فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و دوم/ شمارهٔ اول/ صفحات ۱۲۳-۱۳۶/ بهار و تابستان ۱۴۰۱
DOI: 10.22084/PPT.2023.25176.2062

اثر اسید هیومیک بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی چمن ورزشی در شرایط تنش خشکی

Effect of Humic Acid on Morpho-Physiological Characteristics of Turfgrass Under Drought Stress

عادله علیخانی[۱]، مینا تقی‌زاده[۲*] و موسی سلگی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹
(مقاله پژوهشی)

چکیده

با توجه به نیاز آبی زیاد چمن در مراحل رشدی و محدودیت منابع آبی، یافتن راه‌کاری مناسب برای کاهش نیاز آبی چمن‌ها در فضای سبز از اهمیت زیادی برخوردار است. در آزمایش اول تیمار پلی‌اتیلن گلایکول (صفر، ۲/۵ و ۵ درصد) و اسید هیومیک (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در مرحله جوانه‌زنی چمن ورزشی اعمال شد و در آزمایش دوم محلول‌پاشی برگی با اسید هیومیک (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و دوره تنش خشکی (۱۰۰ درصد و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) در مرحله استقرار چمن اجرا شد. در آزمایش اول در حضور غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلایکول هرچند وزن خشک گیاهچه افزایش یافت ولی بیش‌تر شاخص‌های جوانه‌زنی نسبت به شاهد کاهش یافت. در آزمایش دوم، تنش خشکی سبب افزایش ۱۰ برابری پرولین، کاهش محتوای آب نسبی، وزن‌تر و خشک اندام هوایی چمن نسبت به عدم تنش در شرایط گلخانه شد. محلول‌پاشی اندام هوایی با ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک سبب کاهش ارتفاع و تراکم اندام هوایی در شرایط تنش خشکی شد. اعمال تنش خشکی در هر سه سطح اسید هیومیک سبب کاهش طول اندام هوایی شد. بنابراین می‌توان اظهار نمود که محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی می‌تواند شرایط فیزیولوژیکی را بهبود بخشیده و منجر به افزایش تراکم چمن و طول شاخه گردد ولی کاربرد محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک در مهار تنش خشکی چمن مؤثر نبود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پلی‌اتیلن گلایکول، جوانه‌زنی، خشکی، نشت یونی

۱ و ۲. به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
*: نویسنده مسئول Email: m-taghizadeh@araku.ac.ir
مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول به راهنمایی خانم مینا تقی‌زاده می‌باشد.

مقدمه

در بین عوامل محیطی تنش‌زا، خشکی دومین عامل اصلی کاهش عملکرد پس از پاتوژن‌های بیماری‌زا می‌باشد (*بیگلویی*[1] و همکاران، 2010). عامل اصلی در تمام فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه آب می‌باشد، زیرا ماده اصلی برای انتقال متابولیت‌ها و مواد مغذی است (*صالحی*[2] و همکاران، 2012). از جنبه زراعی، تنش خشکی شرایطی است که آب از نظر میزان و توزیع به اندازه‌ای نیست تا گیاه بتواند عملکرد بالقوه خود را نشان دهد و این پدیده سبب آسیب به گیاه و محدودیت در بروز توانایی ژنتیکی عملکرد می‌شود (*بلوم*[3]، 2011). جوانه‌زنی یکی از مراحل مهم در چرخه رشدی گیاهان به‌شمار می‌آید، زیرا جوانه‌زنی نقش مهمی در تعیین تراکم نهایی گیاه دارد. در شرایط رطوبتی، جوانه‌زنی گیاه و تأثیر آن در تراکم نهایی اهمیت زیادی برخوردار است. تنش خشکی با محدود کردن جذب آب، کاهش تجزیه ترکیبات ذخیره‌ای بذر و اختلال در ساخت پروتئین‌های ذخیره‌ای موجب کاهش جوانه‌زنی بذور می‌شود (*کافی*[4] و همکاران، 2005).

میزان تحمل گیاهان به تنش خشکی را می‌توان با استفاده از اعمال ترکیباتی مانند پلی‌اتیلن گلایکول (Poly Ethlene Glycol (PEG)) یا مانیتول (Mannitol) به‌دست آورد (*ارابی*[5] و همکاران، 2008). یکی از رایج‌ترین رویکردها برای القای تنش خشکی به‌کار بردن عوامل اسمزی با وزن مولکولی زیاد مانند پلی‌اتیلن گلایکول (PEG) به‌عنوان ماده‌ای غیرنافذ و غیرسمی است (*لندژوا*[6] و همکاران، 2008). این ماده هم‌چنین تمایلی به واکنش با مواد شیمیایی و بیولوژیکی ندارد (*ماکار*[7] و همکاران، 2009). با توجه به این‌که پلی‌اتیلن گلایکول توسط گیاه جذب نمی‌شود، غلظت آن در طی تنش ثابت می‌ماند و به‌همین دلیل یک تیمار مناسب برای تنش‌های اسمزی در مقایسه با سایر اسمولایت‌ها ازجمله مانیتول، شکر و نمک محسوب می‌شود (*دامی* و *هاگهس*[8]، 1997). برخی از پژوهش‌ها نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه‌ها و اندام هوایی، کاهش سطح برگ، ارتفاع، وزن خشک، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و کاهش کلروفیل، تخریب آنزیم‌ها و تجمع اسیدهای آمینه می‌گردد (*حسنی* و *بیگی*[9]، 2002؛ *هانگ*[10] و همکاران، 2005). مطالعات *بونوس*[11] و همکاران (2004) نشان داد که انتخاب بر اساس ژنوتیپ‌هایی که تولید ریشه‌ی عمیقی دارند در گیاه فستوکای بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) می‌تواند در بهبود تحمل به خشکی بسیار مؤثر باشد. تنش خشکی سبب صدمه به سیستم فتوسنتزی می‌شود و در نتیجه موجب کاهش کلروفیل در گیاه نسبت به شرایط عدم تنش می‌شود (*فو* و *هوآنگ*[12]، 2001). *بیان* و *جیانگ*[13] (2009) گزارش کردند که با خشکی کامل خاک میزان کلروفیل برگ فستوکایی بلند و کنتاکی بلوگراس کاهش یافته است و علت این امر را تخریب غشا در اثر تنش اکسایشی عنوان کردند (*ویگنولو* و *اسارد*[14]، 2012). *فو* و *هوآنگ* (2001) تحمل به خشکی دو گونه چمن فصل سرد، چمن آبی کنتاکی (*Poa pratensis* L.) و چمانواش (*Festuca arundinacea Schreb*.)، را تحت سه رژیم رطوبتی خاک شامل آبیاری کامل، خشکی سطحی و خشکی کامل بررسی کردند. تحت شرایط خشکی کامل، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و وزن خشک اندام هوایی کاهش پیدا کرد. *جیانگ* و *هوآن*[15] (2001) گزارش کردند که تنش طولانی‌مدت خشکی و گرما در چمن‌های کنتاکی بلوگراس و تال فسکیو، کیفیت چمن، محتوای نسبی آب برگ و مقدار کلروفیل را کاهش داد. تجمع پرولین در گیاه رابطه مثبت و مستقیمی با افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان دارد. پرولین علاوه‌بر تنظیم اسمزی گیاه به‌عنوان عامل محافظ در برابر تنش نیز عمل می‌کند. بدین‌گونه‌که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با ماکرومولکول‌ها اثر متقابل داشته و از این مسیر به حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها در شرایط تنش کمک می‌کند (*کوک*[16] و همکاران، 2010).

در حال حاضر استفاده‌ی وسیع از کودهای شیمیایی سبب افزایش نگرانی در مورد سلامت انسان شده است که با جایگزین کردن کودهای آلی می‌توان تا حدودی این نگرانی را کاهش داد (*شهاتا*[17] و همکاران، 2011) اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری آلی طبیعی است که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به‌وجود می‌آید که سبب افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (*قربانی*[18] و همکاران، 2010). این

1. Biglouie
2. Salehi
3. Blum
4. Kafi
5. Errabii
6. Landjeva
7. Macar
8. Dami and Haghes
9. Hasani and beigi
10. Hung
11. Bonos
12. Fu and Huang
13. Bian and Jiang
14. Vignolo and Asard
15. Jiang and Huang
16. Koc
17. Shehata
18. Ghorbani

ترکیب آلی سبب افزایش جذب عناصر غذایی، نفوذپذیری سلولی و افزایش سرعت فرآیند تنفس در بسیاری از گیاهان عالی می‌شود. هم‌چنین جوانه‌زنی بسیاری از گونه‌های گیاهی به‌وسیله آن تحریک می‌شود (*شاهسون مارکده* و چمنی، ۱۳۹۳). امروزه استفاده از تحریک‌کننده‌های زیستی ازجمله ترکیبات هوموسی در مدیریت چمن جهت افزایش سرعت استقرار و مقامت به تنش‌های محیطی متداول شده است (*هانتر* و *آنترس*[1]، 2004). چمن به‌دلیل زیبایی و قدرت پاخوری به‌عنوان اصلی‌ترین گیاه پوششی در طراحی فضای سبز کاربرد دارد. استفاده از چمن در زمین‌های ورزشی و بازی، فضای سبز پارک‌ها و مناطق مسکونی، کاشت در بزرگراه‌ها جهت پالایش آلودگی‌های محیط زیستی، جلوگیری از فرسایش خاک، تبخیر شدید آب از سطح زمین و تولید اکسیژن دلیل اهمیت این گیاه دارد (*فلاحیان*[2]، 2001). محدودیت منابع آب و هزینه نیروی انسانی برای آبیاری روزانه، ازجمله مشکلات توسعه و نگهداری این چمن است (*خرابی*[3] و همکاران، 1996). چمن‌ها یکی مهم‌ترین گیاه پوششی می‌باشند و نیاز آبیاری آن‌ها زیاد است. میـزان مصـرف آب در گیاهان باریـک‌برگ چمنی در حدود ۵۵-۲۵ و گاهی تا ۱۱۲ میلی‌متر در روز در مترمربع برآورد شده است (*برد*[4]، 1973). چمن ورزشی یکی از انواع چمن سردسیری است که از ترکیب سه گونه *Poa pratensis* L.، *Festuca arundinacea* Schreb. و *Lolium perenne* L. تشکیل شده است. با توجه به کشت گسترده این نوع چمن در بیش‌تر مناطق فضای سبز کشور و بحران خشک‌سالی لزوم مدیریت آبیاری چمن‌کاری‌ها با استفاده از ترکیبات آلی مانند اسید هیومیک می‌تواند حائز اهمیت باشد که در اهداف این پژوهش مدنظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش اول؛ اثر اسید هیومیک بر پاسخ چمن ورزشی تحت شرایط تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی

در این پژوهش از چمن مخلوط ورزشی شامل چمن چچم چندساله (*Lolium perenne* L.) به میزان ۳۰ درصد، جیبر معمولی (*Poa pratensis* L.) به مقدار ۱۰ درصد و فتان بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) به مقدار ۶۰ درصد (شرکت بارنبروگ هلند) استفاده شد. به‌منظور شبیه‌سازی شرایط تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی از ماده پلی‌اتیلن گلایکول استفاده شد. به‌منظور یکنواختی در تعداد بذر در هر تکرار به میزان ۰/۵ گرم از مخلوط بذری برای کشت در هر پتری‌دیش استفاده شد (حدود ۱۰۰ عدد بذر در هر تکرار). قبل از اجرای آزمایش ابتدا بذرها با محلول سفیدکننده تجاری ۷۰ درصد (۵ درصد ماده فعال) به‌مدت یک دقیقه ضدعفونی و سپس چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند. قبل از کشت بذرها، پتری‌دیش‌ها به همراه کاغذ صافی در اتوکلاو استریل شدند. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در ژرمیناتور و دمای ۲۳±۰/۱ درجه سانتی‌گراد اجرا شد. فاکتورها شامل سطوح مختلف پلی‌اتیلن گلایکول (صفر، ۲/۵ و ۵ درصد) و سطوح مختلف اسید هیومیک (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. میزان جوانه‌زنی به‌صورت روزانه ثبت گردید و درنهایت پس از ۱۰ روز از شروع آزمایش طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد، سپس وزن‌تر گیاهچه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال محاسبه گردید و گیاهچه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک به‌مدت ۴۸ ساعت داخل آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. شاخص‌های جوانه‌زنی بذر بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه گردید.

۱- درصد نهایی جوانه‌زنی (FGP) (*فاروق*[5] و همکاران، 2005):

$$FGP = 100 \times \frac{Ng}{Nt}$$

در این معادله Ng، تعداد بذر جوانه زده و Nt، تعداد کل بذرها است.

۲- شاخص میزان جوانه‌زنی (GRI) (*پانوار* و *باردواج*[6]، 2005) که نشان‌دهنده درصد جوانه‌زنی در هر روز از این دوره است و بالاتر بودن این شاخص نشان‌دهنده جوانه‌زنی بیش‌تر و سریع‌تر است:

$$GRI = \frac{G1}{1} + \frac{G2}{2} + \ldots +$$

G، تعداد بذور جوانه زده در روزهای متوالی پس از کشت است.

۳- ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) (*اسکات*[7] و همکاران، 1984)، زمانی‌که تعداد بذور بیش‌تری در زمان کوتاه‌تری جوانه بزنند میزان این ضریب افزایش می‌یابد.

$$CVG = \frac{G_1 + G_2 + G_3 + \ldots + G_n}{(1 \times G_1) + (2 \times G_2) + (3 \times G_3) + \ldots + (n \times G_n)}$$

G1-Gn، تعداد بذور جوانه‌زده از روز اول تا روز آخر را نشان می‌دهد.

۴- میانگین جوانه‌زنی روزانه (MDG) (*الیس* و *روبرت*[8]، 1981):

1. Hunter and Anders
2. Fallahian
3. Kheerabi
4. Beard
5. Farooq
6. Panwar and Bhardwaj
7. Scotte
8. Ellis and Roberts

$$MDG = \frac{FGP}{\sum N}$$

FGP، درصد جوانه‌زنی نهایی که در پایان دوره به‌دست می‌آید و N، تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی است.

۵- متوسط ارزش جوانه‌زنی (AVG) (*اگروال*[1]، 2003):

$$AVG = \frac{\sum Nt}{\sum t}$$

Nt، تعداد کل بذور جوانه‌زده در زمان و t تعداد روزهای جوانه‌زنی حداکثر است.

۶- شاخص بنیه بذر (SV) (اگروال، 2003):

$$SV = (PL + RL) \times GP$$

RL و PL به‌ترتیب طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه و GP تعداد کل بذور جوانه‌زده در روز آخر می‌باشند.

۷- متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (MTG) (*الیس* و *روبرت*، 1981): پایین‌تر بودن این شاخص به معنی این است که یک توده بذر هم‌زمان و سریع‌تر جوانه می‌زنند.

$$MTG = \frac{\Sigma(nd)}{\Sigma n}$$

در این معادله n تعداد بذور جوانه‌زده در مدت دوره آزمایش و d تعداد روزهایی که دوره جوانه‌زنی به طول انجامید.

۸- سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS) (*مگوئر*[2]، 1962):

$$DGS = \frac{۱}{MDG}$$

MDG، میانگین جوانه‌زنی روزانه است.

آزمایش دوم؛ اثر اسید هیومیک بر پاسخ چمن ورزشی تحت شرایط تنش خشکی در مرحله استقرار

بذور با مشخصات ذکر شده در آزمایش قبل در اوایل فصل بهار به‌روش کاشت دستی در تراکم ۳۰ گرم در مترمربع در مخلوط خاک باغچه و کمپوست به نسبت ۱:۳ در گلدان‌هایی به قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر در محیط کنترل شده گلخانه دارای شرایط دمای روزانه ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای شبانه ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد دانشکده کشاورزی و محیط‌زیست دانشگاه اراک کشت شدند. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده در جدول ۱ ذکر شده است. این آزمایش نیز به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو سطح تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار اسید هیومیک در سه سطح صفر (شاهد)، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر با سه تکرار انجام گرفت. در این آزمایش انتهای هر گلدان به‌منظور خروج راحت‌تر زه‌آب سنگ‌ریزه ریخته شد، سپس مقدار ۴ کیلوگرم مخلوط خاک مزرعه و کمپوست خشک سرند شده با ترازو وزن شد و به گلدان‌ها اضافه گردید. پس از توزیع یکنواخت بذر در سطح خاک، روی بذرها با ۲-۱ سانتی‌متر کود دامی پوسیده سرند شده پوشانده شد. در این آزمایش جهت جلوگیری از خسارت وارده و کاهش خطای آزمایش تا شروع سبز شدن کامل چمن (استقرار کامل) از اعمال تیمار خشکی جلوگیری گردید. در طول مدت جوانه‌زنی و استقرار گیاهان، مبارزه با علف‌های هرز انجام شد و آبیاری بر اساس نیاز، به‌طور منظم و تا حدی که آب به‌آرامی از انتهای زه‌کش گلدان خارج شود، انجام گردید تا از بروز خشکی جلوگیری شود. رطوبت گلدان‌ها در تیمار آبیاری کامل از طریق آبیاری منظم در محدوده ظرفیت زراعی نگه‌داری شدند (تیمار بدون تنش خشکی)، بدین ترتیب که ابتدا سه عدد گلدان تا سه مرتبه به‌طور کامل آبیاری شدند تا تمام خلل و فرج آن‌ها پر شود سپس سطح گلدان به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب با پلاستیک پوشانده شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت گلدان‌ها وزن شدند تا وزن گلدان‌ها در حالت ظرفیت زراعی (تیمار بدون تنش) مشخص گردد. رطوبت گلدان‌های تحت تیمار تنش خشکی، با توجه به بستر کشت و شرایط محیط تعیین شدند. گلدان‌های کاشته شده پس از استقرار به‌مدت مشخصی آبیاری نشدند تا به حد ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (تیمار تنش خشکی) رسیدند. در این تحقیق جهت تعیین درصد ظرفیت زراعی از روش وزنی استفاده شد. ابتدا چهار کیلوگرم خاک در داخل آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، پس از ۴۸ ساعت توزین و وزن خاک خشک تعیین شد. سپس خاک خشک شده در گلدانی ریخته و تا حد اشباع به آن آب اضافه شد و روی آن جهت جلوگیری از تبخیر پلاستیک کشیده شد. پس از خارج شدن کامل آب ثقلی، گلدان توزین شد و پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک، مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت زراعی تعیین شد و تیمارهای مختلف بر این اساس محاسبه شدند. برای بررسی اثر اسید هیومیک بر میزان تحمل به تنش خشکی، در غلظت‌های صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌های چمن ماهانه در ۳ نوبت پس از سرزنی پاشیده شد. پس از این مدت، ابتدا ارتفاع اندام هوایی و عمق نفوذ ریشه به‌وسیله خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد و با قیچی سرشاخه تا ارتفاع ۴ سانتی‌متری از سطح خاک به‌منظور کاهش خطا در ارزیابی کیفیت ظاهری چیده شد. سپس کل ماده گیاهی موجود در هر گلدان برداشت شده و وزن‌تر آن‌ها با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک و تر ریشه نمونه‌ها، هر گلدان به‌صورت جدا تخلیه شد و خاک اضافی آن‌ها با آب شسته شد، وزن‌تر هر نمونه با ترازوی

1. Agrawal
2. Maguire

دیجیتالی ثبت شد سپس نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک این آزمایش
Table 1: Some physiochemical properties of experimental soil

بافت خاک Soil texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	بی‌کربنات (میلی‌گرم در کیلوگرم) Bicarbonate ($mg.l^{-1}$)	کربن آلی (درصد) Organic carbone (%)	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس در سانتی‌متر) EC (µS/cm)	پی‌اچ pH
لومی- رسی Loamy-Clay	37	38	25	312	1.56	220	7.13

برای اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی و بیوشیمیایی از هر تیمار میزان یک گرم برگ برداشت شده و بقیه سرشاخه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا درصد وزن خشک محاسبه گردد. نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از طی مراحل مختلف صفات موردنظر مانند میزان کلروفیل، کاروتنوئید، پرولین، نشت یونی و محتوای نسبی آب اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های رنگ، تراکم، یکنواختی و بافت چمن (شاخص بر اساس امتیازدهی از کد ۱ الی ۹) از طریق ارزیابی‌های چشمی و طبق برنامه ملی ارزیابی چمن (NTEP) و بعد از هر بار سرزنی در پایان هر هفته صورت گرفت. در پایان هرماه مواد گیاهی تازه حاصل از سرزنی برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند و در پایان مراحل ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روزه صفات نشت یونی (*بن‌حامد*[1] و همکاران، 2007)، کاروتنوئید (*لیکتنتالر و ولبورن*[2]، 1983) و کلروفیل (*آرنون*[3]، 2005) اندازه‌گیری شد.

آنالیز داده‌های حاصل از دو آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. ابتدا تست نرمالیته روی داده‌ها انجام شد، سپس داده‌های غیرنرمال با روش لگاریتمی نرمال شدند. آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) برای مقایسه میانگین و تعیین معنی‌دار بودن تفاوت آماری در تیمارها در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمایش اول؛ اثر اسید هیومیک و پلی‌اتیلن گلایکول بر پاسخ چمن ورزشی تحت تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی

نتایج این آزمایش بیانگر آن بود که برهم‌کنش دو عامل پلی‌اتیلن گلایکول و اسید هیومیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی چمن ورزشی معنی‌دار نبود ولی اثرات ساده پلی‌اتیلن گلایکول روی برخی صفات تأثیر معنی‌داری داشت (جداول ۲ و ۳). اثر ساده پلی‌اتیلن گلایکول بر شاخص‌های جوانه‌زنی در مقایسه با صفات رشدی گیاهچه مانند طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن‌تر گیاهچه، بیش‌تر معنی‌دار بود. افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلایکول در مرحله جوانه‌زنی چمن ورزشی سبب افزایش وزن خشک گیاه‌چه، سرعت جوانه‌زنی روزانه و بنیه بذر نسبت به شاهد شد. در حضور غلظت ۵ درصد پلی‌اتیلن گلایکول شاخص‌های درصد جوانه‌زنی نهایی، شاخص میزان جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی کاهش پیدا کرد (جدول ۴). در این مطالعه با افزایش غلظت ماده پلی‌اتیلن گلایکول شاخص‌های جوانه‌زنی چمن ورزشی (درصد جوانه‌زنی نهایی، شاخص میزان جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی) کاهش یافت. فرآیند جوانه‌زنی بذر دارای سه مرحله متوالی آبنوشی، متابولیسم و ظهور ریشه‌چه است. مطالعات نشان داده است که وجود آب برای شروع متابولیسم و رشد جنین ضروری است. هم‌چنین بروز واکنش‌های بیوشیمیایی جوانه‌زنی ارتباط مستقیمی با فراهمی رطوبت دارد (*فنچ‌ساواج* و *لوبنرمتزگر*[4]، 2006). از آن‌جا که پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریکس در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابند، بنابراین؛ دسترسی بذر به آب برای شروع جوانه‌زنی کاهش یافته و در اثر آن مراحل جوانه‌زنی به‌خوبی پیش نخواهد رفت (*راجزکاران*[5] و همکاران، 2002). در این پژوهش با افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلایکول به‌عنوان شبیه‌ساز تنش خشکی ضریب سرعت جوانه‌زنی در چمن ورزشی کاهش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان ضریب سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد (صفر درصد پلی‌اتیلن گلایکول) مشاهده شد. در پژوهشی مشخص شد اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر کندتر خواهد شد و درنتیجه زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته

1. Ben Hamed
2. Lichtenthaler and Wellburn
3. Arnon
4. Finch-Savage and Leubner-Metzger
5. Rajasekaran

و از این‌رو سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند (*بورنت*[1] و همکاران، 2005). بذور برای انجام فرآیند جوانه‌زنی باید به اندازه کافی آب جذب نمایند. مواد محلول موجود در بستر کشت ازجمله پلی‌اتیلن گلایکول سبب کاهش جذب آب توسط بذر و به‌دنبال آن تأخیر و یا توقف جوانه‌زنی می‌شوند. تنش خشکی و محدودیت جذب آب توسط بذر، از طریق تأثیر بر انتقال ذخایر بذر و سنتز پروتئین‌ها در جنین احتمالاً دلیل اصلی کاهش جوانه‌زنی است (*داد* و *دانوان*[2]، 1999). همان‌طورکه نتایج نشان داد استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول منجر به کاهش صفات شاخص میزان جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، متوسط ارزش جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر گردید که نتایج حاصل از این پژوهش هم‌راستا با نتایج *فلاری*[3] و همکاران (2004) بود که اظهار داشتند استفاده از PEG منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی در بذور درخت راش می‌شود. در مطالعه حاضر مشاهده شد که افزایش غلظت ماده پلی‌اتیلن گلایکول سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی روزانه، وزن خشک و بنیه بذر چمن ورزشی گردید. در مورد افزایش رشد گیاه در تنش خشکی با درجه پایین، نتایج مشابه‌ای موجود است که این افزایش رشد را به‌احتمال زیاد به‌دلیل برهم خوردن توازن هورمونی سلول‌ها در پاسخ به تنش خشکی مرتبط می‌دانند (صالحی اسکندری و همکاران، ۱۴۰۱). عدم تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی در این آزمایش احتمالا به‌دلیل غلظت‌های نامناسب جهت نفوذ و تاثیر برفرآیندهای جوانه‌زنی چمن ورزشی بوده است.

آزمایش دوم؛ اثر اسید هیومیک بر پاسخ چمن ورزشی تحت تنش خشکی

اثر تنش خشکی به‌جز صفت طول ریشه بر تمامی صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده چمن ورزشی، در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر ساده اسید هیومیک بر هیچ‌کدام از صفات موفولوژیکی اندازه‌گیری شده در چمن ورزشی معنی‌دار نبود. اثر متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک نیز تنها در صفات طول شاخه در سطح یک درصد، تراکم و بافت چمن در سطح پنج درصد معنی‌دار شد و بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. هم‌چنین، مطالعه نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی چمن در صفات نشت یونی در سطح یک درصد، محتوای آب نسبی و پرولین در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات اثر معنی‌دار نداشت. اثر ساده اسید هیومیک و اثر متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک بر هیچ‌یک از صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در چمن معنی‌دار نبود (جدول ۵ و ۶).

بر اساس نتایج، اعمال تنش خشکی و یا عدم وجود تنش بر چمن ورزشی تفاوت معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی چمن داشت. چنان‌چه کاهش قابل‌توجه در ویژگی‌هایی مانند وزن‌تر شاخه، وزن خشک شاخه، وزن‌تر ریشه، وزن خشک ریشه، رنگ چمن و نیز کاهش میزان تحمل خشکی، تحت شرایط تنش خشکی مشاهده شد. شرایط تنش در این آزمایش سبب کاهش ۴۷ درصدی وزن‌تر شاخه، ۳۴ درصدی وزن خشک شاخه، ۲۳ درصدی وزن‌تر ریشه، ۲۴ درصدی وزن خشک ریشه، ۱۶ درصدی شاخص رنگ چمن، ۳۰ درصدی شاخص تحمل به خشکی و ۱۳ درصدی محتوای آب نسبی چمن نسبت به شرایط عدم تنش خشکی شد. هم‌چنین در دوره اعمال خشکی افزایش ۵۴ درصدی نشت یونی و ۹۰۰ درصدی میزان پرولین نسبت به چمن‌هایی که تنش خشکی نداشتند، مشاهده گردید (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) اثر متقابل اسید هیومیک و تنش خشکی نشان داد که میان غلظت‌های اسید هیومیک در هر دو شرایط (تنش خشکی و بدون تنش خشکی) تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت ($P< 0.01$). در شرایط بدون تنش خشکی بیش‌ترین ارتفاع اندام هوایی مربوط به غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اسید هیومیک و تنش خشکی بر تراکم چمن ورزشی مشخص شد که اعمال تنش خشکی در هر سه سطح اسید هیومیک سبب کاهش این صفت شده است. میان غلظت‌های اسید هیومیک در شرایط بدون تنش خشکی تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط تنش خشکی در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک کم‌ترین میزان تراکم (با شاخص ۷) مشاهده شد. سه غلظت صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط عدم تنش روی تراکم چمن تفاوت معنی‌داری نداشتند. در همه غلظت‌های اسید هیومیک تحت تنش خشکی، تراکم نسبت به عدم اعمال خشکی کاهش یافت. تیمارها بین شرایط تنش خشکی و شرایط بدون خشکی تفاوت معنی‌داری داشتند. کاربرد اسید هیومیک همراه با اعمال تنش خشکی سبب افزایش بافت چمن ورزشی نسبت به شرایط بدون تنش همراه با اسید هیومیک شد. نرم‌ترین بافت (با شاخص ۴) در شرایط تنش خشکی و در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و ضخیم‌ترین

1. Burnett
2. Dodd and Donovan
3. Falleri

بافت (با شاخص ۱) در شرایط بدون تنش خشکی و در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد.

در طول دوره تنش سطح کل برگ برای هر گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند و کاهش سطح برگ در اثر تنش آبی، دلیل اصلی کاهش عملکرد می‌باشد (*شائو*[1] و همکاران، 2008). به‌دلیل این‌که جهت فرآیند فتوسنتز، توسعه سطح برگ و تبادلات گازی باز بودن روزنه‌ها ضروری است، بنابراین در اثر کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها تبادلات گازی کاهش یافته، دی‌اکسیدکربن کم‌تری در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و شدت فتوسنتز کاهش می‌یابد. کاهش میزان فتوسنتز منجر به کاهش رشد و عملکرد در گیاهان خواهد شد (*ردی*[2] و همکاران، 2004). با توجه به نتایج این آزمایش، افزایش شدت تنش خشکی سبب کاهش وزن‌تر، وزن خشک و ارتفاع اندام هوایی چمن ورزشی شد. تنش خشکی سبب فعالیت بیش‌تر آنزیم کلروفیلاز و هم‌چنین افزایش ساخت برخی مواد تنظیم‌کننده رشد مانند اسید آبسزیک و اتیلن می‌شود که منجر به تخریب و کاهش میزان کلروفیل در برگ‌ها و کاهش شدت رنگ می‌شود (*گودفلو* و *بارخام*[3]، 1974). در همین ارتباط جیانگ و هوآنگ (2001) گزارش کردند که تنش طولانی‌مدت خشکی و گرما در چمن‌های کنتاکی بلوگرس و تال فستوکا، کیفیت و رنگ چمن را کاهش داد. *صادقی*[4] و همکاران (2015) گزارش کردند با اعمال تنش خشکی، رنگ چمن در دو گونه چمنی علف گندمی بیابانی و چمانواش بلند کاهش یافت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که همراه با اعمال تنش خشکی، میزان ماده خشک اندام هوایی و ریشه چمنی موردمطالعه کاهش یافت. به‌طورمعمول زمانی‌که گیاهان در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرند، انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های در حال رشد اندام‌ها، کم می‌شود و توسعه سلولی و رشد را کاهش می‌دهد. کاهش میزان آب در بستر کشت، سبب اختلال در انتقال مواد غذایی لازم برای رشد و عدم تولید ماده خشک جدید شده و در نتیجه کاهش وزن خشک و کاهش رشد و تحمل به تنش را به‌دنبال خواهد داشت (*دویس* و *ولکنبورگ*[5]، 1995). همه گیاهان در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی پرولین را در اندام‌های خود ذخیره می‌کنند ولی مقدار آن بسته به گونه گیاهی و شدت تنش ممکن است بین دو تا ۱۰۰ برابر باشد. در شرایط تنش اسمزی شدید تجمع پرولین آزاد به‌وسیله شوری و خشکی القا می‌شوند (*کاوی‌کیشار*[6] و همکاران، 2005).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال تنش خشکی مقدار پرولین نسبت به شرایط بدون تنش خشکی افزایش چشم‌گیری داشت. افزایش پرولین در هنگام تنش نشان‌دهنده نقش این اسیدآمینه در تنظیم فشار اسمزی است (*اشرف* و *فولاد*[7]، 2007). به‌گونه‌ای مشابه گزارش شده است که مقدار پرولین در گیاه دارویی گشنیز تحت تنش خشکی زیاد می‌شود (*نورزاد*[8] و همکاران، 2015). به این ترتیب ازجمله پاسخ‌های گیاهان در برابر این نوع تنش، افزایش سطح پرولین است.

محتوای آب نسبی برگ یکی از ویژگی‌های مؤثر در تداوم رشد چمن تحت شرایط تنش خشکی است و مقادیر بالاتر آن می‌تواند عامل استقرار در شرایط تنش خشکی باشد (*کومار* و *سینگ*[9]، 1998). با توجه به وجود همبستگی زیاد بین توان جذب آب و محتوای آب نسبی در گیاه، به‌دنبال بروز خشکی و کاهش توان جذب آب، محتوای آب نسبی برگ کاهش می‌یابد (*پاسبان اسلام*[10] و همکاران، 2000). گزارش شده است کاهش آب آبیاری به بیش از ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده در گیاه آنیسون سبب کاهش معنی‌داری در محتوای آب نسبی شد (*زهتاب‌سلماسی*[11] و همکاران، 2001). این گزارش با نتایج این پژوهش در ارتباط با کاهش میزان محتوای آب نسبی چمن ورزشی تحت تنش خشکی مطابقت دارد.

مشخص شده است عامل اصلی در تحمل به از دست دادن آب در باریک برگان، ثبات غشای سلولی است و افزایش نشت یونی نشان‌دهنده بروز آسیب غشایی است. افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، تراوش الکترولیت‌ها از سلول را به‌دنبال دارد (*بلوم* و *ابرکون*[12]، 1981). با افزایش تنش خشکی در تنش‌های شدید، برخی از بخش‌های فسفولیپیدهای دولایه‌ای غشای سلولی و ساختار غشا به ساختار منفذدار تبدیل می‌شوند و در نتیجه نشت مواد اتفاق می‌افتد. چون تنش خشکی سبب صدمه زدن به غشای سلولی می‌شود، مقاومت غشای سلولی کاهش یافته و محتویات سلول به خارج ریخته می‌شود (*کافی* و همکاران، 2005).

1. Shao
2. Reddy
3. Goodfellow and Barkham
4. Sadeghi
5. Davis and Volkenburg
6. Kavi Kishor
7. Ashraf and Foolad
8. Nourzad
9. Kumar and Singh
10. Paseban-Islam
11. Zehtab-Salmasi
12. Blum and Ebercon

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر پلی‌اتیلن گلایکول و اسید هیومیک بر صفات مورفولوژیکی چمن ورزشی در مرحله جوانه‌زنی
Table 2: Analysis of variance of effect of polyethylene glycol and humic acid on the morphological traits of sport turfgrass at the germination stage

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		وزن‌تر FW	وزن خشک DW	طول ساقه‌چه Shoot length	طول ریشه‌چه Root length	نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه Root/Shoot
پلی‌اتیلن گلایکول Polyethylen glycol	2	0.0001^{ns}	0.00001^{*}	0.03^{ns}	0.51^{ns}	0.003^{ns}
اسید هیومیک Humic acid	2	0.00006^{ns}	0.000002^{ns}	0.3^{ns}	0.58^{ns}	0.004^{ns}
پلی‌اتیلن گلایکول × اسید هیومیک Polyethylen glycol × Humic acid	4	0.00005^{ns}	0.000006^{ns}	0.1^{ns}	0.32^{ns}	0.02^{ns}
خطا Error	18	0.0001	0.000002	0.19	0.19	0.02
ضریب تغییرات CV	-	15.4	15.7	9	10.5	16.3

* و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و عدم‌معنی‌داری
* and ^{ns}: Significantly at 0.05 levels and not significant, respectively

†: وزن‌تر گیاه‌چه (FW)، وزن خشک گیاه‌چه (DW)، طول ساقه‌چه (Shoot)، طول ریشه‌چه (Root)، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (Root/Shoot)
†: FW: seedling fresh weight, DW: seedling dry weight, Shoot: shoot length, Root: root length, Root/Shoot: ratio root to shoot length

تیمار تنش خشکی از تکامل دیواره سلولی جلوگیری کرده و سبب نشت الکترولیت از دیواره سلولی می‌شود. با توجه به آسیب‌پذیری غشای سیتوپلاسمی، محتویات سلول به بیرون تراوش کرده و مقدار این خسارت را می‌توان با اندازه‌گیری نشت یونی و هدایت الکترونی تعیین نمود (*وانوزی* و *لارنر*[1]، 2007). *گو*[2] و همکاران (2006) نشان دادند که با پیشرفت تنش، نشت یونی افزایش پیدا کرد. نتایج این بررسی نشان داد در شرایط تنش خشکی، میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری نسبت به شرایط بدون تنش افزایش یافت. به‌گونه‌ای مشابه جیانگ و هوانگ (2001) نشان دادند که نشت یونی در اثر تنش خشکی افزایش می‌یابد.

اثر مثبت اسید هیومیک بر وضعیت مواد غذایی برگ‌ها ممکن است به‌دلیل بهبود ساختار خاک، ظرفیت نگهداری آب‌هوا و افزایش جمعیت میکروبی باشد و به‌عنوان بافر محلول در ظرفیت تبادل کاتیونی و pH باشد (*ماگدوف* و *ویل*[3]، 2004). همچنین، می‌تواند جذب مواد غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش دهد (*ال‌بورای*[4] و همکاران، 2013).

1. Vannozi and Larner
2. Guo
3. Magdoff and Weil
4. El-Boray

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر پلی‌اتیلن گلایکول و اسید هیومیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی چمن ورزشی

Table 3: Analysis of variance of effect of polyethylene glycol and humic acid on the germination index of sport turfgrass

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS							
		CVG	FGP	MDG	SV	DGS	AVG	GRI	MTG
پلی‌اتیلن گلایکول Polyethylen glycol	2	2.2^{ns}	19^{*}	0.15^{*}	0.01^{*}	0.00003^{*}	52^{**}	160^{**}	0.31^{**}
اسید هیومیک Humic acid	2	1.2^{ns}	16^{ns}	0.13^{ns}	0.001^{ns}	0.00003^{ns}	7^{ns}	32^{ns}	0.005^{ns}
پلی‌اتیلن گلایکول × اسید هیومیک Polyethylen glycol × Humic acid	4	1.4^{ns}	6^{ns}	0.05^{ns}	0.009^{ns}	0.00001^{ns}	8^{ns}	23^{ns}	0.04^{ns}
خطا Error	18	0.000001	4.5	0.03	0.004	0	2	13	0.04
ضریب تغییرات CV		0.92	2.4	2.4	53	2.4	3.1	4.1	3.2

**، * و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: significantly at 0.01, 0.05 levels and not significant, respectively.

†: میانگین جوانه‌زنی روزانه (CVG)، درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP)، میانگین زمان جوانه‌زنی (MDG)، شاخص بنیه بذر (SV)، سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS)، متوسط ارزش جوانه‌زنی (AVG)، شاخص میزان جوانه‌زنی (GRI) و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (MTG)

†: CVG: Coefficient of velocity of germination, FGP: Final Germination Percentage, MDG: Mean Daily Germination, SV: Seed Vigor index, DGS: Daily germination speed, AVG: Average Value Germination, GRI: Germination Rate Index and MTG: Mean time to germination

جدول ۴: اثر کاربرد غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلایکول بر شاخص‌های جوانه‌زنی چمن ورزشی

Table 4: Effect of application of different concenrations of polyethylene glycol on sports turfgrass germination indices

SV	AVG	MDG	MTG	GRI	DGS	FGP	DW (g)	PEG (%)
0.86a	57.6a	8.19a	7a	91a	0.122b	90.1a	0.009b	0
0.93ab	53.1b	7.93b	6.6b	83b	0.126a	87.3b	0.01ab	2.5
1.02a	53.7b	7.99b	6.7b	84b	0.125ab	87.9ab	0.011a	5

حروف یکسان میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده عدم‌معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد است

Values with different letters in column are significantly different at 5% level of probability

†: وزن خشک (DW)، درصد جوانه‌زنی نهایی(FGP) ، سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS)، شاخص میزان جوانه‌زنی (GRI)، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (MTG)، میانگین زمان جوانه‌زنی (MDG)، متوسط ارزش جوانه‌زنی (AVG) و بنیه بذر (SV)

†: GRI: Germination Rate Index, CVG: Coefficient of velocity of germination, FGP: Final Germination Percentage, MDG: Mean Daily Germination, SV: Seed Vigor index, DGS: Daily germination speed, AVG: Average Value Germination, MTG: Mean time to germination

بنابراین، با توجه به این نکته و افزایش میزان مواد غذایی و ظرفیت نگهداری مواد در برگ (اندام هوایی چمن) و هم‌چنین با در نظر گرفتن این‌که گیاهان علفی با کاهش سطح برگ و کوچک کردن سلول‌ها سعی در مقابله یا جبران اثرات با تنش خشکی را دارند، می‌توان نتایج این آزمایش در ارتباط با افزایش بافت چمن ورزشی با کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی را توجیه نمود. مطابق نتایج آزمایش حاضر، طول شاخه تحت تأثیر غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط بدون تنش افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد اسید هیومیک از طریق اثرات هورمونی (*سماوات* و *ملکوتی*[1]، 2005) و با تأثیر بر متابولیسم گیاهی و هم‌چنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش شاخه‌دهی و طول شاخه گیاه شود (*ناردی*[2] و همکاران، 2002). برخی محققین گزارش کردند اسید هیومیک از طریق افزایش محتوای نیتروژن سبب افزایش رشد رویشی گیاه و تراکم گیاه می‌شود (*ورونیکا*[3] و همکاران، 2010) که این موضوع می‌تواند افزایش طول و تراکم گونه چمنی موردمطالعه در این آزمایش را در شرایط کاربرد اسید هیومیک توجیه کند.

1. Samawat and Malakouti
2. Nardi
3. Veronica

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و اسید هیومیک بر صفات مورفولوژیکی در طی تنش خشکی چمن ورزشی

Table 5: Analysis of variance of effect of drought stress and humic acid on morphological traits during drought stress of sport turfgrass

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS								
		وزن‌تر اندام هوایی Shoot FW	وزن خشک اندام هوایی Shoot DW	وزن‌تر ریشه Root FW	وزن خشک ریشه Root DW	طول ساقه Shoot lenght	طول ریشه Root lenght	تراکم Density	رنگ Color	بافت Texture	تحمل به خشکی Drought tolerance
تنش خشکی Droght stress	1	27.6**	27.0**	718.7**	46.5*	20.0**	5.5ns	8**	9.3**	20.0**	22.2**
اسید هیومیک Humic acid	2	1.32ns	0.3ns	34.4ns	4.3ns	0.0ns	16.0ns	0.2ns	0.05ns	0ns	6.0ns
تنش × اسید Drought stress × Humic acid	2	19.3ns	1.5ns	12.3ns	0.4ns	4.7**	1.2ns	0.6*	0.38ns	0.8*	4.3ns
خطا Error	12	8.6	0.8	37.9	7.9	0.4	4.5	0.1	0.38	0.2	2
ضریب تغییرات CV		23.4	15.5	12.8	23.9	7.7	11.9	4.0	7.74	18.8	22.7

**، * و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: Significantly at 0.01, 0.05 levels and not significant, respectively

جدول ۶: تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و اسید هیومیک بر صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در طی تنش خشکی چمن ورزشی

Table 6: Analysis of variance of effect of drought stress and humic acid on biochemical traits measured during drought stress of sport turfgrass

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		نشت یونی Ion leakage	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll Total	کارتنوئید Cartenoid	محتوای آب نسبی RWC	پرولین Proline
تنش خشکی Droght stress	1	0.01**	3.26ns	0.005ns	1.28ns	0.06ns	620.87*	0.01*
اسید هیومیک Humic acid	2	0.004ns	3.18ns	0.18ns	17.41ns	0.46ns	43.20ns	0.002ns
تنش × اسید Drought stress × Humic acid	2	0.003ns	11.04ns	0.55ns	37.77ns	0.34ns	106.32ns	0.002ns
خطا Error	12	0.001	12.52	0.31	39.94	0.55	81.35	0.002
ضریب تغییرات CV	-	26.96	15.76	30.61	19.25	9.48	10.68	7.001

**، * و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: Significantly at 0.01, 0.05 levels and not significant, respectively

جدول ۷: اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی چمن ورزشی در مرحله استقرار

Table 7: Effect of drought stress on morphological and physiological traits of sports turfgrass in the establishment stage

تنش خشکی Drougth stress	وزن‌تر اندام هوایی (گرم) Shoot FW (g)	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot DW (g)	وزن‌تر ریشه (گرم) Root FW (g)	وزن خشک ریشه (گرم) Root DW (g)	رنگ (شاخص) Color (index)	تحمل به خشکی (شاخص) Drought tolerance (index)	نشت یونی (درصد) Ion leakage (%)	محتوای آب نسبی (درصد) RWC (%)	پرولین (میکرومول در گرم وزن‌تر) Proline (µmol.g FW^{-1})
بدون تنش Withouth drought stress	16.43a	7.13a	54.07a	13.36a	8.77a	7.33a	0.11b	90.31a	0.01b
تنش Drought stress	8.71b	4.68b	41.44b	10.15b	7.33b	5.11b	0.17a	78.56b	0.1a

حروف یکسان میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده عدم‌معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد است

Values with different letters in column are significantly different at 5% level of probability

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلیکول (۵-۲/۵ درصد) به‌عنوان شبیه‌ساز تنش خشکی، به‌شدت بر مرحله جوانه‌زنی تأثیرگذار است و هرگونه محدودیت به دسترسی آب سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی چمن‌های ورزشی می‌شود. هم‌چنین تنش خشکی در چمن سبب افزایش ۱۰ برابری پرولین و کاهش محتوای آب نسبی و وزن‌تر و خشک اندام هوایی نسبت به عدم تنش در شرایط گلخانه شد. محلول‌پاشی اندام هوایی با ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک ارتفاع و تراکم اندام هوایی را در شرایط تنش خشکی کاهش داد. بنابراین می‌توان اظهار نمود که محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک در شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند شرایط فیزیولوژیکی گیاه را بهبود بخشیده و منجر به افزایش تراکم چمن و طول شاخه گردد. اما با توجه به کاهش میزان صفات ذکرشده کاربرد اسید هیومیک در شرایط کم‌آبی نمی‌تواند اثر معنی‌داری بر افزایش رشد و حفظ کیفیت و پایداری چمن داشته باشد.

منابع

شاهسون مارکده، م. و چمنی آ. ۱۳۹۳. تأثیر غلظت و زمان‌های مختلف کاربرد اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل بریده شب بو رقم *Hanza*. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۵ (۱۹): ۱۵۷-۱۷۰.

صالحی اسکندری، ب.، عباس پور، ج. و فرقانی، ام. ح. ۱۴۰۱. اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر، کلروفیل، پرولین و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان دو رقم متحمل و حساس کلزا (*Brassica napus* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۵(۱): ۱۰۴-۹۳.

Agrawal, R. 2003. Seed Technology. Pub. Co. PVT. LTD. New Delhi. India.

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59: 206-216.

Beard, J. B. 1973. Turfgrass Science and Culture. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. 2007. Sea fennel (*Cirthmum maritimum* L.) under salinity conditions: A comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation, 53: 185-194.

Bian, S. and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. Scientia Horticulturae Journal, 120: 264-270.

Biglouie, M. H., Assimim M. H. and Akbarzadeh, A. 2010. Effect of water stress at different stages on quantity and quality traits of Virginia (flue cured) tobacco type. Plant Soil Environment, 2: 67-75.

Blum, A. and Ebercon, A. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop science, 21: 43-47.

Blum, A. 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer, New York.

Bonos, S. A., Rush, D., Hignigh, K. and Meyer, W. A. 2004. Selection for deep root production in tall fescue and perennial ryegrass, Crop Science, 44: 1770-1775.

Burnett, S., Thomas, P. and Van Iersel, M. 2005. Post germination drenches with PEG-8000 reduce growth of salvia and marigolds. Horticulture Science, 40 (3): 675-679.

Dami, I. and Haghes, G. H. 1997. Effect of PEG induced water stress on in vitro hardening of "Valiant" gape. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 47: 97-101.

Davis, W. J. and Volkenburg, E. 1995. The influence of water deficit on the factors controlling the daily patern of growth of Bean. Journal of Experimental Botany, 54: 987-999.

Dodd, G. L. and Donovan, L. A. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. American Journal of Botany, 86: 1146-1153.

El-Boray, M. S., Mostafa, M. F. and Ibrahiem, D. M. 2013. Effect of humic acid, Biofertilizers and micro elements on leaf mineral contents of King Ruby seedless grapevines. Journal of Plant Production Mansoura University, 4 (6): 871-883.

Ellis, R. H. and Roberts, E. H. 1981. The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Seed Sci. Technol. 9: 377-409.

Errabii, T., Gandonou, C. B., Essalmani, H., Abrini, J., Idaomar, M. and Senhaji, N. S. 2008. Growth, proline and ion accumulation in sugarcane callus cultures under drought-induced osmotic stress and its subsequent relief. African Journal of Biotechnology, 5: 1488-1493.

Fallahian, A. 2001. Turfgrass: Technology, Construction and Maintenance. University Jahad (Ferdowsi University of Mashhad).

Falleri, E., Muller, C. and Laroppe, E. 2004. Effect of water stress on germination of beechnuts treated before and after storage, Canadian Journal of Forest Research, 34 (6): 1204-1209.

Farooq, M., Basra, S., Ahmad, N. and Hafeez, K. 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. Journal of Integrative Plant Biology, 47: 187-193.

Finch-Savage, W. E. and Leubner-Metzger, G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. New Phytologist, 171: 501-523.

Fu, J. and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany, 45: 105-114.

Ghorbani, S., Khazaei, H. R., Kafi, M. and Bannayan Aval, M. 2010. Effects of humic acid application with irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) Journal of Agroecology, 2 (1): 111-118.

Goodfellow, S. and Barkham, J. P. 1974. Spectral transmission curves for a beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy. Acta Botany Neerl, 23: 225-230.

Guo, Z., Ou, W., Lu, S. and Zhong, Q. 2006. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry Journal, 44: 828-836.

Hasani, A. and Omid Beigi, R. 2002. Effects of Water Stress on Some Morphological, Physiological and Metabolic Properties of Basil. Journal of Agricultural Science, 12 (3): 47-59.

Hung, S. H., Yu, C. W. and Lin, C. H. 2005. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 46: 1-10.

Hunter, A. and Anders, A. 2004. The influence of humic acid on turfgrass growth and development of creeping bentgrass. Acta Horticulturae, 661: 257-264.

Jiang, Y. and Huang, B. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science, 41 (2): 436-442.

Kafi, M., Nezami, A., Hosseyni, H. and Masumi, A. 2005. The physiological effects of stress caused by PEG on germination varieties of lentils. Journal of Agricultural Research of Iran, 3 (1): 69-79.

Kavi Kishor, P. B., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. R., Rao, S., Reddi, K. J. and Theriappan, P. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science, 44: 482-487.

Kheerabi, J., Tavakoli, A. R., Antsari, M. R. and Health, A. R. 1996. Low Irrigation Guidelines. Department of Crop Water Required and Crop Management National Committee on Irrigation and Drainage, 2: 218.

Koc, E., İslek, C. and Üstun, A.S. 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science, 23: 1-6.

Kumar, A. and Singh, D. P. 1998. Use of physiology indices as screening technique for drought tolerance in oil seed *Brassica* species. Ann. Bot, 81: 413-420.

Landjeva, S., Neumann, K., Lohwasser, U. and Borner, A. 2008. Molecular mapping of genomic regions associated with wheat seedling growth under osmotic stress. Biologia Plantarum, 52: 259-266.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 603: 591-603.

Macar, T. K., Ozlem, T. and Ekmekci, Y. 2009. Effect of deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arientinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. Gazi University Journal of Science, 22 (1): 5-14.

Magdoff, F. and Weil, R. 2004. Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press. USA, pp. 67-120: 295-327.

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science, 2: 176-177.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry Journal, 34: 1527-1536.

Nourzad, S., Ahmadian, A. and Moghaddam, M. 2015. Proline, total chlorophyll, carbohydrate amount and nutrients uptake in coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress and fertilizers application. Iranian Journal of Field Crops Research, 13 (1): 131-139.

Panwar, P. and Bhardwaj, S. D. 2005. Handbook of practical forestry, Agro biosystem (India), 191 pp.

Paseban-Islam, B., Shakiba, M. R., Neyshabouri, M. R., Moghaddamand, M. and Ahmadi, M. R. 2000. Evaluation of physiological indices as screening technique for drought resistance in oilseed rape. Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences, 37 (2):143-152.

Rajasekaran, L. R., Stiles, A., Surette, M. A., Sturz, A. V., Blake, T. J., Caldwell, C. and Nowak, J. 2002. Stand Establishment Technologies for Processing Carrots Effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. Canadian Journal of Plant Science, 82: 443-450.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161 (11): 1189-1202.

Sadeghi, A., Etemadi, N., Shams, M. and Niazmand, F. 2015. Effect of drought stress on morphological and physiological characteristics of wheatgrass and tall fescue. Journal of Horticultural Science, 28 (4): 544-553.

Salehi Lisar, S. Y., Motafakkerazad, R., Mosharraf, M., Mosharraf Hossain, M. and Rahman, I. M. M. 2012. Water stress in plants: causes, effects and responses. Water Stress, Prof. Ismail Md. Mofizur Rahman, (Ed.): ISBN-978-953-307-963-9. In Tech. DOI: 10.5772/39363.

Samawat, S. and Malakouti, M. 2005. The Need for Production and Consumption of Organic Acids for Quantitative and Qualitative Increase in Agricultural Products. Senate Publications, Tehran.

Scotte, S. J., Jones, R. A. and Williams, W. A. 1984. Reviw of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24: 1192-1199.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. Comptes Rendus Biologies, 331: 215-225.

Shehata, S. A., Gharib, A. A., El-Mogy, M. M., Abdel Gawad, K. F. and Shalaby, E. A. 2011. Influence of compost, amino and humic acids on the growth, yield and chemical parameters of strawberries. Medicinal Plants Research, 5: 2304-2308.

Vannozi, G. and Larner, F. 2007. Proline accumulation during drought rhizogene in maise. Journal Plant Physiology, 85: 441-467.

Veronica, M., Eva, B., Angel-Maria, Z., Elena, A., Maria, G., Marta, F. and Jose Maria, G. M. 2010. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokines, polyamines and mineral nutrients. Journal of Plant Physiology, 167: 633-642.

Vignolo, E. R. F. and Asard, H. 2012. Effect of elevated CO2 and temperature on the oxidative stress response to drought in *Lolium perenne* L. and *Medicago sativa* L. Plant Physiology and Biochemistry, 59: 55-62.

Zehtab-Salmasi, S., Javanshir, A., Omidbigi, R., Alyari, H. and Ghassemi-Golezani, K. 2001. Effects of water supply and sowing date on performance and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). Acta Agronomy Hungary, 49: 75-81.

Effect of Humic Acid on Morpho-Physiological Characteristics of Turfgrass Under Drought Stress

Alikhani[1], A., Thaghizadeh[2*], M. and Solgi[2], M.

Abstract

Outcome appropriate strategy is so essential to reduce the irrigation of the turfgrass in the landspace since to high water requirement of turfgrass growth stages and the limitation of water resources. In the first experiment, the application of polyethylene glycol (0, 2.5 and 5%) and humic acid (0, 250 and 500 $mg.l^{-1}$) treatments at the germination phase and the application of foliar spraying of humic acid (0, 250 and 500 $mg.l^{-1}$) and drought stress (100% and 30% of field capacity) in the turfgrass establishment stage in the second experiment was conducted. In the first experiment, although the dry weight of seedlings increased at the presence of different concentrations of polyethylene glycol, most of the indices of germination decreased in comparison to the control. In the second experiment, drought stress in turfgrass caused 10-fold increase in proline, decreasing in relative water content, fresh and dry weight of shoots compared to withouth drought stress in greenhouse conditions. Foliar spraying with 250 $mg.l^{-1}$ humic acid reduced shoot height and density under drought stress conditions. Therefore, it can be stated that the foliar spraying application of humic acid under field capacity irrigation can improve the physiological conditions, lead to increasing turfgrass density and shoot length nevertheless the use of acid humic foliar spraying was not effective in reduction the drought stress of turfgrass.

Keywords: Proline, PEG, Germination, Drought, Ion leakage

1 and 2. MSc Graduate and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environmental Science, Arak University, Arak, Iran

*: Corresponding author Email: m-taghizadeh@araku.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the guidance of Mina Thaghizadeh.