

تأثیر سوپر جاذب A200، بتونیت و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و ویتامین ث کاهو در شرایط کشت گلخانه‌ای

اکرم ولی زاده قلعه بیگ^{۱*}، سید حسین نعمتی^۲، علی تهرانی‌فر^۳ و حجت امامی^۴

(تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۴)

چکیده

تنش آب بحران جهانی است که تهدیدی جدی برای کشاورزی محسوب می‌شود. پلیمرهای سوپر جاذب با بهبود شرایط فیزیکی خاک، مانع از تنش‌های رطوبتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردند. به منظور بررسی تأثیر دو نوع سوپر جاذب طبیعی (بتونیت) و مصنوعی (A200) بر رشد کاهو، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد و مقادیر دو نوع سوپر جاذب، هر یک در سه سطح (صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد وزنی) و دو رژیم آبیاری (۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، مقدار محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و هدایت روزنها نسبت به تیمار ۶۰٪ بیشتر بود. مقدار نشت الکترولیت، ویتامین ث، مواد جامد محلول و کلروفیل b در سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی بیشتر بود. کاربرد ۰٪ درصد وزنی بتونیت به ترتیب سبب کاهش حدود ۷۴، ۱۹ و ۳۱ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۳، ۲ و ۸ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزنها و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. در حالی که کاربرد ۰/۳ درصد وزنی سوپر جاذب A200 به ترتیب کاهش ۲۸، ۱۸ و ۳۷ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۴۲ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزنها و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد شد. این نتایج حاکی از آن است که توان بتونیت در کاهش اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی تا حدودی به اندازه سوپر جاذب مصنوعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیولوژیک، سوپر جاذب مصنوعی، سوپر جاذب طبیعی، تنش کم‌آبی

مقدمه

از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هیدروژل‌های سوپر جاذب، پلیمرهای بهشت آب‌دost هستند و ضمن برخورداری از سرعت و ظرفیت زیاد جذب آب، در موقع نیاز ریشه، به راحتی آب و مواد غذایی محلول در آن را در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند. این سوپر جاذب‌ها به صورت طبیعی و مصنوعی وجود داشته، ترکیباتی بی‌بو و بی‌خطر برای محیط‌زیست و بافت‌های گیاهی می‌باشند (۸). بتونیت از جمله سوپر جاذب‌های طبیعی است که از گروه کانی‌های ۱:۲ بوده و مخلوطی از کانی‌های

در مناطق خشک، محور کشاورزی را آب تشکیل می‌دهد. بنابراین، همگرایی کلیه عملیات کشاورزی باید در جهت استفاده مطلوب از آب و به حداقل رساندن عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی باشد (۹). از این رو، توجه به نقش مدیریتی کاربرد برخی از مواد افزودنی اصلاح کننده، نظیر هیدروژل‌های سوپر جاذب، به منظور استفاده بهینه از آب در کشاورزی، برای افزایش عملکرد محصولات زراعی، تحت شرایط تنش کم‌آبی،

۱، ۲، ۳. گروه علوم باگبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: valizadeh8248@gmail.com

می‌گردد. به علت سطح زیاد برگ‌های کاهو و زیاد بودن تبخیر آب، از جمله گیاهان حساس به تنفس خشکی می‌باشد. بنابراین، برای افزایش کمی و کیفی در تولید این محصول، استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب، به ویژه در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک می‌تواند مؤثر واقع گردد.

این تحقیق با هدف بررسی ماده معدنی بتونیت به عنوان یک نوع سوپرجاذب طبیعی در کمک به کاهش اثرهای نامطلوب تنفس خشکی از طریق تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه و همچنین مقایسه آن با نوع مصنوعی پلیمر سوپرجاذب A200 صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سطوح تنفس خشکی، بتونیت و سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیولوژیک کاهو، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. پس از توزین هر گلدان با ارتفاع ۲۵ و عرض دهانه ۳۰ سانتی‌متر، گلدان‌ها به نسبت ۱:۲ از خاک زراعی سطحی و شن پر شدند. براساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک از نوع لوم شنی بوده و درصد رطوبت وزنی آن در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب $24/4$ و $12/5$ درصد تعیین گردید (جدول ۱). سپس، مقادیر سوپرجاذب A200 در سه سطح (صفرا، $0/15$ و $0/3$ درصد وزنی/وزنی، به ترتیب صفر، 15 و 30 گرم در 10 کیلوگرم خاک هر گلدان، به ترتیب S_0 ، S_1 و S_2) و بتونیت (صفرا، $0/15$ و $0/3$ درصد وزنی/وزنی، به ترتیب صفر، B_0 ، B_1 و 30 گرم در 10 کیلوگرم خاک هر گلدان، به ترتیب B_2) با خاک هر گلدان مخلوط گردید. درصد وزنی ترکیبات تشکیل‌دهنده بتونیت استفاده شده در جدول ۲ آمده است. در این آزمایش، از بذر کاهوی اصلاح شده رقم سیاهو جهت تهیه نشا استفاده شد و یک عدد نشا در مرحله 4 برگی به هر گلدان منتقل گردید. برای اطمینان از استقرار نشاها تا مرحله $8-6$ برگی، همه گلدان‌ها در حد 100% نیاز آبی آبیاری شدند و تیمارهای تنفس خشکی پس از اطمینان از استقرار گیاه، در دو سطح 10%

رسی است که دارای مقدار زیادی مونت موریلوفیت می‌باشد و چسبندگی زیادی دارد (۶). این ماده، به دلیل ساختارش، قابلیت جذب آب و مواد معدنی را داشته، همچنین از شسته شدن مواد معدنی موجود در خاک جلوگیری نموده و باعث حاصلخیزی خاک می‌شود (۲۲). در زمینه به کارگیری سوپرجاذب‌ها تحقیقاتی به عمل آمده است. از جمله، می‌توان به نتایج اریکیریزا و همکاران (۱۹) تحت تنفس خشکی در گلخانه اشاره کرد. اصلاح خاک با $0/2$ و $0/4$ درصد سوپرجاذب باعث افزایش بیومس 9 گونه زیستی شد. آنها اعلام کردند که با اضافه کردن این مواد به خاک، رطوبت در محدوده ظرفیت زراعی حفظ شده، که باعث افزایش فتوستتر و بهره‌وری مصرف آب در گیاهان مورد آزمایش شده است. همچنین، نتایج حاصل از تحقیق شی و همکاران (۲۰) برای تعیین اثر دو نوع پلیمر سوپرجاذب بر دانه‌ال صنوبر، تحت تنفس خشکی و شوری، نشان داد که کاربرد $0/5$ درصد سوپرجاذب، از دو نوع پلیمر، می‌تواند مقدار رشد بوته و تبادلات گازی برگ را کاهش دهد. در تحقیقی دیگر، علت افزایش زیست‌توده دانه‌ال اکالیپتوس و بلوط را افزایش جذب دی‌اکسید کربن، افزایش تعرق و فعالیت روزنی‌ها در بسترها حاوی سوپرجاذب استاکوزورب گزارش کردند (۲۱).

از طرفی، آب یکی از اجزای عمده بافت گیاه، معرف شیمیایی در فرایندهای فتوستتر و تجزیه حلال و وسیله انتقال مواد سوخت و ساز شده و عناصر معدنی داخل گیاهان و همچنین برای رشد و افزایش اندازه سلول گیاهی لازم است. بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد تحت تأثیر کاهش آب قرار گرفته و کمبود شدید آب ممکن است موجب مرگ گیاهان گردد (۳).

کاهو (*Lactuca sativa* L.) یکی از اعضای خانواده Asteraceae، از جمله سبزی‌های برگی و آب‌دار است که آب در فرایندهای فیزیولوژیک اساسی نظیر فتوستتر، واکنش‌های متابولیک، حفظ آماس، فرم و استحکام مکانیکی آن نقش اصلی را ایفا می‌کند. کاهو به صورت تجاری در بسیاری از کشورها در سراسر جهان تولید شده و به عنوان یک محصول سبزی پرورش داده می‌شود (۱۶). در ایران نیز کاهو در بسیاری از مناطق تولید

جدول ۱. درصد وزنی ترکیبات تشکیل دهنده بتونیت مورد آزمایش

| ترکیب | درصد وزنی |
|--------------------------------|-----------|
| SiO ₂ | ۶۱/۵-۷۱/۷ |
| Al ₂ O ₃ | ۱۱/۵-۱۵/۱ |
| Fe ₂ O ₃ | ۲/۴-۳/۲ |
| MgO | ۱/۱-۳/۴ |
| Na ₂ O | ۰/۵-۳/۵ |
| K ₂ O | ۰/۴-۱/۱ |
| CaO | ۱/۶-۲/۷ |
| TiO ₂ | ۰/۳-۰/۶ |

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

| نقاط پذیردگی دائم (%) | ظرفیت زراعی (%) | مواد آلی (%) | هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹) | pH | پتاسیم K (mg/kg) | فسفر P (mg/kg) | نیتروژن N (mg/kg) | Sand | Silt (%) | Clay |
|-----------------------|-----------------|--------------|---|------|------------------|----------------|-------------------|------|----------|------|
| ۱۲/۵ | ۲۴/۴ | ۰/۲۸۱ | ۱/۲۰ | ۸/۱۲ | ۲۵/۰۱ | ۱/۲۲ | ۸/۲۵ | ۷۰ | ۱۸ | ۱۲ |

در آب مقطر به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق محاسبه گردید. در نهایت، برای تعیین وزن خشک، از آون به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۵ درجه سلسیوس استفاده شد (۱۷).

نشت الکتروولیت (EL)

در این روش، ابتدا قطعاتی برگی با اندازه یک سانتی متر تهیه شد. این قطعات، پس از شستشو، همراه با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در لوله های آزمایش قرار گرفتند. سپس، لوله ها به مدت ۱۸ ساعت به وسیله شیکر شدیداً تکان داده شدند. در این مرحله، هدایت الکتریکی اولیه (Ci) به وسیله دستگاه هدایت سنج (Jenway مدل ۴۵۱۰) اندازه گیری شد. سپس، لوله های آزمایش جهت کشته شدن یاخته های برگی به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. پس از سرد شدن محتويات داخل لوله های آزمایش، هدایت الکتریکی ثانویه (Cs) نیز اندازه گیری شد. در نهایت، مقادیر نشت الکتروولیت از رابطه زیر محاسبه شد (۱۴):

$$EL = (Ci / Cs) \times 100 \quad [2]$$

ویتامین ث (Vit c)

میزان ویتامین ث بر اساس استخراج اسید اسکوربیک نمونه، با

(DS₁) و (DS₂) ظرفیت زراعی به روش توزین روزانه اعمال گردید. در مرحله حداکثر رشد رویشی، صفاتی چون کل مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از دستگاه رفراکتومتر، ۵۰۲ Minolta (SPAD Japan) در برگ های جوان توسعه یافته، هدایت روزنایی با دستگاه پرومتر (Company LI-1600,LI-COR) (اندازه گیری شدن). محتوای نسبی آب برگ، نشت الکتروولیت، ویتامین ث و محتوای کلروفیل نیز طبق روش های ذکر شده در زیر اندازه گیری شدند.

اندازه گیری محتوای رطوبت نسبی (RWC)

برای بررسی وضعیت آب گیاه از شاخص RWC که بر اساس معادله زیر محاسبه می شود، استفاده گردید:

$$RWC = \frac{(Fw - Dw)}{(Tw - Dw)} \times 100 \quad [1]$$

که Fw، Dw و Tw به ترتیب نشان دهنده وزن تر، خشک و آماس نمونه های برگی تهیه شده است. برای این منظور، پس از تهیه ۲۰ قطعه برگی به اندازه تقریباً ۵×۵ میلی متر، ابتدا وزن تر آنها اندازه گیری شد. وزن آماس نمونه ها نیز پس از خیساندن آنها

جدول ۳. تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر سطوح تنش خشکی، بتونیت و سوپر جاذب بر صفات فیزیولوژیک،
ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

| منابع تغییر | آزادی | رنجی | درجه | محتوی | نشت | الکتروولیت | ویتامین | کل مواد | شاخص | هدایت | کلروفیل | کلروفیل | کلروفیل | کل | |
|--------------------|-------|------|---------|-------|--------|------------|---------|---------|------|-------|---------|---------|---------|----|--|
| | (RWC) | (EL) | (Vit c) | (TSS) | (SPAD) | روزنگاری | کلروفیل | کلروفیل | b | a | (a+b) | | | | |
| سطح تنش خشکی | | | | | | | | | | | | | | | |
| سطوح بتونیت | | | | | | | | | | | | | | | |
| سطوح سوپر جاذب | | | | | | | | | | | | | | | |
| تنش خشکی × | | | | | | | | | | | | | | | |
| بتونیت | | | | | | | | | | | | | | | |
| تنش خشکی | | | | | | | | | | | | | | | |
| سوپر جاذب × | | | | | | | | | | | | | | | |
| سطح | | | | | | | | | | | | | | | |
| بتونیت × سوپر جاذب | | | | | | | | | | | | | | | |
| تنش خشکی × | | | | | | | | | | | | | | | |
| بتونیت × سوپر جاذب | | | | | | | | | | | | | | | |
| خطای آزمایش | | | | | | | | | | | | | | | |

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطوح ۰/۱ و ۰/۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی دار

CHLt کلروفیل کل است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۵٪ (P<0.05) انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

نتایج و بحث

محتوای رطوبت نسبی (RWC)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر سطوح مختلف تنش خشکی، بتونیت، سوپر جاذب و برهمکنش آنها در مورد محتوای رطوبت نسبی معنی دار شد (P<0.01). مقدار RWC در سطح ۰/۱۰٪ طرفیت زراعی، نسبت به سطح ۰/۶٪ طرفیت زراعی، ۸٪ بیشتر بود. سطوح مختلف پلیمر سوپر جاذب

استفاده از محلول اسید متافسفریک، همراه با اسید استیک و عیارسنگی با ماده رنگی ۲ و ۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل تا ظهور رنگ صورتی روشن تعیین گردید (۵).

محتوای کلروفیل

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته جدا و به منظور استخراج رنگدانه‌ها از ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۰/۹٪ استفاده شد. میزان جذب در طول موج‌های ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر انجام گرفت. در نهایت، بر اساس روابط زیر مقدار کلروفیل a و b محاسبه شد (۱۲):

$$\text{CHLa} = ۱۵/۶۵\text{A}_{۶۶۶} - ۷/۳۴\text{A}_{۶۵۳} \quad [۳]$$

$$\text{CHLb} = ۲۷/۰۵\text{A}_{۶۵۳} - ۱۱/۲۱\text{A}_{۶۶۶} \quad [۴]$$

$$\text{CHLt} = \text{CHLa} + \text{CHLb} \quad [۵]$$

که میزان کلروفیل a، CHLb میزان کلروفیل b و

ویتامین ث (Vit c)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، بتونیت، سوپر جاذب و برهمکنش بتونیت و سوپر جاذب در مورد ویتامین ث در سطح ۰/۱٪ معنی دار شد. ولی برهمکنش تنش خشکی و بتونیت، تنش خشکی و سوپر جاذب و اثر متقابل سه گانه خشکی، بتونیت و سوپر جاذب تفاوت معنی داری را نشان ندادند. مطابق شکل ۱، سطوح صفر و ۰/۱۵٪ بتونیت در سطح تنش ۰/۶٪ بیشترین مقادیر ۳۳/۳۳ و ۳۲/۵۸ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن (تر) و سطح ۰/۳٪ در سطح ۱۰۰٪ کمترین میزان (۲۰/۸۳ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن (تر) ویتامین ث را نشان دادند. از جمله تغییرات در گیاهان به عنوان پیام آور حضور تنش و مقابله با آن، افزایش سطوح آنتی اکسیدان های مختلف است. اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از جمله ترکیبات آنتی اکسیدانی است که از تخریب بافت ها توسط رادیکال های آزاد جلوگیری می کند، که میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش آثار مخرب تنش افزایش یافته است.

کل مواد جامد محلول (TSS)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که فقط اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، بتونیت و سوپر جاذب برای مواد جامد محلول در سطح احتمال خطای ۱٪ معنی دار بوده و کلیه اثرهای متقابل معنی دار نشد. تیمارهای فاقد بتونیت، سوپر جاذب یا ترکیب این دو ماده، بیشترین میزان مواد جامد محلول را نشان دادند. با به کار گیری هر دو ماده نگهدارنده رطوبت و همچنین افزایش سطح به کار برده شده، میزان مواد جامد محلول کاهش یافت. علت افزایش مواد جامد محلول در شرایط تنش توسط بلوم (۱۳) به این شکل ذکر شده است که یکی از وظایف مهم گیاه طی تنش خشکی، حفظ آماس سلولی از طریق تنظیم اسمزی است که این عمل به وسیله یک فرایند فعل تجمع مواد قابل حل مناسب طی رشد و در زمان تنش آب رخ می دهد.

در مقایسه با شاهد (صفر گرم) از RWC بیشتری برخوردار بودند. بین سطوح بتونیت از این نظر تفاوت معنی داری وجود نداشت، ولی با شاهد دارای تفاوت بوده و مقدار بیشتری را نشان داد (جدول ۴). ترکیب ۰/۳٪ درصد بتونیت و ۰/۳٪ درصد پلیمر سوپر جاذب بیشترین مقدار RWC (با میانگین ۸۶/۱۱ درصد) را نشان داد (جدول ۵). RWC بیشتر احتمالاً از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می شود، که به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتری آب در شرایط تنش است. اعلامی و همکاران (۱) در مورد چمن و فاضلی رستمپور و همکاران (۱۰) در مورد ذرت دانه ای به نتایج مشابهی دست یافتند.

نشت الکتروولیت (EL)

در شرایط تنش، بعضی از قسمت های فسفولیپیدهای دو لایه ای غشا حالت کروی پیدا کرده و ساختار غشا به ساختار منفذدار تبدیل می شود و نشت مواد روی می دهد (۱۱). میزان خسارت غشاهای سلولی بر اثر تنش خشکی از طریق اندازه گیری نشت الکتروولیت از سلول سنجیده می شود که در شرایط تنش خشکی، پایداری غشاهای سلولی جزء اصلی تحمل به نشان دارد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) مشخص گردید که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، بتونیت، سوپر جاذب و برهمکنش آنها در مورد نشت الکتروولیت در سطح ۱٪ معنی دار شد. مطابق جدول ۴، تیمارهای فاقد بتونیت یا سوپر جاذب و تیمارهای دارای آن، به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر نشت یونی را نشان دادند. از طرفی، با توجه به نتیجه مقایسه میانگین اثر متقابل بتونیت و سطوح تنش در جدول ۶ (مقدار ۰/۳٪ درصد بتونیت و ۰/۱۰۰٪ اثر متقابل بتونیت و سوپر جاذب در جدول ۵ تیمار ۹/۴۵ درصد از این دو ماده)، به ترتیب با مقادیر ۹/۴۹ درصد، کمترین میزان نشت یونی را نشان داده که نمایانگر تنش کمتر می باشد.

جدول ۴. میانگین اثر سطوح تنش خشکی، بتوینت و سوپرجاذب بر صفات فیزیکی و میانگین اثر سطوح تنش خشکی، بتوینت و مواد جامد محلول کاهمو

| | نحوه محتوی نسبی آب | برگ | نیش | ویتمین ث | کل مواد جامد | | شاخص | هدایت روزانه ای | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل (a+b) |
|----------------------------------|-----------------------|--------|---------|----------|--------------|---------|---------|-----------------|-----------|-----------|------------------|
| | | | | | (%) | (%) | | | | | |
| سطوح تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) | | | | | | | | | | | |
| ۵/۱۰ a | ۱/۱۴ a | ۳/۹۸ a | ۸/۹۱ b | ۴۴/۳۷ b | ۰/۰۶۲ a | ۳۱/۳۳ a | ۲۸/۸۰ a | ۷۶/۷۷ b | ٪۹۰ | ٪۱۰۰ | ٪۱۰۰ |
| ۵/۰۴ a | ۱/۰۹ b | ۳/۹۵ a | ۹/۵۹ a | ۴۶/۱۲ a | ۰/۰۴۶ b | ۲۴/۹۱ b | ۱۶/۱۴ b | ۸۳/۳۳ a | | | |
| بتوینت (درصد وزنی) | | | | | | | | | | | |
| ۴/۹۷ b | ۰/۹۷ c | ۴/۰ b | ۷/۸۱ c | ۷/۸۱ a | ۰/۰۶۳ a | ۳۰/۲۹ a | ۵۰/۳۶ a | ٪۸۸/۸۱ b | ٪۸۸/۸۱ b | ٪۸۸/۸۱ b | ٪۸۸/۸۱ b |
| ۴/۸۲ c | ۱/۱۳ b | ۳/۶۸ c | ۹/۶۸ b | ۱۰/۲۸ a | ۰/۰۵۶ a | ۲۹/۶۲ b | ۱۸/۸۸ b | ٪۸۰/۸۰ a | ٪۸۰/۸۰ a | ٪۸۰/۸۰ a | ٪۸۰/۸۰ a |
| ۵/۴۲ a | ۱/۱۰ a | ۴/۲۱ a | ۱۰/۷۹ a | ۴/۷۹ a | ۰/۰۴۳ c | ۲۴/۴۵ c | ۱۲/۴۲ c | ٪۸۰/۸۰ a | ٪۸۰/۸۰ a | ٪۸۰/۸۰ a | ٪۸۰/۸۰ a |
| سوپرجاذب (درصد وزنی) | | | | | | | | | | | |
| ۳/۸۰ c | ۰/۷۸ c | ۳/۰ c | ۷/۸۵ c | ۷/۸۵ c | ۰/۰۶۶ a | ۳۱/۱۶ a | ۳۰/۰۱ a | ٪۷۷/۷۴ c | ٪۷۷/۷۴ c | ٪۷۷/۷۴ c | ٪۷۷/۷۴ c |
| ۴/۸۵ b | ۱/۰۹ b | ۳/۷۹ b | ۹/۲۴۹ b | ۱۰/۱۲ a | ۰/۰۵۵ b | ۴۲/۹۵ b | ۳۰/۵۴ a | ٪۷۰/۷۰ b | ٪۷۰/۷۰ b | ٪۷۰/۷۰ b | ٪۷۰/۷۰ b |
| ۵/۵۹ a | ۱/۴۷ a | ۵/۱۲ a | ۱۰/۶۰ a | ۰/۰۵۵ a | ۰/۰۵۵ a | ۲۵/۴۱ c | ۲۱/۳۵ b | ٪۷۲/۷۲ a | ٪۷۲/۷۲ a | ٪۷۲/۷۲ a | ٪۷۲/۷۲ a |

میانگین‌های دارای حروف پیکسان در هر سوتون اختلاف معناداری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح بتونیت و سوپر جاذب بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

| تیمار | نیت | محتوی آب برگ (%) | کلروولیت (%) | ویتامین ث (میلی گرم/گرم وزن تر) | کل مواد (میلی گرم/گرم وزن تر) | شاخص (SPAD) | کلروفیل a (میلی گرم/گرم وزن تر) | کلروفیل b (میلی گرم/گرم وزن تر) | بتونیت سوپر جاذب | |
|--------|--------|------------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------|
| | | | | | | | | | بتنویت | سوپر جاذب |
| | | | | | | | | | بتنویت | سوپر جاذب |
| ۳/۶۹ g | ۰/۷۱ g | ۲/۹۸ f | ۳۶/۴۲ f | ۰/۰۷۵ a | ۳۴/۱۲ a | ۵۵/۹۸ a | ۷۳/۷۱ e | ۰ | | |
| ۴/۵۳ e | ۰/۸۰ f | ۳/۷۳ de | ۴۲/۰۲ d | ۰/۰۶۵ b | ۳۰/۰۰ c | ۵۶/۹۸ a | ۸۳/۴۳ b | ۰/۱۵ | | |
| ۶/۶۸ b | ۱/۳۹ c | ۵/۲۹ b | ۵۸/۹۲ a | ۰/۰۵۰ cd | ۲۶/۷۵ d | ۳۸/۵۴ b | ۸۲/۴۶ b | ۰/۳۰ | | |
| ۳/۶۸ g | ۰/۶۹ g | ۲/۹۹ f | ۳۶/۳۵ f | ۰/۰۷۰ ab | ۳۲/۰۰ b | ۲۰/۶۲ c | ۷۷/۸۵ d | ۰ | | |
| ۵/۵۴ c | ۱/۶۰ b | ۳/۹۴ cd | ۴۵/۷۴ c | ۰/۰۵۵ c | ۲۹/۱۲ c | ۱۹/۴۷ c | ۷۷/۱۷ d | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | |
| ۵/۲۲ d | ۱/۱۱ d | ۴/۱۱ c | ۵۴/۴۲ b | ۰/۰۴۵ d | ۲۷/۷۵ d | ۱۶/۵۵ d fg | ۷۹/۶۳ c | ۰/۳۰ | | |
| ۴/۰۳ f | ۰/۹۵ e | ۳/۰۸ f | ۳۹/۰۰ e | ۰/۰۵۵ c | ۲۷/۳۷ d | ۱۳/۴۵ e | ۸۰/۱۶ c | ۰ | | |
| ۴/۴۷ e | ۰/۸۷ f | ۳/۶۰ e | ۴۱/۰۸ d | ۰/۰۴۵ d | ۲۴/۲۵ e | ۱۵/۸۸ d | ۷۹/۷۲ c | ۰/۱۵ | ۰/۳ | |
| ۷/۷۹ a | ۱/۹۲ a | ۵/۹۶ a | ۵۳/۳۰ b | ۰/۰۳۰ e | ۲۱/۷۵ f | ۹/۴۹ f | ۸۶/۱۱ a | ۰/۳۰ | | |

در هر ستون، میانگین هایی که در یک حرف متفاوتند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی داری هستند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح تنش خشکی و بتونیت بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

| تیمار | محتوی آب برگ (%) | کلروولیت (%) | نیت | بتنویت | خشکی | تیمار | | تیمار | | نیت | |
|--------|------------------|--------------|----------|----------|----------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| | | | | | | بتنویت | سوپر جاذب | بتنویت | سوپر جاذب | بتنویت | سوپر جاذب |
| | | | | | | بتنویت | سوپر جاذب | بتنویت | سوپر جاذب | بتنویت | سوپر جاذب |
| d۴/۶۰ | ۰/۹۱ d | ۲/۶۸ c | ۷۴/۳۰ e | ۴۳/۴۸ d | ۰/۰۷۱ a | ۷۶/۵۷ a | ۷۵/۴۹ e | ۰ | | | |
| c۵/۰۸ | ۱/۲۱ b | ۲/۸۶ c | ۱۰۱/۲۱ b | ۴۶/۴۶ b | ۰/۰۶۵ b | ۲۳/۲۶ b | ۷۵/۹۴ e | ۰/۱۵ | ٪۶۰ | | |
| a۵/۶۳ | ۱/۲۹ a | ۴/۳۹ a | ۹۱/۹۳ c | ۴۳/۱۷ d | ۰/۰۵۱ cd | ۱۶/۴۲ c | ۷۸/۷۲ d | ۰/۳۰ | | | |
| b۵/۳۴ | ۱/۰۳ c | ۴/۳۱ a | ۸۱/۹۸ d | ۴۵/۷۴ bc | ۰/۰۵۵ c | ۲۴/۱۶ b | ۸۰/۴۸ c | ۰ | | | |
| d۴/۵۵ | ۱/۰۵ c | ۲/۵۰ d | ۹۴/۱۵ c | ۴۴/۵۴ cd | ۰/۰۴۸ d | ۱۴/۴۹ d | ۸۲/۸۴ b | ۰/۱۵ | ٪۱۰۰ | | |
| bc۵/۲۳ | ۱/۲۰ b | ۴/۰۴ b | ۱۱۰/۶۴ a | ۴۸/۰۹ a | ۰/۰۳۵ e | ۹/۴۵ e | ۸۶/۶۷ a | ۰/۳۰ | | | |

در هر ستون، میانگین هایی که در یک حرف متفاوتند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی داری هستند.

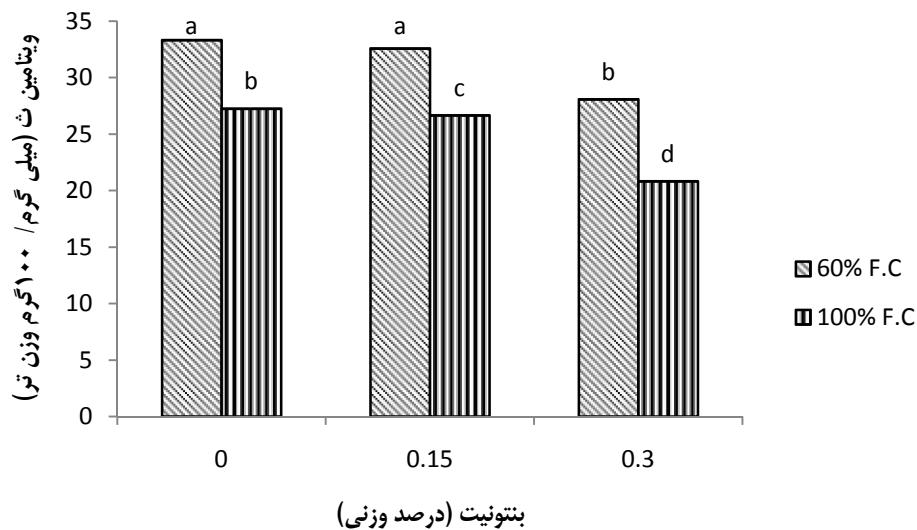
سطح خطای ۱٪ و اثر ساده بتونیت در سطح ۵٪ معنی دار

بودند.

بین سطوح ۱۵٪ و ۳٪ درصد بتونیت تفاوت معنی داری مشاهده نشد؛ ولی با شاهد تفاوت داشت. با افزایش سطح

کلروفیل (SPAD) طبق جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس شاخص کلروفیل

(SPAD)، اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، سوپر جاذب، اثرهای متقابل تنش خشکی، بتونیت و سوپر جاذب در



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح تنفس خشکی و بتنوئیت بر میزان ویتامین ث کاهو (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند)

بر متر مربع.ثانیه) مربوط به تیمار فاقد بتنوئیت و سوپرجاذب بود (شکل ۲). هنگامی که گیاه در معرض تنفس آبی قرار می‌گیرد روزنه‌ها تمایل به بسته شدن دارند. این واکنش بسته شدن در ابتدا توسط آبسیزیک اسید (ABA) ریشه القا می‌شود. علاوه بر این، کاهش پتانسیل آماس در برگ نیز بر بسته شدن روزنه‌ها در تنفس خشکی مؤثر است که احتمالاً از طریق ABA ساخته شده در برگ اثر می‌گذارد. ABA روی کانال پتانسیم اثر می‌گذارد که مانع باز شدن و سبب تحریک بسته شدن می‌شود و در حقیقت اجازه ورود پتانسیم را نمی‌دهد (۷). به طور کلی، تنفس خشکی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای شده است.

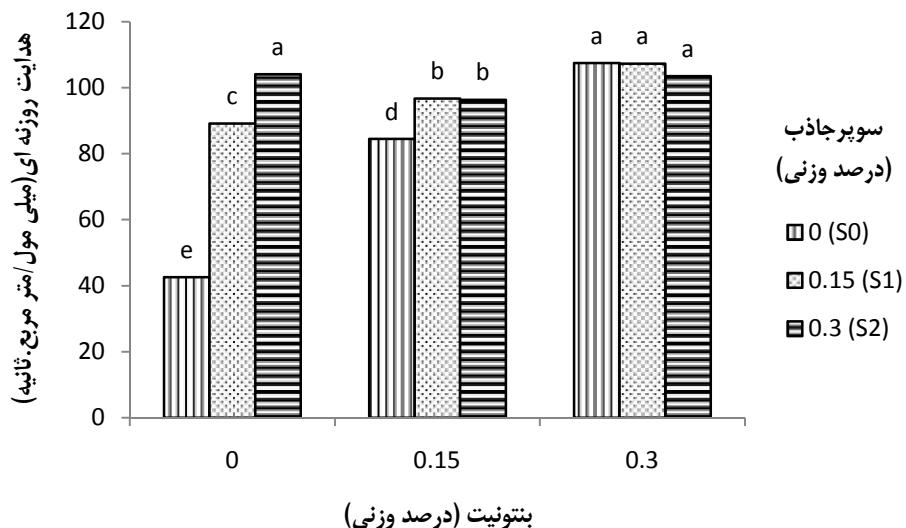
محتوای کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر ساده سطوح تنفس خشکی برای کلروفیل a و کلروفیل b، در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار شد و برای کلروفیل a و کلروفیل b کل معنی‌دار نبود. سایر اثرهای ساده و کلیه اثرهای متقابل در مورد این صفات در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار شد. بیشترین و کمترین محتوای

سوپرجاذب، بر میزان این شاخص افزوده شد (جدول ۴)، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص (به ترتیب ۴۸/۰۹ و ۴۳/۴۸) در تیمارهای ۰/۰ درصد بتنوئیت با سطح ۱۰٪ ظرفیت زراعی و شاهد با سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۵). مطابق نتیجه فاضلی رستمپور و همکاران (۱۰) تنفس خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل ذرت دانه‌ای گردید و حداکثر شاخص کلروفیل در طول فصل رشد، در تیمار آبیاری مطلوب و حداقل آن، در تیمار تنفس شدید دیده شد.

هدایت روزنه‌ای

کلیه اثرهای ساده و متقابل تنفس خشکی، بتنوئیت و سوپرجاذب برای صفت هدایت روزنه‌ای در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). هدایت روزنه‌ای در تیمارهای ترکیبی ۰/۳ درصد بتنوئیت و صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد سوپرجاذب و تیمار ترکیبی سطح صفر بتنوئیت و ۰/۳ درصد سوپرجاذب بیشترین مقدار بوده و بین این تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای (۴۲/۵۶ میلی مول



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح بتنوئیت و سوپرجاذب بر هدايت روزنهای کاهو
(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند)

نتیجه‌گیری

به طور کلی، کاربرد ۰/۳ درصد وزنی بتنوئیت به ترتیب سبب کاهش حدود ۷۴، ۱۹ و ۳۱ درصدی صفات نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۳، ۲، ۲۲ و ۸ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدايت روزنهای و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. در مورد ۰/۳ درصد وزنی سوپرجاذب A200 به ترتیب کاهش ۲۸، ۱۸ و ۳۷ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۶، ۲۵ و ۴۲ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدايت روزنهای و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد شد. این نتایج حاکی از آن است که توان بتنوئیت در کاهش اثر منفی ناشی از تنش خشکی تا حدودی به اندازه سوپرجاذب مصنوعی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل شده و اینکه سوپرجاذب‌های مصنوعی دارای هزینه زیادی می‌باشند که هر کیلوگرم آن دارای هزینه‌ای نزدیک به ۱۸ هزار تومان می‌باشد و همچنین توجه به فراوانی کانسارهای بتنوئیت و هزینه کم آن (هر کیلوگرم ۱۷۰ تومان)، استفاده از مواد معدنی از جمله بتنوئیت در ترکیب با پلیمرهای سوپرجاذب مصنوعی و یا استفاده به صورت مجزا از

کلروفیل به ترتیب مربوط به بالاترین سطح هر دو نوع سوپرجاذب و شاهد بود. خشکی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. گیاهانی که حساسیت بیشتری به خشکی دارند کمپلکس کلروفیل-پروتئین و لیپید آن‌ها ناپایدارتر می‌باشد. در اثر خشکی، تشکل پلاستیدهای جدید کلروفیل a، کلروفیل b کاهش می‌یابد و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تغییر می‌کند (۱۸). تحقیق رازبان و پیرزاد (۲) در مورد بابونه آلمانی نشان می‌دهد که در تنش‌های شدید خشکی، کاهش قابل توجهی در محتوی کلروفیل نسبت به شرایط متعادل آبیاری بوجود می‌آید. بنابراین، تنش‌های با خشکی ملایم، مقادیر کلروفیل a و b را افزایش داد. و با ادامه تنش شدید خشکی، این مقادیر به حداقل میزان خود رسید و بیشترین میزان محتوای کلروفیل با به کارگیری بیشترین میزان سوپرجاذب حاصل شد. این نتیجه منطبق بر یافته‌های اعلامی و همکاران (۱) و شیخ مرادی و همکاران (۴) در مورد چمن نیز می‌باشد. در تحقیقی دیگر، افزایش محتوای کلروفیل a و b ذرت دانه‌ای با کاربرد نسبت حجمی ۹۰:۱۰ (پلیمر سوپرجاذب: خاک شنی) در شرایط تنش شوری گزارش شد (۱۵).

گزینه‌هایی هستند که می‌توانند ضمن کاستن از شدت تنش خشکی، در بهبود شرایط رشدی گیاه و استفاده بهینه از منابع آب مؤثر واقع گردند.

منابع مورد استفاده

- اعلامی، م.، ع. تهرانی‌فر، غ. ح. داوری نژاد و ی. سلاح ورزی. ۱۳۹۰. بررسی اثر سوپرجاذب، پاکلوبوترازول و دور آبیاری بر خصوصیات کیفی و رشد چچم (*Lolium perenne* cv. Barbal) در شرایط آب و هوایی مشهد. علوم باگبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۳): ۲۸۵-۲۹۵.
- رازیان، م. و ع. پیرزاد. ۱۳۹۰. بررسی اثر کاربرد مقادیر مختلف سوپرجاذب تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت بر رشد و تحمل کم آبی در کشت دوم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*). دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۱(۴): ۱۲۳-۱۳۷.
- سرمدانی، غ. ح. و ع. کوچکی. ۱۳۶۶. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم (ترجمه). چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- شیخ مرادی، ف.، ع. ارجی، ا. اسماعیلی و و. عبدالوسی. ۱۳۹۰. بررسی اثر دور آبیاری و پلیمر سوپرجاذب روی برخی خصوصیات کیفی چمن اسپورت. علوم باگبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۲): ۱۷۰-۱۷۷.
- صادقی، ن. و ف. حسینی. ۱۳۸۹. تأثیر نوع بسته بندی و دمای نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آب لیمو. پژوهشناسی علوم و صنایع غذایی ایران ۶(۱): ۱۸.
- عابدی کوپانی، ج. و ف. سهراب. ۱۳۸۳. تأثیر کانی‌های زئولیت و بتونیت بر خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران، اهواز، صفحات ۵۶۲-۵۶۷.
- کافی، م.، ا. بروزئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- کبیری، ک. ۱۳۸۴. هیدروژل‌های سوپرجاذب: معرفی و کاربردها. سومین دوره آموزشی و سمینار کاربرد کشاورزی هیدروژل‌های سوپرجاذب، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، آبان، کرج.
- کوچکی، ع. و ا. علیزاده. ۱۳۶۵. اصول زراعت در مناطق خشک. انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۷۰ صفحه.
- فاضلی رستمپور، م.، م. ثقه‌الاسلامی و س. موسوی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تنش خشکی و سوپرجاذب بر محتوی نسبی آب و شاخص کلروفیل برگ و رابطه‌ی آن‌ها با عملکرد دانه در ذرت. فیزیولوژی گیاهان زراعی ۲(۱): ۱۳-۱۹.
- میر جلیلی، ع. ۱۳۸۴. گیاهان در محیط‌های تنش‌زا. انتشارات نوربخش.
- وحدتی مشهدیان، ن. ۱۳۹۰. بررسی اثرات تنش شوری بر روی پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سه نوع شبدر با پتانسیل استفاده در فضای سبز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Inc., pp. 45-56.
- Blum, A. and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43-47.
- El Sayed, H. and A. El Sayed. 2011. Influence of salinity stress on growth parameters, photosynthetic activity and cytological studies of *Zea mays* L. plant using hydrogel polymer. Agric. Biol. J. North Am. 2(6): 907-920.
- Judd, W.S., C.S. Campbell, E.A. Kellogg and P.F. Stevens. 1999. Plant Systematics: A Phylogenetic Approach. Sinauer Assoc., Sunderland.
- Kramer, P.J. 1983. Plant Water Relations. Academic Press, New York.
- Lawlor, D.W. and G. Comic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell Environ. 25(2): 275-294.

19. Orikiriza, L.J.B., H. Agaba, M. Tweheyo, G. Eilu, J.D. Kabasa and A. Huttermann. 2009. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. *Clean Soil Air Water* 37: 615-620.
20. Shi, Y., J. Li, J. Shao, S. Deng, R. Wang, N. Li, J. Sun, H. Zhang, X. Zheng, D. Zhou, A. Huttermann and S. Chen. 2010. Effects of stockosorb and luquasorb polymers on salt and drought tolerance of *Populus popularis*. *Sci. Hort.* 124: 268-273.
21. Specht, A. and J.H. Jones. 2000. Improving water delivery to the roots of recently transplanted seedling trees: The use of hydrogels to reduce leaf loss and hasten root establishment. *Forest Res.* 1: 117-123.
22. Stejskal, M. 1996. Mining and Treatment of Silicate. (In Czech). Silikatavy Svaz, Praha, 443 p.