوژیک رقم والفجر نسبت به دو رقم دیگر افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ۱). این رقم در شرایط مطلوب رطوبتی نسبت به دو رقم دیگر و در شرایط تنش خشکی نسبت به رقم ریحانه افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک را نشان داد (جدول ۵). در آزمایشی که پاک نیت و همکاران (۲۵) در مورد اثرات تنش شوری روی ۶۳ ژنوتیپ جوهای زراعی و وحشی انجام دادند، رقم والفجر جزء ژنوتیپ های مقاوم نسبت به شوری و رقم ریحانه در ردیف حساس ترین ژنوتیپ ها نسبت به شوری تشخیص داده شدند.

شاخص برداشت بوته‌ها تحت تاثیر تنش خشکی کاهش معنی‌دار نشان داد (جدول ۱). این نتیجه در تایید نتایج پژوهشگرانی نظیر هی و واکر (۷)، اسمیت و همکاران (۲۹)، اسمیت و همل (فصل دوم از منبع۱) و بل هاسن (۶) می‌باشد. تنش خشکی شاخص برداشت ارقام جو را کاهش داد، هر چند این کاهش در رقم والفجر معنی‌دار نگردید. بالاترین شاخص برداشت در شرایط رطوبتی مطلوب از رقم ریحانه (۴۴/۸۲ درصد) و در شرایط تنش خشکی از رقم والفجر (۴۰/۸۵ درصد) بدست آمد (جدول ۵). در پژوهش مزرعه‌ای امام و کریمی (۳) نیز شاخص برداشت در برنج تحت تاثیر کلرمکوات کلرید قرار نگرفت.

باتوجه به اینکه شاخص برداشت نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک است، کلرمکوات کلرید تاثیری بر این شاخص نشان نداده است، زیرا همزمان با تغییر عملکرد دانه به وسیله CCC عملکرد بیولوژیک نیز به گونه‌ای هماهنگ تغییر کرده به نحوی که شاخص برداشت تغییری نکرده است.

ارتفاع بوته‌ها

تیمار کلرمکوات کلرید ارتفاع ساقه در طی فصل رشد را تحت تاثیر قرار داد. ارتفاع ساقه تحت تاثیر کلرمکوات کلرید تا حدود ۵۰ روز پس از تیمار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۱)، لیکن این ارتفاع کمتر ساقه با رشد سریع‌تر میان‌گره‌های بالایی در اواخر دوره رشد طولی ساقه همراه بود، به نحوی که در برداشت نهایی تفاوت معنی‌داری بین ارتفاع ساقه بوته‌های شاهد با تیمار کلرمکوات کلرید مشاهده نشد (شکل ۱). راجالا و همکاران (۲۷) در پژوهش مشابهی چنین نتیجه گیری کردند که

1. Sink size

تیمار CCC طویل شدن ساقه را در دوره‌ای از رشد طولی ساقه در یولاف افزایش می‌دهد. کاهش موقت ارتفاع ساقه جو به دنبال تیمار بوته‌ها با سایکوسل و تحریک رشد بعدی آن توسط پژوهشگرانی نظیر امام و کریمی (۱۲) هم مورد توجه قرار گرفته است. دلیل افزایش طول ساقه کاملا مشخص نشده است، ولی احتمال داده می‌شود که با افزایش تجمع پیش‌سازهای GA_3 که با کند کردن بیوسنتز GA_3 در ارتباط می‌باشد، مرتبط باشد(فصل دوم از منبع ۱و۲۶). وقتی اثر بازدارندگی کاهش می‌یابد و سنتز GA_3 از سر گرفته می‌شود، مقدار زیادی پیش‌ساز برای استفاده در سنتز GA_3 وجود دارد، که موجب تحریک رشد طولی ساقه می‌شود.

جدول ۴- میانگین عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و ارتفاع نهایی سه رقم جو پاییزه در شرایط مختلف رطوبتی تحت تاثیر کلرمکوات کلرید

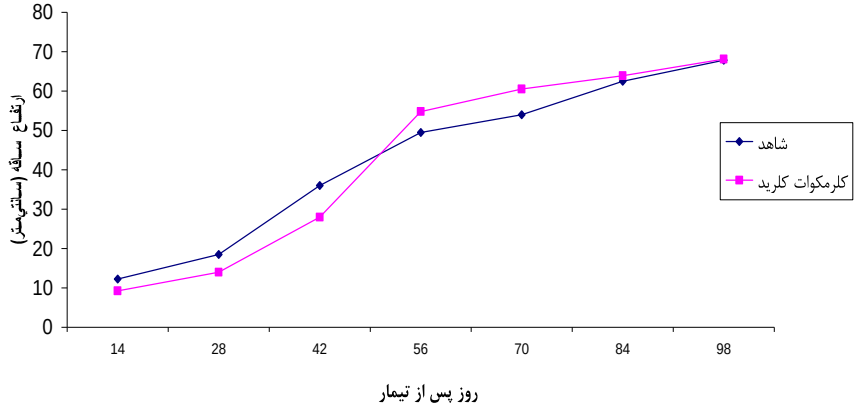
تنظیم کننده رشد	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع)		شاخص برداشت (درصد)		ارتفاع نهایی گیاه (سانتی متر)	
	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی
شاهد	۹۱۰/۴a	۷۷۵/۴b	۴۴/۳۸a	۳۸/۸۶b	۶۸/۱۸b	۶۷/۴۹b
کلرمکوات کلرید	۹۵۸/۳a	۷۳۸/۳b	۴۴/۱۸a	۳۷/۲۸b	۷۳/۳۲a	۶۲/۸۸c

برای هر ویژگی میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند (دانکن، ۵ ٪).

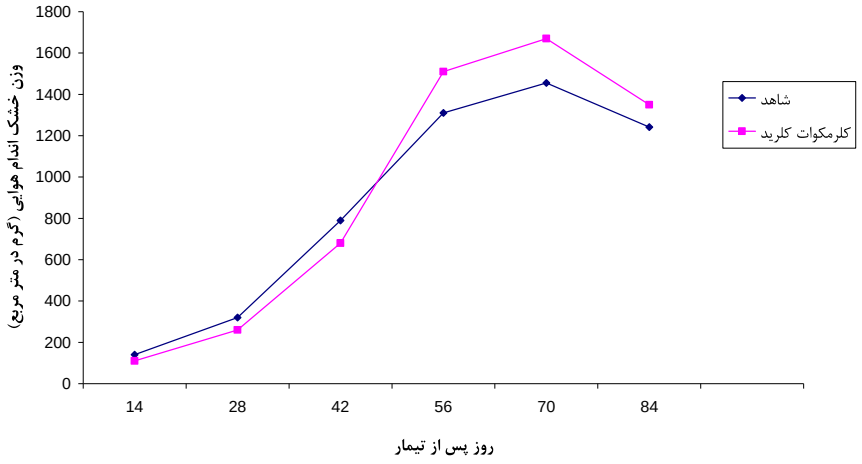
جدول ۵- میانگین عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و ارتفاع نهایی گیاه در شرایط مختلف رطوبتی سه رقم جو پاییزه

ارقام	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع)		شاخص برداشت (درصد)		ارتفاع نهایی گیاه (سانتی متر)	
	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی
والفجر	۱۰۹۵/۰a	۸۴۲/۵bc	۴۴/۲۰a	۴۰/۸۵ab	۸۲/۶۶a	۷۷/۵۹a
کارون در کویر	۸۱۸/۱bcd	۷۲۶/۳cd	۴۳/۸۲a	۳۸/۱۷b	۶۳/۹۵b	۵۹/۴۷b
ریحانه	۸۹۰/۰b	۷۰۱/۹d	۴۴/۸۲a	۳۶/۱۸b	۶۵/۶۵b	۵۸/۴۹b

برای هر ویژگی میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند (دانکن، ۵ ٪)



شکل۱- واکنش ارتفاع ساقه ارقام جو به کلرمکوات کلرید



شکل۲- روند تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی ارقام جو تحت تاثیر کلرمکوات کلرید

در پژوهش راجالا و همکاران (۲۷) وقتی طول نهایی ساقه در گیاهان تیمار شده با تنظیم کننده های رشد در زمان رسیدگی اندازه‌گیری شد، ارقام جو و رقم پاکوتاه یولاف نسبت به تیمارهای تنظیم کننده رشد غیر حساس بودند.

همانگونه که انتظار می‌رفت، اعمال تیمار تنش خشکی تغییر معنی داری بر ارتفاع نهایی ساقه به دنبال نداشت، زیرا ارتفاع نهایی بوته‌های گندم به دلیل اینکه یک گیاه رشد محدود است، تا زمان گلدهی بدست آمده بود (فصل دوم از منبع۱و۲).

وزن خشک بوته‌ها

وزن خشک بوته‌ها تحت تاثیر هر دو تیمار آزمایشی خشکی و کلرمکوات کلرید قرار گرفت. کلرمکوات کلرید باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک بوته‌ها از گلدهی تا رسیدن گردید (شکل ۲). از زمان اعمال تیمار کلرمکوات کلرید تا زمان گلدهی وزن خشک بوته‌های تیمار شده با سایکوسل کاهش اندکی نشان داد (شکل ۲). کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی بوته‌های تیمار شده با CCC در هفته‌های اول پس از تیمار توسط برخی پژوهشگران نظیر نایلور و همکاران (۲۳)، امام و کریمی (۱۲)، وادینگتن و کارترایت (۳۲) و ما و اسمیت (۱۸، ۱۹) هم گزارش شده است. این پژوهشگران کاهش ماده خشک در کوتاه مدت به دنبال تیمار بوته‌ها با کلرمکوات کلرید را به کاهش رشد طولی وابسته به جیبرلین (رشد طولی برگ‌ها و میان‌گره‌ها) و افزایش تسهیم[1] مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها نسبت داده‌اند. پس از گذشت دوره مذکور با افزایش معنی‌دار تعداد پنجه و سطح سبز بوته‌های تیمار شده، وزن خشک بوته‌های تیمار شده با CCC از طریق افزایش میزان جذب انرژی تابشی (۱۳، ۱۵) بطور معنی‌دار در مقایسه با بوته‌های شاهد افزایش یافته است.

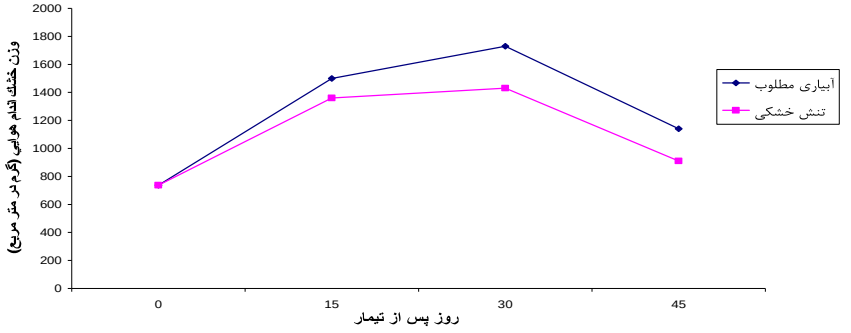
تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک بوته‌ها نسبت به شاهد گردید (شکل ۳). با گذشت زمان از گلدهی تفاوت وزن خشک بوته‌ها تحت تاثیر تنش خشکی نسبت به بوته‌های شاهد افزایش بیشتری یافت (شکل ۳). مشاهدات در طول فصل رشد حاکی از آن بود که بوته‌های تحت تنش خشکی از سطح سبز کمتری برخوردار بودند و سرعت مسن شدن برگ‌ها در آنها زیادتر بود.

جامیسون و همکاران (۱۶) نیز در پژوهش مشابهی توجه کردند که وقتی بوته‌های جو از دو هفته پیش از گلدهی (و بعد از آن) تحت تاثیر تنش خشکی قرار گیرند، وزن شاخساره کاهش می‌یابد. آنان کاهش وزن خشک را به کاهش جذب تابش به دلیل مسن شدن سریع‌تر برگ‌ها (کاهش سطح سبز برگ‌ها) نسبت دادند.

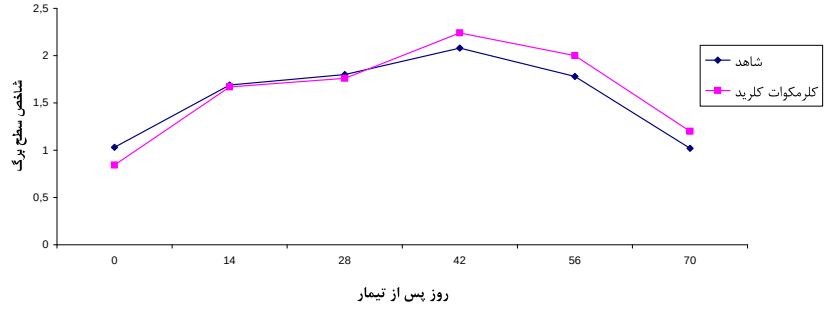
1. Partitioning

سطح برگ بوته‌ها

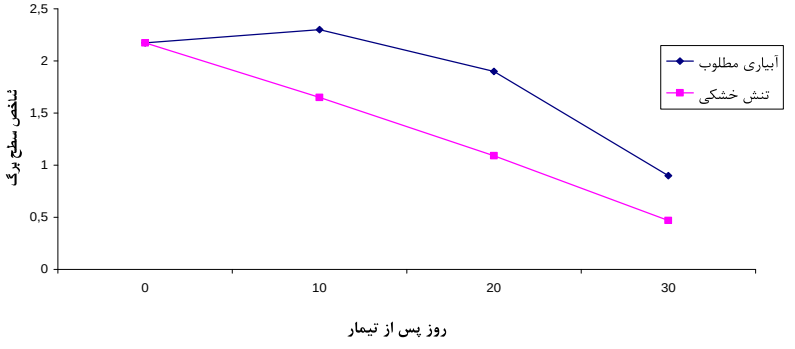
همانگونه در شکل ۴ نشان داده شده سطح برگ بوته‌های تیمار شده با CCC تا چهار هفته اول پس از اعمال تیمار تفاوت محسوسی مشاهده نشد. بر طبق مشاهدات انجام شده در طول آزمایش علت این امر ممکن است ناشی از سرد بودن هوا در هفته‌های اول بعد از اعمال تیمار (اسفند ماه) بوده باشد، به طوری که با مساعد شدن شرایط دمایی از نیمه دوم فروردین ماه سطح برگ بوته‌های تیمار شده با سرعتی بیش از بوته‌های شاهد افزایش یافته است (شکل ۴). در انتهای دوره رشد نیز سرعت زوال برگ‌ها در بوته‌های شاهد نسبت به بوته‌های تیمار شده با سایکوسل زیادتر بود. ازدیاد سطح برگ بوته‌ها به دنبال تیمار سایکوسل توسط پژوهشگران دیگری نظیر استوکس و همکاران (۳۰) در ارقام جو پاییزه تحت تاثیر کلرمکوات کلرید مورد توجه قرار گرفته است.



شکل۳- روند تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی ارقام جو تحت تاثیر تنش خشکی بعد از گلدهی



شکل۴- روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام جو در طی فصل رشد تحت تاثیر کلرمکوات کلرید



شکل۵- روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام جو تحت تاثیر تنش خشکی بعد از گلدهی

تیمار تنش خشکی از همان روزهای اول باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ بوته‌ها شد و این کاهش تا پایان دوره رشد ادامه یافت (شکل ۵). تنش خشکی یکی از عوامل محیطی موثر بر سرعت مسن شدن برگ‌هاست و سبب کاهش شاخص سطح برگ می‌شود (۲،۱ ، ۷). تنش خشکی پیش از گلدهی از طریق کاهش سرعت گسترش برگ‌ها و تغییر در شکل برگ، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (که به دریافت کمتر نور منجر می‌شود، درحالیکه تنش خشکی بعد از گلدهی از طریق تسریع مسن شدن برگ ها سبب کاهش LAI می‌شود (۱۰). رویو و همکاران (۲۸) نیز دریافتند که شاخص سطح برگ در شرایط دیم نسبت به حالت آبی کمتر است.

در مجموع نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که فرایندهای رشد و نمو گیاه تحت تاثیر هر دو تیمار تنش خشکی و کلرمکوات کلرید تغییر می‌کند، به نحوی که تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک و سطح برگ بوته‌ها می‌گردد، در حالیکه کلرمکوات کلرید قادر است سطح برگ بوته‌ها را افزایش داده و باعث افزایش وزن خشک بوته‌ها بعد از گلدهی شود. با توجه به افزایش عملکرد دانه جو در شرایط مطلوب رطوبتی به دنبال تیمار بوته‌ها با CCC، انجام پژوهش‌های بلند مدت‌تر برای درک دقیق‌تر مکانیزم تاثیر CCC در شرایط تنش خشکی ضروری به نظر می‌رسد.

REFERENCES

1. Aspinall, D., P.B. Nicholls, & L.H. May. 1964. The effects of soil moisture stress on the growth of barley. I.Vegetative development and grain yield. Aust. J. Agric. Res. 15: 729-745.
2. Begg, J.E., & N.C. Turner. 1976. Crop water deficits. Adv. Agron. 28: 161-217.
3. Belhassen, E. 1997. Drought Tolerance in Higher Plants. Kluwer Academic publishers.
4. Blum, A., S. Ramaiah, E.T. Kansamasu, & G.M. Paulsen. 1990. Wheat recovery from drought stress at the tillering stage of development. Field Crops Res. 24: 67-85.
5. De, R., G. Giri, G. Saran, R. K. Singh, & G. S. Chaturvedi. 1982. Modification of water balance of dryland wheat through the use of chlormequat chloride. J. Agric. Sci. Camb. 98: 593-597.
6. Ehdaei. B. 1372. Selection for resistance to drought in wheat. First Iranian Congress on Crop Production and Plant Breeding. Karaj. Iran. P. 43-62. (in Persian).
7. Emam, Y. and Karimi. 1375. Effect of growth retardant chlormequat on growth, development and yield of rice. Iranian. J. Agric. Sci. 38:65-71.
8. Emam, Y., & H. R. Karimi. 1996. Influence of chlormequat chloride on five winter barley cultivars. Iran Agric. Res. 15: 89-104.
9. Emam, y., E. Tafazzoli and Karimi. 1996. Growth and development of winter wheat (cv.Ghods) as affected by chlormequat chloride (CCC). Iranian. J. Agric. Sci. 27:23-31. (in Persian)
10. Emam,Y. Cereal Production. 2007. In Persian. Shiraz University Press. 192pp.
11. Gallagher, J.N., & P.V. Biscoe. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. J. Agric. Sci. Camb. 91: 47-60.
12. Goodin, J.R., C.M. Mckell, & F.L. Webb. 1966. Influence of CCC on water use and growth characteristics of barley. Agron. J. 58: 453-454.
13. Green, C.F. 1986. Modifications to the growth and development of cereals using chlorocholine chloride in the absence of lodging. Field Crops Res. 14: 117-133.
14. Hay, R.K.M. and Walker, A. J. 1989. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Longman Scientific & Technical. 291 pp.
15. Jamieson, P.D., R.J. Martin, G.S. Francis, & D.R. Wilson. 1995. Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley. Field Crops Res. 43: 77-86
16. Ma, B. L., & D. L. Smith. 1991. Apical development of spring barley in relation to chlormequat and ethephon. Agron. J. 83: 270-274.
17. Ma, B. L., & D.L. Smith. 1992c. Growth regulator effects on aboveground dry matter partitioning during grain fill of spring barley. Crop Sci. 32: 741-746.
18. Ma, B.L., & D.L. Smith. 1992a. A new method of supplying substances to cereal inflorescences. Crop Sci. 32: 191-194.
19. Ma, B.L., & D.L. Smith. 1992b. Chlormequat and ethephon timing and grain production of spring barley. Agron. J. 84: 934-939.

20. Ma, B.L., & D.L. Smith. 1992d. Modification of tiller productivity in spring barley by application of chlormequat or ethephon. Crop Sci. 32: 735-740.
21. Micheal, A.M., & T.P. Ojha. 1991. Principles of Agricultural Engineering. Vol. II. New Delhi: Jain Brothers Publisher. 655 PP.
22. Naylor, R.E.L., M.E. Saleh, & J.M. Farquharson. 1986. The response to chlormequat of winter barley growing at different temperatures. Crop Res. 26: 17-31.
23. Oosterhuis, D.M., & P.M. Cartwright. 1983. Spike differentiation and floret survival in semi-dwarf spring wheat as affected by water stress and photoperiod. Crop Sci. 23: 711-717.
24. Pakniyat, H., A. Kazemipour, & GH. A. Mohammadi. 2003.Variation in salt tolerance of cultivated (*Hordeum vulgare* L.) and wild (*H. spontaneum* C. Koch.) barley genotypes from Iran. Iran Agric. Res. 22:45-62.
25. Peltonen-Sainio, P., & A. Rajala. 2001. Chlormequat and ethephon effects on growth and yield formation of conventional, naked, and dwarf oat. Agric. Food Sci. Finl. 10: 175-184.
26. Rajala, A., P. Peltonen-Sainio, B.L. Ma, & R. Naylor. 2003. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in Northern growing conditions. 53 PP. Available on line at: http// www. ethesis. Helsinki. fi/ julkaisut/ maa/ sbiol/ vk/ rajala/ plantgro. pdf. Access time 2005
27. Royo, C., N. Aparicio, R. Blanco, & D. Villegas. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. Europ. J. Agron. 20: 419-430.
28. Smith, D.L. & C.Hamel. Eds. 1999. Crop Yield Physiology and Processes.
29. Smith, D.L., M. Dijak, P. Bulman, B.L. Ma, & C. Hamel. 1999. Barley: Physiology of yield. p. 67-107. In: D.L. Smith and C. Hamel (eds). Crop yield, Physiology and Processes. Springer Verlag.
30. Stokes, D.T., E.L. Robert, R.E.L. Naylor, & S. Matthews. 1986. Effect of chlormequat on ear and leaf size at anthesis and final grain yield of shoots of three winter barley cultivars. Ann. Appl. Biol. Suppl. 108: 104-105.
31. Tolbert, N. E. 1960. 2-chloroethyl trimethyl ammonium chloride and related compounds as plant growth substances. II. Effect on growth of wheat. Plant Physiol. 35:380-385
32. Waddington, S.R., & P.M. Cartwright. 1986. Modification of yield components and stem length in spring barley by the application of growth retardants prior to main shoot stem elongation. J. Agric. Sci. Camb. 107: 367-375.
33. Waddington, S.R., & P.M. Cartwright. 1988. Pre-maturity gradients in shoot size and in number and size of florets for spring barley treated with mepiquat chloride. J. Agric. Sci. Camb. 110: 633-639.
34. White, E.M. 1989. Effects of chlormequat chloride on yield and components of yield in six cultivars of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Agric. Sci. Camb. 113: 377-382.
35. Zadoks, J. C., T. T. Chang, & C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14: 415-421.