اثر هیدروژل سوپرجاذب بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای تحت شرایط تنش خشکی

فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی
جلد ۱۵، شماره ۱، صفحات ۲۴- ۱۳
(بهار ۱۳۹۸)

داود خدادادی دهکردی[۱]✉، سید امیر شمس‌نیا[۲]، اصلان اگدرنژاد[۱]

۱ گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران davood_kh70@yahoo.com ✉ **(مسؤول مکاتبات)**

۲ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده کم‌آبیاری یک راه کار بهینه‌سازی تولید محصول در شرایط تنش آبی است. همچنین، هیدروژل سوپرجاذب، پلیمری آب دوست با قابلیت نگهداری مقادیر زیاد آب در خود می‌باشد. این پژوهش به منظور بررسی اثر سطوح مختلف هیدروژل سوپرجاذب از نوع سوپر آب آ ۲۰۰ بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ تحت تنش خشکی صورت پذیرفت. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در خاک شنی در منطقه حمیدیه خوزستان انجام شد. در این پژوهش میزان آب آبیاری به عنوان تیمار اصلی شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰٪ نیاز آبی گیاه و هیدروژل سوپرجاذب به عنوان تیمار فرعی شامل ۰ (شاهد)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم بر متر مربع در نظر گرفته شدند. با افزایش تنش خشکی، عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای کاهش معنی‌داری داشت. تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی بود که در نهایت منجر به کاهش عرضه مواد پرورده و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شد. در نهایت نتیجه‌گیری شد که هیدروژل سوپرجاذب بر ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آنها در شرایط تنش خشکی مؤثر است و به طور معنی‌داری از کاهش عملکرد و اجزای عملکرد محصول جلوگیری می‌کند. توصیه می‌شود از تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب جهت کشت ذرت در شرایط آب‌وهوایی خوزستان استفاده گردد.

شناسه مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پژوهش: ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۱۱

واژه‌های کلیدی

- پلیمر فراجاذب
- تنش آبی
- ذخیره‌سازی آب
- کم‌آبیاری

این مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و قوانین The Creative Commons of BY - NC - ND انتشار یافته است.

DOI: 10.22034/AEJ.2019.664792

مقدمه کم‌آبیاری یک راه‌کار بهینه‌سازی عملکرد محصولات تحت شرایط تنش خشکی است. این روش، علی‌رغم کاهش محصول در واحد سطح و خسارت‌های احتمالی، می‌تواند برای گسترش سطح زیر کشت و به حداکثر رساندن و یا بهبود و تثبیت تولید محصولات یک منطقه استفاده شود.[۱۳]

ذرت از گیاهان مهم در تغذیه انسان، دام، طیور و صنعت، سهم عمده‌ای در تأمین غذای انسان، دام و طیور داشته و به عنوان ماده اولیه فرآورده‌های صنعتی به شمار می‌رود. نظر به کشت تابستانه ذرت، آب آبیاری نقش مهمی در تولید این محصول داشته و کمبود رطوبت از عوامل مهم محدود کننده رشد این گیاه به شمار می‌رود[۱۵] و تنش خشکی با تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه، بر جنبه‌های مختلف رشد آن تأثیر می‌گذارد.[۱۸]

هیدروژل سوپرجاذب پلیمری آب دوست و سه بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های آبی را حتی در فشار لایه‌های بالایی خاک دارد.[۳۹] پلیمرهای سوپرجاذب توانایی ذخیره مقادیر متفاوتی آب را در خود داشته و در نتیجه قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب در خاک را افزایش می‌دهند. آب ذخیره شده در این مواد در مواقع کمبود رطوبت در خاک آزاد شده و مورد استفاده ریشه گیاه قرار می‌گیرد.[۱۴]

قاسمی و خوشخوی (۲۰۰۷) در آزمایشی به منظور ارزیابی تأثیر هیدروژل سوپرجاذب بر دور آبیاری و رشد و نمو گیاه داودی باغچه‌ای نتیجه گرفتند که شاخص‌های تعداد گل، قطر گل، وزن‌تر و خشک گل، تعداد برگ، سطح برگ، وزن‌تر و خشک شاخساره، تعداد شاخه، طول گیاه، وزن‌تر و خشک ریشه، نسبت ریشه به شاخساره در شرایط تنش خشکی اثر مثبت و معنی‌داری دارد.[۱۰] *یزدانی و همکاران (۲۰۰۷)* در آزمایشی اثر چهار مقدار پلیمر سوپرجاذب و سه فاصله آبیاری را بر رشد و عملکرد سویا رقم L11 تحت شرایط مزرعه‌ای ارزیابی و نتیجه گرفتند که از لحاظ عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد غلاف در شاخه فرعی، تعداد غلاف در ساقه اصلی، تعداد شاخه در بوته، ارتفاع بوته و درصد پروتین دانه اختلاف معنی‌داری بین دورهای آبیاری وجود دارد.[۳۸] *نیکورزم و همکاران (۲۰۰۹)* اثر چهار مقدار پلیمر سوپرجاذب به ازای هر بوته، چهار فاصله آبیاری و روش کاربرد پلیمر در دو سطح لایه‌ای و مخلوط با کل خاک را روی ویژگی‌های رشد کاهو تحت شرایط گلخانه بررسی نموده و نتیجه گرفتند که وزن‌تر و وزن خشک گیاه تحت تأثیر مقادیر مختلف هیدروژل سوپرجاذب قرار داشته و با افزایش مقادیر هیدروژل سوپرجاذب هر یک از صفات مذکور افزایش داشت.[۲۵] *شیردل شهمیری و اکبری نودهی (۲۰۱۰)* در آزمایشی به منظور بررسی تأثیر پلیمرهای فراجاذب بر افزایش نگهداری آب در خاک و راندمان مصرف آب تامسون نتیجه گرفتند که میانگین اثر تیمارهای آبیاری و تیمار فراجاذب در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشد.[۳۲] *زنگویی‌نسب و همکاران (۲۰۱۲)* نتیجه گرفتند که کاربرد هیدروژل سوپرجاذب باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع نهال، وزن‌تر و خشک اندام هوایی، وزن‌تر و خشک ریشه و طول ریشه نهال تاغ شد.[۴۰] نتایج پژوهش *شریفان و همکاران (۲۰۱۳)* نشان داد که افزایش عملکرد محصولات زراعی و بالطبع افزایش کارایی مصرف آب تحت تأثیر کاربرد مواد هیدروژل سوپرجاذب به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی برای مدت طولانی‌تر در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه با ذخیره مواد غذایی و هوادهی بهتر در خاک بود.[۳۳]

رشدی (۲۰۱۴) طی پژوهشی نتیجه گرفت که کاربرد هیدروژل سوپرجاذب منجر به افزایش معنی‌دار تعداد دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه گیاه آفتابگردان شد.[۲۶] *حدادادی دهکردی و همکاران (۲۰۱۳)* طی پژوهشی نتیجه گرفتند که هیدروژل سوپرجاذب به خوبی می‌تواند با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آنها در شرایط تنش خشکی، شرایط مساعدی را برای رشد گیاه فراهم آورد و نهایتاً منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آن گردد.[۱۹] *شمسی‌گوشکی و همکاران (۲۰۱۵)* طی پژوهشی نتیجه گرفتند که با کاربرد هیدروژل سوپرجاذب بیشترین عملکرد دانه ذرت به میزان حدود ۲۱ تن در هکتار در تیمار دور آبیاری ۷ روز یک بار حاصل شد که افزایش ۴۶٪ نسبت به شاهد را نشان داد.[۳۴] *آقایاری و همکاران (۲۰۱۶)* طی پژوهشی نتیجه گرفتند که کاربرد سوپرجاذب باعث صرفه‌جویی در آب آبیاری به میزان ۱۳/۴٪ در طول دوره رشد محصول ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۳ گردید. همچنین بیان نمودند که استفاده از سوپرجاذب در بالا بردن بهره‌وری آب مؤثر بود.[۳]

هدف از انجام این پژوهش، افزایش مقاومت گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به تنش خشکی با استفاده از سوپرجاذب در گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها این پژوهش در منطقه حمیدیه خوزستان به طول جغرفیای ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه و عرض جغرافیای ۳۱ درجه و ۴۸ دقیقه ۳۰ ثانیه با ارتفاع ۱۱ متر از سطح دریا در یک خاک شنی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. منطقه مورد آزمایش براساس آمار ۵۰ ساله، دارای متوسط سالیانه بارندگی ۲۱۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت هوا ۲۵، حداکثر و حداقل درجه حرارت هوا به ترتیب ۳۲/۸ و ۱۷/۶ درجه سلسیوس بود.

برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، قبل از کاشت گیاه، نمونه مرکبی از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری زمین برداشت و جهت آنالیز خاک، به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال شد (جدول ۱). هم‌چنین به منظور تعیین کیفیت آب آبیاری که از رودخانه کرخه نور تأمین می‌شد، نمونه‌برداری انجام (جدول ۲) و

جدول ۱) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1) Some physical and chemical characteristics of experimental farm soil

Soil depth (cm)	relative frequency and size of soil particles (%)			soil texture	EC (dS/m)	pH	organic carbon (%)	soluble phosphorus (ppm)	soluble potassium (ppm)
	clay	silt	sand						
0-30	8	4	88	sandy	3	8.1	0.42	10.4	166
30-60	8	2	90	sandy	2.8	8	0.35	14.1	151

جدول ۲) تجزیه کیفی آب آبیاری مزرعه مورد آزمایش

Table 2) Qualitative analysis of experimental farm irrigation water

anions (meq/L)				cations (meq/L)				pH	EC (dS/m)
$SO_4^=$	Cl^-	HCO_3^-	$CO_3^=$	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}		
10.2	12.1	4	0	0.12	12	9	10	7.3	2

شوری آن برای کشت ذرت مناسب تشخیص داده شد از رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان رقم متحمل به تنش خشکی و مناسب برای کشت در مناطق نیمه گرمسیری کشور جهت کشت استفاده گردید.[۲۳] کشت بذور ذرت در دو فصل کشت اجرا گردید. بدین صورت که در اول اسفند ماه (برای کشت بهاره) و در اول مرداد ماه (برای کشت تابستانه) انجام پذیرفت. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۲ تیمار و سه تکرار انجام گرفت. در این پژوهش، عمق آب آبیاری به عنوان تیمار اصلی شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰٪ نیاز آبی گیاه و هیدروژل سوپرجاذب به عنوان تیمار فرعی، شامل ۰ (شاهد)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در متر مربع استفاده شد. ابعاد هر کرت فرعی ۴/۵ × ۴ متر بود و میزان هیدروژل سوپرجاذب مورد نیاز در هر کرت و در هر شش خط کشت، در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک به طور کاملاً یکنواخت توزیع گردید. هیدروژل سوپرجاذب به کار رفته در این پژوهش، سوپر آب آ ۲۰۰[1] بود. برای تعیین دور آبیاری، با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی، از شاخص رطوبت خاک و یا پتانسیل ماتریک خاک استفاده شد. با اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک از طریق نمونه‌برداری تا عمق ریشه گیاه تا حداکثر ۸۰ سانتی‌متر و حداقل از سه کرت در روزهای قبل از آبیاری اقدام نموده و زمانی که میانگین وزنی رطوبت حجمی خاک به حد تخلیه مجاز برای گیاه ذرت می‌رسید آبیاری بعدی انجام می‌شد. در نتیجه دور آبیاری با توجه به تیمار بدون تنش آبی تعیین شد و هم زمان تمامی تیمارهای طرح با دور آبیاری یکسان و با اعماق متفاوت آب، آبیاری می‌شدند. برای اعمال رژیم آبیاری و اعمال ضرایب هر تیمار، از رابطه ۱ استفاده شد:[۱]

$$SMD=(\theta_{fc}-\theta_i)B_d.D_r.f \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه، SMD[2]: کمبود رطوبت خاک (سانتی‌متر)، B_d: جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D_r: عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی‌متر)، θ_i: درصد وزنی رطوبت موجود خاک و f: ضرایب هر تیمار به صورت اعشار ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ است. به منظور تعیین کارایی مصرف آب از رابطه ۲ استفاده شد:

$$WUE=\frac{D}{W} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه، WUE[3]: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، D: جرم ماده خشک تولید شده (کیلوگرم) و W: حجم آب مصرف شده توسط گیاه (متر مکعب) بود.[۱] اعمال تیمارهای کم‌آبیاری پس از استقرار کامل گیاه و در مرحله ۴ تا ۵ برگی صورت پذیرفت. رسیدگی دانه‌ها در هر فصل کشت با تشکیل لایه سیاه در قاعده دانه‌ها مشخص گردید و برداشت نهایی پس از حذف حواشی به صورت دستی از تمام بوته‌های موجود در ۲ متر مربع در وسط هر کرت (خطوط ۳ و ۴) انجام پذیرفت. محصول کل هر کرت فرعی جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد و جهت بررسی‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل گردید که نهایتاً صفاتی چون عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و درصد کچلی انتهای بلال تعیین شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver. 22.0 انجام و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن با سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

[1] Super AB A200
[2] Soil Moisture Deficit
[3] Water Use Efficiency

نتایج و بحث

عملکرد دانه اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳) و با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). علت اصلی کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش خشکی، کاهش معنی دار تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه بود که با نتایج *مجدم (۲۰۰۶)*، *سنچولی (۲۰۰۷) و خادم و همکاران (۲۰۱۱)* همخوانی داشت.[۱۸،۲۳،۳۱] نتایج *تولنار و دنیارد (۱۹۸۲)* نشان داد که عملکرد دانه ذرت بستگی به رشد گل‌ها، باروری آن‌ها، نمو جنین، تجمع نشاسته و پروتئین در دانه دارد و هر کدام از این فرایندها نیاز به عرضه مستمر مواد پرورده دارد.[۳۵] تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش می‌دهد و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه می گردد.[۷،۲۳،۲۴،۲۸] اثر تیمارهای هیدروژل سوپرجاذب بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). اما بین تیمارهای کاربرد ۳۰ و ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب و همچنین بین تیمارهای کاربرد ۰ و ۱۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). با کاهش میزان هیدروژل سوپرجاذب از عملکرد دانه کاسته شد و شاید دلیل آنرا بتوان ناشی از ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط هیدروژل سوپرجاذب دانست که قابلیت ایجاد شرایط مساعدی را از نظر مواد پرورده برای گیاه فراهم آورده و از کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه و نهایتا عملکرد دانه جلوگیری کرده است. هرچند با کاهش میزان آب آبیاری عملکرد دانه کاهش یافت ولی این روند در اکثر تیمارها معنی‌دار نبوده و شیب یکنواختی نداشت. به عنوان مثال، تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب با تیمارهای آبیاری کامل به علاوه ۰ و ۱۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری نداشت، بنابراین هیدروژل سوپرجاذب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و موادغذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش، در نهایت مواد پرورده کافی را برای گیاه فراهم نموده و از کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه جلوگیری کند (جدول ۴).

تعداد دانه در بلال اثر تیمارهای آبیاری بر تعداد دانه در بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳) کمبود رطوبت خاک، رشد و نمو اندام‌های زایشی را به شدت تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش تعداد دانه در بلال می‌گردد (جدول ۴) که با نتایج *مجیدیان و غدیری (۲۰۰۲)*

جدول ۳) تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری و کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت

Table 3) Variance analysis of irrigation and superabsorbent treatments effect on yield, yield components and water use efficiency of corn

Source of variations	df	mean of square				
		grain yield	grain number per ear	thousand grain weight	baldness percent of ear	water use efficiency
Irrigation water depth	2	14.41 **	2313.01 **	3489.93 **	98.53 **	66.50 **
Superabsorbent application levels	3	60.69 **	853.20 **	1163.96 **	396.58 **	43.70 **
irrigation water depth × Superabsorbent application levels	8	0.17 *	284.20 **	21.97 **	1.22 **	10.00 **
Experiment error	30	0.85	1.7	1.9	1.00	1.00

*,**به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

* and ** significant at 5 and 1% probability level respectively

و خادم و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد.[۱۸،۲۱] تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی، پتانسیل تولید دانه ذرت را در طول این مراحل از رشد تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش تعداد دانه در بلال می‌شود. همچنین از طرفی منجر به کاهش تعداد دانه در ردیف بلال و تعداد ردیف در بلال شده و موجب کاهش تعداد دانه در بلال می‌گردد. نتایج مشابهی توسط *شاپر و همکاران (۱۹۸۶)*، *شاسلر و وستگیت (۱۹۹۱)* و *مجدم (۲۰۰۶)* گزارش شده است که بیان می کنند، تنش خشکی بدلیل اختلال در گرده افشانی و تشدید پدیده عقیمی و درصد سقط جنین، موجب کاهش تعداد دانه در بلال می‌شود.[۲۳،۲۷،۲۸] نتایج *اک (۱۹۸۶)* نشان داد که تنش آب در مرحله رویشی به دلیل شکل گرفتن اندازه بلال و تعداد تخمدان‌ها، تعداد دانه در بلال را کاهش می‌دهد.[۸] نتایج *وستگیت و بویر (۱۹۸۶)* و *مجدم (۲۰۰۶)* نشان داد که کمبود آب از طریق کاهش دسترسی بلال به مواد پرورده باعث کاهش میزان تشکیل دانه شده است.[۲۳،۳۶] اثر تیمارهای هیدروژل سوپرجاذب بر تعداد دانه در بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). هرچند که بین تیمارهای کاربرد ۳۰ و ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب و از طرف دیگر بین تیمارهای کاربرد ۰ و ۱۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۴) اما با کاهش میزان هیدروژل سوپرجاذب از تعداد دانه در بلال کاسته شد. دلیل آنرا می‌توان به ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط هیدروژل سوپرجاذب برای گیاه در خاک سبک شنی دانست که با جلوگیری از هدر رفت آب و مواد غذایی در نهایت شرایط مساعدی از نظر مواد پرورده برای بلال فراهم نموده است. هرچند با کاهش میزان عمق آب آبیاری تعداد دانه در بلال کاهش یافت، اما این روند در اکثر تیمارها معنی‌دار نبوده و شیب یکنواختی نداشت. به عنوان مثال، بین تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب با تیمارهای آبیاری کامل به علاوه ۰، ۱۵ و ۳۰ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، بنابراین سوپرجاذب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط کم‌آبی، در نهایت مواد پرورده را به طورکافی برای بلال فراهم نموده و از اختلال در گرده افشانی و ایجاد پدیده عقیمی و سقط جنین تا حد امکان جلوگیری نموده و مانع از کاهش معنی‌دار تعداد دانه در بلال شود (جدول ۴).

وزن هزار دانه اثر تیمارهای آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳) و با افزایش شدت تنش، وزن هزار دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های *محمدیان و ملکوتی (۲۰۰۲)*، *غدیری و مجیدیان (۲۰۰۳)*، *خادم و همکاران (۲۰۱۱)* که نشان دادند تنش خشکی باعث کاهش وزن هزار دانه می‌گردد، همخوانی دارد.[۹،۱۸،۲۲] تنش خشکی در دوره پرشدن دانه در تیمارهای آبی و کوتاه شدن این دوره بدلیل کاهش دوام سطح برگ، عامل اصلی کاهش وزن هزار دانه بیان شده است. این یافته‌ها با نتایج *وستگیت و گرانت (۱۹۸۹)* و *سپهری و همکاران (۲۰۰۲)* که نشان دادند بیشترین اثر تنش خشکی بر روی وزن هزار دانه، در مدت پرشدن دانه است و همچنین تنش‌هایی که بعد از ابریشم‌دهی به وقوع می‌پیوندند با کاهش طول دوره پرشدن دانه، باعث کوچک شدن دانه‌ها می‌گردند، همخوانی دارد.[۲۹،۳۷] *گاردنر و همکاران (۲۰۱۳)* و *مجدم (۲۰۰۶)* گزارش کردند که اعمال تنش آبی سه هفته بعد از گرده افشانی در ذرت به دلیل

تأثیر منفی آن بر فتوسنتز برگ و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، باعث کاهش وزن هزار دانه می‌گردد.[۱۱،۲۳] اثر تیمارهای هیدروژل سوپرجاذب بر وزن هزار دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳) و با کاهش میزان هیدروژل سوپرجاذب وزن هزار دانه کاهش یافت (جدول ۴). بنابراین این یافته نشان می‌دهد که وجود هیدروژل سوپرجاذب در خاک شنی می‌تواند با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و فراهم نمودن شرایط مناسب برای رشد گیاه، درنهایت مواد پرورده را به خوبی در مدت پرشدن دانه برای گیاه فراهم آورد و موجب افزایش وزن هزار دانه گردد. هرچند با کاهش میزان عمق آب آبیاری وزن هزار دانه کاهش یافت، اما این روند در اکثر تیمارها معنی‌دار نبود. به عنوان مثال، بین تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب با تیمارهای آبیاری کامل به علاوه ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین، هیدروژل سوپرجاذب به خوبی توانسته با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش، در نهایت مواد پرورده را در مدت پرشدن دانه برای گیاه فراهم نماید و از کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه جلوگیری کند (جدول ۴).

درصد کچلی انتهای بلال اثر تیمارهای آبیاری بر درصد کچلی انتهای بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳) و با افزایش شدت تنش خشکی، درصد کچلی انتهای بلال یعنی عارضه ای که بر اثر عدم تلقیح مادگی‌ها و یا عدم انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌های انتهایی بلال ایجاد می‌شود به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). افزایش طول کچلی انتهای بلال با افزایش شدت تنش خشکی را می‌توان به عدم تلقیح تخمک‌های انتهایی بلال و افزایش درصد سقط جنین به دلیل کاهش عرضه مواد پرورده به دانه‌های انتهایی بلال نسبت داد. *لافیت و ادمیدس (۱۹۹۵) و برادفورد (۱۹۹۴)* بیان کردند که کاهش عرضه مواد فتوسنتزی در زمان گرده افشانی و اندکی پس از آن در شرایط تنش خشکی، باعث کاهش نمو و یا عدم نمو دانه در قسمت بالایی بلال می‌گردد.[۵،۲۰] نتایج *بهنام فر (۱۹۹۷)، ساکی نژاد (۲۰۰۳)، باستی و وسگیت (۱۹۹۳) و مجدم (۲۰۰۶)* نشان داد که طول کچلی انتهای بلال در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد.[۴،۶،۲۳،۳۰] اثر تیمارهای هیدروژل سوپرجاذب بر درصد کچلی انتهای بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳) و با کاهش میزان هیدروژل سوپرجاذب درصد کچلی انتهای بلال افزایش یافت (جدول ۴) که دلیل آنرا می‌توان مربوط به ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط هیدروژل سوپرجاذب در خاک سبک شنی و در دسترس قرار دادن مؤثر آن به گیاه دانست که با فراهم نمودن شرایط مناسب‌تر رشدی برای گیاه و به طبع تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، موجب کاهش درصد سقط جنین در بخش انتهایی بلال و کاهش درصد کچلی آن شد. هرچند با کاهش میزان عمق آب آبیاری درصد کچلی افزایش یافت، اما این افزایش دارای شیب یکنواختی نبود. به عنوان مثال، بین تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب با تیمارهای آبیاری کامل به علاوه ۰ و ۱۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت که دلیل آن را می‌توان حضور هیدروژل سوپرجاذب دانست که با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش، باعث می‌شود مواد پرورده بیشتری در اختیار گیاه قرار گیرد که از افزایش درصد سقط جنین در بخش انتهای بلال و به طبع افزایش درصد کچلی جلوگیری کند (جدول ۴).

جدول ۴) عملکرد و اجزای عملکرد ذرت رقم SC704 تحت تیمارهای مختلف آبیاری و هیدروژل سوپرجاذب

Table 4) Yield and yield components of SC704 corn under different treatments of irrigation and superabsorbent

Irrigation treatments (%)	superabsorbent treatments (g/m^2)	grain yield (t/ha)	grain no. per ear	thousand kernel weight (g)	baldness percent of ear (%)	water use efficiency (kg/ha.mm)
100	0	5.89 bc	407 bc	212 bc	15.3 de	9.66 cd
	15	6.87 b	445 bc	218 bc	12.2 ef	11.24 bc
	30	7.88 a	483 ab	221 b	9.6 fg	12.88 ab
	45	8.94 a	531 a	234.6 a	7 g	14.58 a
75	0	3.76 de	317 de	190 cdf	21.1 bc	8.16 de
	15	4.68 cd	357 cd	200 cd	18.2 cd	10.13 cd
	30	5.51 bc	388 cd	208 bcd	16.3 de	11.9 bc
	45	6.32 b	422 bc	215 bc	14.1 e	13.62 a
50	0	2.06 f	244 f	162 f	26.3 a	6.6 e
	15	2.75 ef	273 ef	173 df	24.2 ab	8.78 ed
	30	3.37 def	298 ef	185 d	22.4 ab	10.73 cd
	45	4.01 cd	327 de	198 cdf	20.1 bc	12.73 cd

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ با آزمون دانکن می‌باشد.

Similar letters in each column shows non- significant difference according to Duncan test at 1% level.

جدول ۵) برآورد کارایی مصرف آب ذرت رقم SC704 تحت تیمارهای مختلف آبیاری و هیدروژل سوپرجاذب

Table 5) Evaluation of water use efficiency of SC704 corn under different treatments of irrigation and superabsorbent

Irrigation treatments (%)	superabsorbent treatments (g/m^2)	irrigation depth (mm)	soil moisture variations (mm)	water consumption of plant (mm)	grain yield (kg/ha)	water use efficiency (kg/ha.mm)
100	0	600	5	610	5890	9.66
	15	600	6	611	6870	11.24
	30	600	7	612	7880	12.88
	45	600	8	613	8940	14.58
75	0	450	6	461	3760	8.16
	15	450	7	462	4680	10.13
	30	450	8	463	5510	11.9
	45	450	9	464	6320	13.62
50	0	300	7	312	2060	6.6
	15	300	8	313	2750	8.78
	30	300	9	314	3370	10.73
	45	300	10	315	4010	12.73

کارایی مصرف آب اگر مقدار هیدروژل سوپرجاذب بیشتری استفاده شود، تغییرات رطوبت خاک هم بیشتر شده و نشان دهنده آن است که هرچه میزان هیدروژل سوپرجاذب بیشتر باشد، ظرفیت نگهداشت رطوبتی خاک هم بیشتر شده که باعث می‌شود تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای فصل هم بیشتر شود (جدول ۵). ضمنا هرچه عمق آب آبیاری کمتر شده، تغییرات رطوبتی خاک نیز بیشتر شده است که ناشی از تأثیر هیدروژل سوپرجاذب در حفظ و ارتقاء ظرفیت نگهداشت رطوبتی خاک شنی در شرایط تنش رطوبتی است. اثر تیمارهای آبیاری بر کارایی مصرف آب در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳) و با افزایش شدت تنش خشکی، کارایی مصرف آب به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). دلیل آنرا می‌توان به افزایش معنی‌دار عملکرد محصول در تیمارهای آبیاری کامل نسبت به تنش خشکی شدید مرتبط دانست. اثر تیمارهای هیدروژل سوپرجاذب بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۱٪

معنی‌دار بود (جدول ۳). دلیل آن را می‌توان ناشی از ذخیره‌سازی مؤثر آب و مواد غذایی توسط هیدروژل سوپرجاذب دانست که توانسته با جلوگیری از هدر رفت آب و مواد غذایی در خاک سبک شنی، در نهایت از کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت و بالطبع کارایی مصرف آب ذرت جلوگیری نماید که با نتایج *کریمی و نادری (۲۰۰۷)*، *هاترمن و همکاران (۱۹۹۹)*، *احرار و همکاران (۲۰۰۹)*، *کوهستانی و همکاران (۲۰۰۹)* و *شریفان و همکاران (۲۰۱۳)* همخوانی دارد.[۲،۱۲،۱۶،۱۷] هرچند با کاهش میزان آب آبیاری کارایی مصرف آب کاهش یافت، اما این روند در اکثر تیمارها معنی‌دار نبوده و شیب یکنواختی نداشت (جدول ۴). به عنوان مثال، بین تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب با تیمارهای آبیاری کامل به علاوه ۳۰ و ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، بین تیمار تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۳۰ گرم در متر مربع سوپرجاذب با تیمارهای آبیاری کامل به علاوه ۰، ۱۵ و ۳۰ گرم در متر مربع سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری نبود. بنابراین، هیدروژل سوپرجاذب به خوبی توانسته است با ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش خشکی از کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت و بالطبع کارایی مصرف آب آن جلوگیری به عمل آورد. در نهایت، تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه به علاوه کاربرد ۴۵ گرم در متر مربع سوپرجاذب جهت کشت ذرت در شرایط آب و هوایی خوزستان توصیه می‌گردد که توانسته نسبت به آبیاری کامل، نتایج قابل قبولی را به دست آورد. توصیه می‌گردد در پژوهش‌های آتی علاوه بر در نظر گرفتن تیمارهای متفاوت عمق آب آبیاری و سطوح مختلف کاربرد سوپرجاذب، تجزیه و تحلیل اقتصادی نیز صورت پذیرد تا صرفه اقتصادی کاربرد سوپرجاذب‌ها بهتر مشخص گردد.

نتیجه‌گیری کلی با افزایش تنش خشکی، عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاهش نشان داد. تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی بود که در نهایت منجر به کاهش عرضه مواد پرورده و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت شد. هیدروژل سوپرجاذب از نوع سوپر آب آ ۲۰۰ با قابلیت ذخیره‌سازی آب و مواد غذایی و رهاسازی آن در شرایط تنش، نهایتاً مواد پرورده کافی را برای گیاه ذرت فراهم نمود و از کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت جلوگیری نمود. بنابراین با استفاده از هیدروژل سوپرجاذب به خوبی می‌توان در شرایط تنش خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد قابل قبولی را برای گیاه ذرت مدیریت کرد تا از خسارت‌های زیان‌بار تنش جلوگیری شود.

References

1. Alizadeh A (2007) Planning the Irrigation Systems. Imam Reza University Publications: Mashhad. [in Persian]
2. Ahrar M, Delshad M, Babalar M (2009) Improving water/fertilizer efficiency of hydroponically cultured greenhouse cucumber by grafting and hydrogel amendment. Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology). 23(1): 69-77. [in Persian with English abstract]

3. Aghayari F, Khalili F, Adrakani MR (2016) Effect of deficit irrigation, partial irrigation and superabsorbent polymer on yield and yield components of corn (cv. KSC703). Journal of Soil and Water Resources Conservation. 6(1): 1-14.
4. Bassetti P, Westgate ME (1993) Water deficit affects receptivity of maize silks. Crop Science 33(2): 279-282.
5. Bradford KJ (1994) Water stress and the water relations of seed development: a critical review. Crop Science 34(1): 1-11.
6. Behnamfar K (1997) The study of potassium fertilizer effect on drought stress resistant and WUE at corn plant in Khuzestan climate conditions. Master thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch: Khuzestan, Iran. [in Persian]
7. Dwyer LM, Stewart DW, Hamilton RI, Houwing L (1992) Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. Agronomy Journal 84(3): 430-438.
8. Eck HV (1984) Irrigated corn yield response to nitrogen and water. Agronomy Journal 76(3): 421-428.
9. Ghadiri H, Majidian M (2003) Effect of nitrogen levels and cut off irrigation of corn at grain milking and soft dough stages on yield, yield components and water efficiency. Science and Technology of Agriculture and Natural Research 2: 103-113. [in Persian with English abstract]
10. Ghasemi M, Khoshkhuy M (2007) Effect of superabsorbent polymer on irrigation and plant growth of Dandranthema × Grandiflorum Kitam. Horticulture Sciences and Techniques 8(2): 65-82. [in Persian with English abstract]
11. Gardner FP, Piers RB, Michel RL (2013) Farm plants physiology. Translated by Sarmadnia Gh, Kouchaki A. Jahad-e Daneshgahi Publication: Mashhad. [in Persian]
12. Huttermann A, Zommorodi M, Reise K (1999) Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *pinus halepensis* seedlings subjected to drought. Soil and Tillage Research 50(3-4): 295-304.
13. Hashemi-nia SM (2007) Water Management in Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Publication: Mashhad [in Persian]
14. Han YG, Yang PL, Luo YP, Ren SM, Zhang LX, Xu L (2010) Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. Environmental Earth Sciences 61(6): 1197–1205.
15. Imam Y (2007) Agronomy of Cereal Crops. Shiraz University Publication Center: Shiraz. [in Persian]
16. Karimi A, Naderi M (2007) Yield and water use efficiency of forage corn as influenced by superabsorbent polymer application in soils with different textures. Water, Soil and Plant in Agriculture 7(3): 187-198. [in Persian with English abstract]
17. Koohestani Sh, Askari N, Maghsoudi K (2009) Assessment effect of Superabsorbent hydro gels on corn yield (*Zea Mays* L.) under drought stress condition. Iranian Water Research Journal 3(5): 71-78. [in Persian with English abstract]
18. Khadem SA, Ramroudi M, Galavi M, Rousta MJ (2011) The effect of drought stress and different rates of animal manure with superabsorbent polymer on grain yield and yield component of corn (*Zea Mays* L.). Iranian Journal of Field Crop Science 42(1): 115-123. [in Persian with English abstract]
19. Khodadadi Dehkordi D, Kashkuli HA, Naderi A, Shamsnia SA (2013) Evaluation of deficit irrigation and superabsorbent hydrogel on some growth factors of SCKaroun701 corn in the climate of Khuzestan. Advances in Environmental Biology 7(4): 527-534.
20. Lafitte HR, Edmeades GO (1995) Stress tolerance in tropical maize is linked to constitutive changes in ear growth characteristics. Crop Science 35(3): 820-826.
21. Majidian M, Ghadiri H (2002) Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer during different growth stages on grain yield, yield components, water use efficiency, and some physiological characteristics of corn. (*Zea Mays* L.) Journal of Iranian Agriculture Science 33(3): 521-533. [in Persian with English abstract]
22. Mohammadian M, Malakouti MG (2002) Effect of two types of composts on soil physical and chemical properties and corn yield. Journal of Water and Soil Sciences 16(2): 144-151. [in Persian with English abstract]

23. Mojaddam M (2006) The effects of water deficit and nitrogen use control on agro-physiologic characteristics and corn SC704 function in Khouzestan climate. PhD thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch: Khouzestan, Iran. [in Persian]
24. Nissanka SP, Dixon MA, Tollenaar M (1997) Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. Crop Science 37(1): 172-181.
25. Nikourazm K, Lotfi M, Hematian Dehkordi M (2009) Evaluation of superabsorbent, irrigation cycle application and the polymer application method on *Lactuca sativa* L. The 6th conference on gardening sciences, Gilan University, Rasht, Iran. [in Persian]
26. Roshdi M (2014) Study on generative traits and yield of sunflower under different levels of irrigation and superabsorbent polymer. Journal of Crop Production Research 5(4): 373-385. [in Persian with English abstract]
27. Schoper JB, Lambert RJ, Vasilas BL (1986) Maize pollen viability and ear receptivity under water and high temperature stress. Crop Science 26(5): 1029-1033.
28. Schussler JR, Westgate ME (1991) Maize kernel set at low water potential: 1. Sensitivity to reduce assimilates during early kernel growth. Crop Science 31(5): 1189-1195.
29. Sepehri A, Modarres Sanavi SA, Gharehyazi B, Yamini Y (2002) Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize *(Zea mays L.)*. Iranian Journal of Crop Sciences 4(3): 184-201. [in Persian with English abstract]
30. Saki-nezhad T (2003) The study of water stress effect on absorption procedure of N, P, K and Na elements at growth different stages, considering morphologic and physiologic characteristics of corn in Ahwaz climate conditions. Ph.D. thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch: Khouzestan Iran. [in Persian]
31. Sanchuli N (2007) The effect of different manure and fertilizer ratios and their mixture on soil characteristics, yield components of single cross 704 grain corn. M.Sc. Thesis, Faculty of Agricultural University of Zabol, Iran. [in Persian]
32. Shirdel Shahmiri F, Akbari-nodehi D (2010) The evaluation of superabsorbent impact on Thompson plant growth. Proceedings of the 6th Conference on Gardening Sciences. Gilan University, Rasht, Iran. [in Persian]
33. Sharifan H, Mokhtari P, Hezarjaribi A (2013) The Effect of Superabsorbent A200 on the infiltration parameters Kostiakov-Lewis equation in Furrow irrigation. Journal of Water and Soil 27(1): 205-212. [in Persian with English abstract]
34. Shamsi Gooshki A, Tajoddini P, Farah-bakhsh H (2015) Impact evaluation of superabsorbent and priming on yield and yield component of grain corn under drought stress conditions. Proceedings of the 2nd International Conference on New Findings of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment. Tehran, Iran.[in Persian]
35. Tollenaar M, Daynard TB (1982) Effect of source-sink ratio on dry matter accumulation and leaf senescence of maize. Canadian Journal of Plant Science 62(4): 855-860.
36. Westgate ME, Boyer JS (1986) Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. Crop Science 26: (5) 951-956.
37. Westgate ME, Grant DL (1989) Water deficits and reproduction in maize: Response of the reproductive tissue to water deficit at anthesis and mid-grain fill. Plant Physiology 91(3): 862-867.
38. Yazdani F, Allahdadi I, Akbari GA, Behbahani MR (2007) Effect of different rates of superabsorbent polymer (Tarawat A200) on soybean yield and yield components (*Glycine max* L.). Agronomy Journal of Pajouhesh & Sazandegi 20(2): 167-174. [in Persian with English abstract]
39. Zohourian-Mehr MJ (2007) Super-Absorbents. Iran Polymer Society Press:Tehran. [in Persian]
40. Zangooei-Nasab SH, Imami H, Astaraei AR, Yari AR (2013) Effects of stockosorb hydrogel and irrigation intervals on some soil physical properties and growth of haloxylon seedling. Journal of Soil Management and Sustainable 3(1): 167-182. [in Persian with English abstract]

Effect of superabsorbent hydrogel on yield, yield components and water use efficiency of corn under drought stress

Agroecology Journal
Vol. 15, No. 1 (13-24)
(spring 2019)

Davoud Khodadadi Dehkordi[1]✉, Seyed Amir Shams Nia[2], Aslan Egdernezhad[1]

1 Department of Water Engineering and Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
✉ davood_kh70@yahoo.com **(corresponding author)**

2 Young Researchers and Elite Club, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 17 August 2018 **Accepted:** 01 May 2019

Abstract Deficit irrigation is a technique for optimizing crop production under drought stress conditions. The superabsorbent hydrogel is a hydrophilic polymer being able to absorb and retain a large amount of water. This study was conducted to evaluate the effect of different rates of Super AB A 200 superabsorbent hydrogel on yield and yield components of corn cv SC704 under drought stress. The experiment carried out in split plot based on a randomized block design in Hamidieh region, Khuzestan province, Iran. In this study, three different depths of irrigation were considered as the main plot including 100, 75 and 50% of water requirement of plants respectively and different levels of superabsorbent were used as sub-plot including 0 (control), 15, 30 and 45 g/m^2, respectively. Increasing drought stress led to significant loss of yield, yield components and decrement in water use efficiency of corn The effect of drought stress was determined by decreasing leaf surface area index, disruption of nutrients uptake and transfer, which ultimately led to a decrease in the supply of nutrients, yield and yield components. Finally, it was concluded that superabsorbent hydrogel is effective in retaining water and nutrients and releasing them under drought stress conditions and significantly prevents the decline of yield and yield components. It is recommended to use 75% of plant water requirement and 45 g/m^2 superabsorbent for corn cultivation under Khuzestan province climate conditions.

Keywords

- deficit irrigation
- superabsorbant polymer
- water storage
- water stress

This open-access article is distributed under the terms of the Creative Commons-BY-NC-ND which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

DOI: 10.22034/AEJ.2019.664792