تأثیر سوپرجاذب A200، بنتونیت 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 سوپرجاذب با بهبود شرایط فیزیکی خاک، مانع از تنش‌های رطوبتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردند. به منظور بررسی تأثیر دو نوع سوپرجاذب طبیعی (بنتونیت) و مصنوعی (A200) بر رشد کاهو، آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد و مقادیر دو نوع سوپرجاذب، 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 روزنه‌ای 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 ۰/۳ درصد وزنی بنتونیت به‌ترتیب سبب کاهش حدود ۷۴، ۱۹ و ۳۱ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۳، ۲، ۲۲ و ۸ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. در حالی که کاربرد ۰/۳ درصد وزنی سوپرجاذب A200 به‌ترتیب کاهش ۲۸، ۱۸ و ۳۷ درصدی نشت الکترولیت، ویتامین ث و مواد جامد محلول و افزایش ۶، ۳۲، ۲۵ و ۴۲ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد شد. این نتایج حاکی از آن است که توان بنتونیت در کاهش اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی تا حدودی به‌اندازه سوپرجاذب مصنوعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیولوژیک، سوپرجاذب مصنوعی، سوپرجاذب طبیعی، تنش کم‌آبی

مقدمه

در مناطق خشک، محور کشاورزی را آب تشکیل می‌دهد. بنابراین، همگرایی کلیه عملیات کشاورزی باید در جهت استفاده مطلوب از آب و به‌حداکثر 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 سوپرجاذب، به‌منظور استفاده بهینه از آب در کشاورزی، برای افزایش عملکرد محصولات زراعی، تحت شرایط تنش کم‌آبی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هیدروژل‌های سوپرجاذب، پلیمرهای به‌شدت آب‌دوست 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 سوپرجاذب‌ها به صورت طبیعی و مصنوعی وجود داشته، ترکیباتی بی‌بو و بی‌خطر برای محیط‌زیست و بافت‌های گیاهی می‌باشند (۸). بنتونیت از جمله سوپرجاذب‌های طبیعی است که از گروه کانی‌های ۲:۱ بوده و مخلوطی از کانی‌های

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

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

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

رسی است که دارای مقدار زیادی مونت موریلونیت 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 به‌کارگیری سوپرجاذب‌ها تحقیقاتی به‌عمل آمده است. از جمله، می‌توان به نتایج اُریکیریزا و همکاران (۱۹) تحت تنش خشکی در گلخانه اشاره کرد. اصلاح خاک با ۰/۲ و ۰/۴ درصد سوپرجاذب باعث افزایش بیومس ۹ گونه زینتی شد. آنها اعلام کردند که با اضافه کردن این مواد به خاک، رطوبت در محدوده ظرفیت زراعی حفظ شده، که باعث افزایش فتوسنتز 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 تنش خشکی و شوری، نشان داد که کاربرد ۰/۵ 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 روزنه‌ها در بسترهای حاوی سوپرجاذب استاکوزورب گزارش کردند (۲۱).

از طرفی، آب یکی از اجزای عمده بافت گیاه، معرف شیمیایی در فرایندهای فتوسنتز 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 فتوسنتز، 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 به‌عنوان یک محصول سبزی پرورش داده می‌شود (۱۶). در ایران نیز کاهو در بسیاری از مناطق تولید می‌گردد. به‌علت سطح زیاد برگ‌های کاهو و زیاد بودن تبخیر آب، از جمله گیاهان حساس به تنش 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 بنتونیت به عنوان یک نوع سوپرجاذب طبیعی در کمک به کاهش اثرهای نامطلوب تنش خشکی از طریق تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه و همچنین مقایسه آن با نوع مصنوعی پلیمر سوپرجاذب A200 صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح تنش خشکی، بنتونیت و سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیولوژیک کاهو، آزمایشی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ 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 ۲۴/۴ و ۱۲/۵ درصد تعیین گردید (جدول ۱). سپس، مقادیر سوپرجاذب A200 در سه سطح (صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد وزنی/ وزنی، به‌ترتیب صفر، ۱۵ و ۳۰ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک هر گلدان، به ترتیب S_0، S_1 و S_2) و بنتونیت (صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد وزنی/ وزنی، به‌ترتیب صفر، ۱۵ و ۳۰ گرم در ۱۰ کیلوگرم خاک هر گلدان، به‌ترتیب B_0، B_1 و B_2) با خاک هر گلدان مخلوط گردید. درصد وزنی ترکیبات تشکیل‌دهنده بنتونیت 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 ۴ برگی به هر گلدان منتقل گردید. برای اطمینان از استقرار نشاها تا مرحله ۶-۸ برگی، همه گلدان‌ها در حد ۱۰۰٪ نیاز آبی آبیاری شدند و تیمارهای تنش خشکی پس از اطمینان از استقرار گیاه، در دو سطح ۶۰٪

جدول ۱. درصد وزنی ترکیبات تشکیل‌دهنده بنتونیت مورد آزمایش

ترکیب	درصد وزنی
SiO_2	۶۱/۵–۷۱/۷
Al_2O_3	۱۱/۵–۱۵/۱
Fe_2O_3	۲/۴–۳/۲
MgO	۱/۱–۳/۴
Na_2O	۰/۵–۳/۵
K_2O	۰/۴–۱/۱
CaO	۱/۶–۲/۷
TiO_2	۰/۳–۰/۶

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

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

(DS_1) و ۱۰۰٪ (DS_2) 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، شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD 502, Minolta, Japan) در برگ‌های جوان توسعه یافته، هدایت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (Company LI-1600,LI-COR) اندازه‌گیری شدند. محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، ویتامین ث و محتوای کلروفیل نیز طبق روش‌های ذکر شده در زیر اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری محتوای رطوبت‌نسبی (RWC)

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

$$RWC = \frac{(Fw - Dw)}{(Tw - Dw)} \times ۱۰۰ \qquad [۱]$$

که Fw، Dw و Tw به‌ترتیب نشان‌دهنده وزن تر، خشک و آماس نمونه‌های برگی تهیه شده است. برای این منظور، پس از تهیه ۲۰ قطعه برگی به اندازه تقریباً ۵×۵ میلی‌متر، ابتدا وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. وزن آماس نمونه‌ها نیز پس از خیساندن آنها 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 الکترولیت (EL)

در این روش، ابتدا قطعاتی برگی با اندازه یک سانتی متر تهیه شد. این قطعات، پس از شستشو، همراه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس، لوله‌ها به مدت ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر شدیداً تکان داده شدند. در این مرحله، هدایت الکتریکی اولیه (Ci) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج (Jenway مدل ۴۵۱۰) اندازه‌گیری شد. سپس، لوله‌های آزمایش جهت کشته شدن یاخته‌های برگی به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. پس از سرد شدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش، هدایت الکتریکی ثانویه (Cs) نیز اندازه‌گیری شد. در نهایت، مقادیر نشت الکترولیت از رابطه زیر محاسبه شد (۱۴):

$$EL = (Ci / Cs) \times ۱۰۰ \qquad [۲]$$

ویتامین ث (Vit c)

میزان ویتامین ث بر اساس استخراج اسید اسکوربیک نمونه، با

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

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوی رطوبت نسبی (RWC)	نشت الکترولیت (EL)	ویتامین ث (Vit c)	کل مواد جامد محلول (TSS)	شاخص کلروفیل (SPAD)	هدایت روزنه‌ای	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل (a+b)
سطوح تنش خشکی	۱	۷۸۶/۹۸**	۹۲۸۶/۸۰**	۷۴۱/۱۲**	۰/۰۰۵۰**	۵۵/۴۹**	۴۷۶/۲۶**	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۳۵*	۰/۰۶۴^{ns}
سطوح بنتونیت	۲	۵۹/۵۴**	۹۷۰۹/۳۹**	۲۴۴/۶۶**	۰/۰۰۲۴**	۱۱/۷۴*	۳۷۲۱/۴۵**	۱/۷۳**	۰/۴۷۹**	۲/۴۷**
سطوح سوپرجاذب	۲	۱۸۱/۰۱**	۶۲۲/۵۴**	۲۰۰/۳۷**	۰/۰۰۳۷**	۲۱۰۳/۰۹**	۴۵۳۵/۸۳**	۲۷/۳۱**	۲/۸۷**	۴۶/۶۶**
تنش خشکی × بنتونیت	۲	۹۳/۹۴**	۳۹۷۱/۶۱**	۳/۱۶^{ns}	۰/۰۰۰۰^{ns}	۶۷/۰۳**	۱۰۰۳/۸۸**	۱/۹۴**	۰/۱۲۷**	۲/۹۴**
تنش خشکی ×سوپرجاذب	۲	۱۱۳/۹۹**	۳۷/۳۰**	۱/۶۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۶۶^{ns}	۲۱/۲۱**	۱۲۰/۱۹**	۰/۹۶**	۰/۲۵۴**	۱/۲۵**
سطوح بنتونیت×سوپرجاذب	۴	۹۴/۸۸**	۱۶۷/۸۸**	۵/۰۴**	۰/۰۰۰۰۲۲^{ns}	۶۲/۹۹**	۲۴۶۶/۸۵**	۲/۷۸**	۱/۳۰**	۷/۰۱**
تنش خشکی × بنتونیت×سوپرجاذب	۴	۲۲۵/۰۵**	۷۰/۸۹**	۰/۹۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۶۶^{ns}	۲۱۳/۳۳$^{××}$	۱۵۴/۶۰**	۰/۸۱**	۰/۲۵۰**	۱/۸۲**
خطای آزمایش	۵۴	۳/۰۱	۲/۱۱	۱/۳۱	۰/۰۰۰۰۳۳	۳/۰۲	۱۸/۱۸	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۶۲

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

استفاده از محلول اسید متافسفریک، همراه با اسید استیک و عیارسنجی با ماده رنگی ۲ و ۶ دی‌کلروفنل‌ایندوفنل 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 ۹۹٪ استفاده شد. میزان جذب در طول موج‌های ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر انجام گرفت. در نهایت، بر اساس روابط زیر مقدار کلروفیل a و b محاسبه شد (۱۲):

$$CHLa = ۱۵/۶۵A_{۶۶۶} - ۷/۳۴۰A_{۶۵۳} \quad [۳]$$

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

$$CHLt = CHLa + CHLb \quad [۵]$$

که CHLa میزان کلروفیل a، CHLb میزان کلروفیل b و 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 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، بنتونیت، سوپرجاذب و برهمکنش آنها در مورد محتوای رطوبت نسبی معنی‌دار شد ($P<۰/۰۱$). مقدار RWC در سطح ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، نسبت به سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی، ۸٪ بیشتر بود. سطوح مختلف پلیمر سوپرجاذب

در مقایسه با شاهد (صفر گرم) از RWC بیشتری برخوردار بودند. بین سطوح بنتونیت از این نظر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی با شاهد دارای تفاوت بوده و مقدار بیشتری را نشان داد (جدول ۴). ترکیب ۰/۳ درصد بنتونیت و ۰/۳ درصد پلیمر سوپرجاذب 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 می‌شود، 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 دانه‌ای به نتایج مشابهی دست یافتند.

نشت الکترولیت (EL)

در شرایط تنش، بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو لایه‌ای غشا حالت کروی پیدا کرده و ساختار غشا به ساختار منفذدار تبدیل می‌شود و نشت مواد روی می‌دهد (۱۱). میزان خسارت غشاهای سلولی بر اثر تنش خشکی از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت از سلول سنجیده می‌شود که در شرایط تنش خشکی، پایداری غشای سلولی جزء اصلی تحمل به تنش است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) مشخص گردید که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، بنتونیت، سوپرجاذب و برهمکنش آنها در مورد نشت الکترولیت در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. مطابق جدول ۴، تیمارهای فاقد بنتونیت یا سوپرجاذب 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 بنتونیت و سطوح تنش در جدول ۶ (مقدار ۰/۳ درصد بنتونیت و تیمار ۱۰۰٪) و اثر متقابل بنتونیت و سوپرجاذب در جدول ۵ (ترکیب ۰/۳ درصد از این دو ماده)، به ترتیب با مقادیر ۹/۴۵ و ۹/۴۹ درصد، کمترین میزان نشت یونی را نشان داده که نمایانگر تنش کمتر می‌باشد.

ویتامین ث (Vit c)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، بنتونیت، سوپرجاذب و برهمکنش بنتونیت و سوپرجاذب در مورد ویتامین ث در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. ولی برهمکنش تنش خشکی و بنتونیت، تنش خشکی و سوپرجاذب و اثر متقابل سه گانه خشکی، بنتونیت و سوپرجاذب تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. مطابق شکل ۱، سطوح صفر و ۰/۱۵ بنتونیت در سطح تنش ۶۰٪ بیشترین مقادیر (۳۳/۳۳ و ۳۲/۵۸ میلی‌گرم در ۱۰۰گرم وزن تر) و سطح ۰/۳ در سطح ۱۰۰٪ کمترین میزان (۲۰/۸۳ میلی‌گرم در ۱۰۰گرم وزن تر) ویتامین ث را نشان دادند. از جمله تغییرات در گیاهان به‌عنوان پیام‌آور حضور تنش و مقابله با آن، افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان‌های مختلف است. اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند، 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، بنتونیت و سوپرجاذب برای مواد جامد محلول در سطح احتمال خطای ۱٪ معنی‌دار بوده و کلیه اثرهای متقابل معنی‌دار نشد. تیمارهای فاقد بنتونیت، سوپرجاذب یا ترکیب این دو ماده، بیشترین میزان مواد جامد محلول را نشان دادند. با به‌کارگیری هر دو ماده نگهدارندهٔ رطوبت و همچنین افزایش سطح به‌کار 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 فعال تجمع مواد قابل حل مناسب طی رشد و در زمان تنش آب رخ می‌دهد.

جدول ۴. میانگین اثر سطوح تنش خشکی، بنتونیت و سوپرجاذب بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

تیمار	محتوی نسبی آب برگ (٪)	نشت الکترولیت (٪)	ویتامین ث (میلی گرم/ ۱۰۰گرم وزن تر)	کل مواد جامد محلول(٪) (TSS)	شاخص کلروفیل (SPAD)	هدایت روزنه ای (میلی مول/متر مربع.ثانیه)	کلروفیل a (میلی گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/گرم وزن تر)
سطوح تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)									
٪۶۰	۷۶/۷۲b	۳۸/۷۵ a	۳۱/۳۳ a	۰/۰۶۲ a	۴۴/۳۷ b	۸۹/۱۵ b	۳/۹۸ a	۱/۱۴ a	۵/۱۰ a
٪۱۰۰	۸۳/۳۳ a	۱۶/۰۴ b	۲۴.۹۱ b	۰/۰۴۶ b	۴۶/۱۳ a	۹۵/۵۹ a	۳/۹۵ a	۱/۰۹ b	۵/۰۴ a
بنتونیت (درصد وزنی)									
۰	۷۸/۲۱ b	۵۰/۳۶ a	۳۰/۲۹ a	۰/۰۶۳ a	۴۴/۴۶ b	۷۸/۱۴ c	۴/۰ b	۰/۹۷ c	۴/۹۷ b
۰/۱۵	۸۱/۰۸ a	۱۸/۸۸ b	۲۹/۶۲ b	۰/۰۵۶ b	۴۵/۵۰ a	۹۷/۶۸ b	۳/۶۸ c	۱/۱۳ b	۴/۸۲ c
۰/۳۰	۸۰/۷۸ a	۱۲/۹۴ c	۲۴/۴۵ c	۰/۰۴۳ c	۴۷/۷۹ a	۱۰۱/۲۸ a	۴/۲۱ a	۱/۲۵ a	۵/۴۳ a
سوپرجاذب (درصد وزنی)									
۰	۷۷/۲۴ c	۳۰/۰۱ a	۳۱/۱۶ a	۰/۰۶۶ a	۳۷/۵۲ c	۷۸/۵۶ c	۳/۰۱ c	۰/۷۸ c	۳/۸۰ c
۰/۱۵	۸۰/۱۰ b	۳۰/۶۴ a	۲۷/۷۹ b	۰/۰۵۵ b	۴۲/۹۵ b	۹۲/۴۹ b	۳/۷۶ b	۱/۰۹ b	۴/۸۵ b
۰/۳۰	۸۲/۷۳ a	۲۱/۵۲ b	۲۵/۴۱ c	۰/۰۴۱ c	۵۵/۵۵ a	۱۰۶/۰۵ a	۵/۱۲ a	۱/۴۷ a	۶/۵۶ a

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح بنتونیت و سوپرجاذب بر صفات فیزیولوژیک، ویتامین ث و مواد جامد محلول کاهو

تیمار		محتوی نسبی آب برگ (٪)	نشت الکترولیت (٪)	ویتامین ث (میلی‌گرم/ ۱۰۰گرم وزن تر)	کل مواد جامد محلول (TSS)	شاخص کلروفیل (SPAD)	کلروفیل a (میلی- گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل کل (a+b) (میلی‌گرم/گرم وزن تر)
بنتونیت	سوپرجاذب								
	۰	۷۳/۷۱ e	۵۵/۹۸ a	۳۴/۱۲ a	۰/۰۷۵ a	۳۶/۴۲ f	۲/۹۸ f	۰/۷۱ g	۳/۶۹ g
۰	۰/۱۵	۸۳/۴۳ b	۵۶/۹۸ a	۳۰/۰۰ c	۰/۰۶۵ b	۴۲/۰۲ d	۳/۷۳ de	۰/۸۰ f	۴/۵۳ e
	۰/۳۰	۸۲/۴۶ b	۳۸/۵۴ b	۲۶/۷۵ d	۰/۰۵۰ cd	۵۸/۹۲ a	۵/۲۹ b	۱/۳۹ c	۶/۶۸ b
	۰	۷۷/۸۵ d	۲۰/۶۲ c	۳۲/۰۰ b	۰/۰۷۰ ab	۳۶/۳۵ f	۲/۹۹ f	۰/۶۹ g	۳/۶۸ g
۰/۱۵	۰/۱۵	۷۷/۱۷ d	۱۹/۴۷ c	۲۹/۱۲ c	۰/۰۵۵ c	۴۵/۷۴ c	۳/۹۴ cd	۱/۶۰ b	۵/۵۴ c
	۰/۳۰	۷۹/۶۳ c	۱۶/۵۵d fg	۲۷/۷۵ d	۰/۰۴۵ d	۵۴/۴۲ b	۴/۱۱ c	۱/۱۱ d	۵/۲۲ d
	۰	۸۰/۱۶ c	۱۳/۴۵ e	۲۷/۳۷ d	۰/۰۵۵ c	۳۹/۰۰ e	۳/۰۸ f	۰/۹۵ e	۴/۰۳ f
۰/۳	۰/۱۵	۷۹/۷۲ c	۱۵/۸۸ d	۲۴/۲۵ e	۰/۰۴۵ d	۴۱/۰۸ d	۳/۶۰ e	۰/۸۷ f	۴/۴۷ e
	۰/۳۰	۸۶/۱۱a	۹/۴۹ f	۲۱/۷۵ f	۰/۰۳۰ e	۵۳/۳۰ b	۵/۹۶ a	۱/۹۲ a	۷/۷۹ a

در هر ستون، میانگین‌هایی که در یک حرف متفاوتند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری هستند.

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

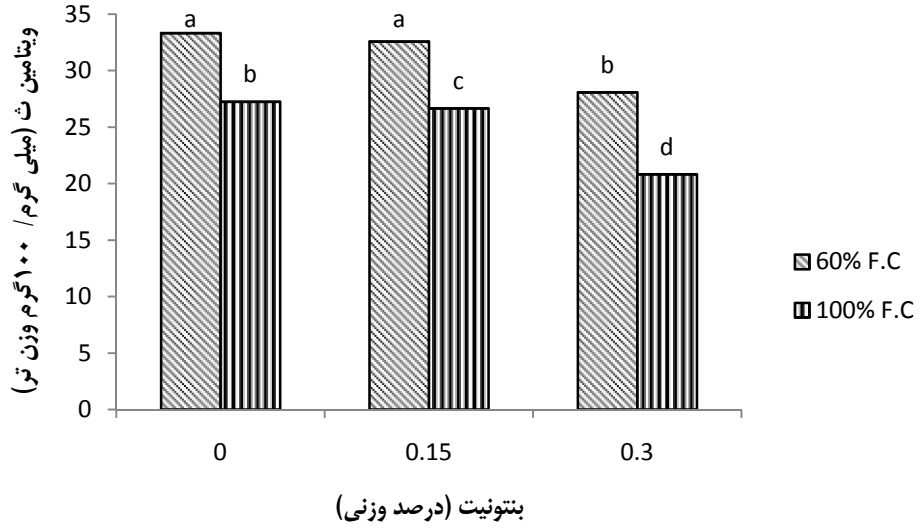
تیمار		محتوی نسبی آب برگ (٪)	نشت الکترولیت (٪)	کل مواد جامد محلول (TSS)	شاخص کلروفیل (SPAD)	هدایت روزنه‌ای (میلی مول/متر مربع.ثانیه)	کلروفیل a (میلی گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم/گرم وزن تر)	کلروفیل کل (a+b) (میلی گرم/گرم وزن تر)
تنش خشکی	بنتونیت								
	۰	۷۵/۴۹ e	۷۶/۵۷ a	۰/۰۷۱ a	۴۳/۴۸ d	۷۴/۳۰ e	۳/۶۸ c	۰/۹۱ d	d۴/۶۰
٪۶۰	۰/۱۵	۷۵/۹۴ e	۲۳/۲۶ b	۰/۰۶۵ b	۴۶/۴۶ b	۱۰۱/۲۱ b	۳/۸۶ c	۱/۲۱ b	c۵/۰۸
	۰/۳۰	۷۸/۷۲ d	۱۶/۴۲ c	۰/۰۵۱ cd	۴۳/۱۷ d	۹۱/۹۳ c	۴/۳۹ a	۱/۲۹ a	a۵/۶۳
	۰	۸۰/۴۸ c	۲۴/۱۶ b	۰/۰۵۵ c	۴۵/۷۴ bc	۸۱/۹۸ d	۴/۳۱ a	۱/۰۳ c	b۵/۳۴
٪۱۰۰	۰/۱۵	۸۲/۸۴ b	۱۴/۴۹ d	۰/۰۴۸ d	۴۴/۵۴ cd	۹۴/۱۵ c	۳/۵۰ d	۱/۰۵ c	d۴/۵۵
	۰/۳۰	۸۶/۶۷a	۹/۴۵ e	۰/۰۳۵ e	۴۸/۰۹ a	۱۱۰/۶۴ a	۴/۰۴ b	۱/۲۰ b	bc۵/۲۳

در هر ستون، میانگین‌هایی که در یک حرف متفاوتند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری هستند.

کلروفیل (SPAD)

طبق جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس شاخص کلروفیل (SPAD)، اثرهای ساده سطوح تنش خشکی، سوپرجاذب، اثرهای متقابل تنش خشکی، بنتونیت و سوپرجاذب در سطح خطای ۱٪ و اثر ساده بنتونیت در سطح ۵٪ معنی‌دار بودند.

بین سطوح ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد بنتونیت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ ولی با شاهد تفاوت داشت. با افزایش سطح



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

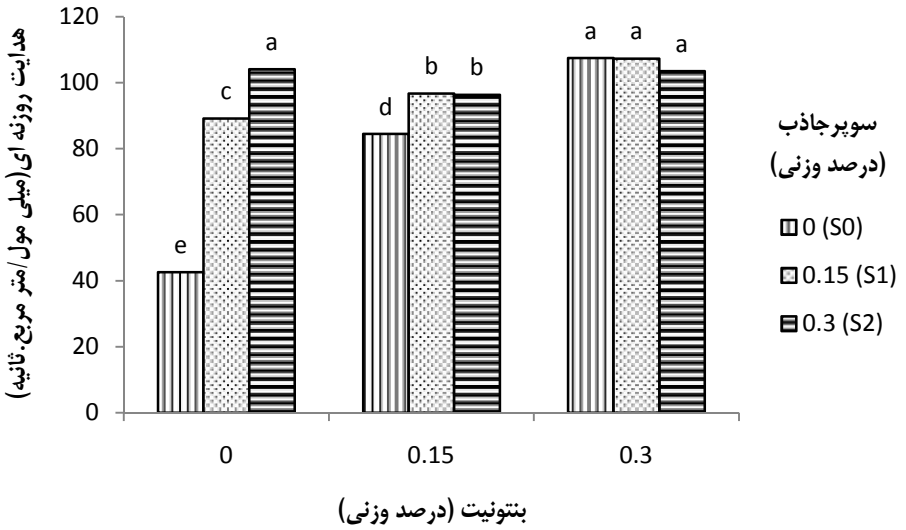
سوپرجاذب، بر میزان این شاخص افزوده شد (جدول ۴)، به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص (به ترتیب ۴۸/۰۹ و ۴۳/۴۸) در تیمارهای ۰/۳ درصد بنتونیت با سطح ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و شاهد با سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۵). مطابق نتیجه فاضلی رستم‌پور و همکاران (۱۰) تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل ذرت دانه‌ای گردید و حداکثر شاخص کلروفیل در طول فصل رشد، در تیمار آبیاری مطلوب و حداقل آن، در تیمار تنش شدید دیده شد.

هدایت روزنه‌ای

کلیه اثرهای ساده و متقابل تنش خشکی، بنتونیت و سوپرجاذب برای صفت هدایت روزنه‌ای در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). هدایت روزنه‌ای در تیمارهای ترکیبی ۰/۳ درصد بنتونیت و صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد سوپرجاذب و تیمار ترکیبی سطح صفر بنتونیت و ۰/۳ درصد سوپرجاذب بیشترین مقدار بوده و بین این تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای (۴۲/۵۶ میلی‌مول بر متر مربع.ثانیه) مربوط به تیمار فاقد بنتونیت و سوپرجاذب بود (شکل ۲). هنگامی که گیاه در معرض تنش 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 تنش خشکی مؤثر است که احتمالاً از طریق ABA ساخته شده در برگ اثر می‌گذارد. ABA روی کانال پتاسیم اثر می‌گذارد که مانع باز شدن و سبب تحریک بسته شدن می‌شود و در حقیقت اجازه ورود پتاسیم را نمی‌دهد (۷). به طور کلی، تنش خشکی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای شده است.

محتوای کلروفیل

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



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

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 به‌وجود می‌آید. بنابراین، تنش‌های با خشکی ملایم، مقادیر کلروفیل a، b و کل را افزایش داد. و با ادامه تنش شدید خشکی، این مقادیر به حداقل میزان خود رسید و بیشترین میزان محتوای کلروفیل با به‌کارگیری 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 ۱۰:۹۰ (پلیمر سوپرجاذب: خاک شنی) در شرایط تنش شوری گزارش شد (۱۵).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، کاربرد ۰/۳ درصد وزنی بنتونیت 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، هدایت 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، ۳۲، ۲۵ و ۴۲ درصدی محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد شد. این نتایج حاکی از آن است که توان بنتونیت 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 بنتونیت و هزینه کم آن (هر کیلوگرم ۱۷۰ تومان)، استفاده از مواد معدنی از جمله بنتونیت در ترکیب با پلیمرهای سوپرجاذب مصنوعی و یا استفاده به‌صورت مجزا از

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

منابع مورد استفاده

۱. 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 باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۳): ۲۸۸-۲۹۵.

۲. رازبان، م. و ع. پیرزاد. ۱۳۹۰. بررسی اثر کاربرد مقادیر مختلف سوپرجاذب تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت بر رشد وتحمل کم آبی در کشت دوم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*). دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۱(۴): ۱۲۳-۱۳۷.

۳. سرمدنیا، غ. ح. و ع. کوچکی. ۱۳٦٦. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم (ترجمه). چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۴. شیخ مرادی، ف.، ع. ارجی، ا. اسماعیلی و و. عبدوسی. ۱۳۹۰. بررسی اثر دور آبیاری و پلیمر سوپرجاذب روی برخی خصوصیات کیفی چمن اسپورت. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۲): ۱۷۰-۱۷۷.

۵. صداقت، ن. و ف. حسینی. ۱۳۸۹. تأثیر نوع بسته بندی و دمای نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آب لیمو. پژوهش-های علوم و صنایع غذایی ایران ٦(۱): ۱۸.

٦. عابدی کوپایی، ج. و ف. سهراب. ۱۳۸۳. تأثیر کانی‌های زئولیت و بنتونیت بر خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران، اهواز، صفحات ٥٦٢-٥٦٧.

۷. کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۸. کبیری، ک. ۱۳۸۴. هیدروژل‌های سوپرجاذب: معرفی و کاربردها. سومین دوره آموزشی و سمینار کاربرد کشاورزی هیدروژل های سوپرجاذب، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، آبان، کرج.

۹. کوچکی، ع. و ا. علیزاده. ۱۳٦٥. اصول زراعت در مناطق خشک. انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۷۰ صفحه.

۱۰. فاضلی رستم‌پور، م.، م. ثقه الاسلامی 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.

۱۱. میر جلیلی، ع. ۱۳۸۴. گیاهان در محیط‌های تنش‌زا. انتشارات نوربخش.

۱۲. 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.

13. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Inc., pp. 45-56.
14. Blum, A. and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43-47.
15. 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.
16. Judd, W.S., C.S. Campbell, E.A. Kellogg and P.F. Stevens. 1999. Plant Systematics: A Phylogenetic Approach. Sinauer Assoc., Sunderland.
17. Kramer, P.J. 1983. Plant Water Relations. Academic Press, New York.
18. 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.