

## بررسی تحمل به سطوح مختلف سایه در دو گونه چمن فصل سرد علف گندمی بیابانی *Festuca arundinaceae* Schreb. 'Forager' و گونه چمانواش بلند (*Agropyron desertorum*)

امیر صادقی<sup>۱</sup>، نعمت الله اعتمادی<sup>۱\*</sup>، علی نیکبخت<sup>۱</sup> و محمدرضا سبزعلیان<sup>۲</sup>

به ترتیب<sup>۱۰</sup> گروه علوم باغبانی و گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۷/۰۶/۹۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۳۰/۰۲/۱۳۹۳)

### چکیده:

مسئله کمبود نور و ایجاد سایه به واسطه توسعه مصنوعات بشری و همچنین سایه ناشی از درختان در فضای سبز، چالش مهم پیش روی چمن به عنوان یکی از اجزای اصلی فضای سبز شهری می باشد. در این پژوهش اثر سطوح مختلف سایه (۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد) بر خصوصیات ظاهری و مورفولوژیک چمن‌های سردسیری علف گندمی بیابانی (*Agropyron desertorum*) و چمانواش بلند (*Festuca arundinaceae* Schreb. 'Forager') در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد که گونه علف گندمی بیابانی با دارا بودن بیشترین رنگ، بافت، قدرت پنجه زنی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی و هدایت روزنه ای در نور کامل در مقایسه با سایر سطوح سایه، کارآئی بالاتری داشت. گونه چمانواش بلند در شرایط سایه ۵۰ درصد، با داشتن بیشترین رنگ، قدرت پنجه زنی، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی و فتوستنتز در مقایسه با نور کامل از کارآئی بالاتری برخوردار بود. همچنین نتایج نشان داد که از نظر خصوصیات مطلوب جهت کاربرد زیستی در فضای سبز، گونه چمانواش بلند در کلیه سطوح سایه عملکرد بهتری در مقایسه با گونه علف گندمی بیابانی داشته است. با این حال هر دو گونه قادر به تحمل سایه شدید ۹۰ درصد نبودند.

کلمات کلیدی: چمانواش بلند، سایه، علف گندمی بیابانی.

### مقدمه:

باشد. برآورد شده است که بیست تا بیست و پنج درصد از چمن‌های مورد استفاده در شرایط سایه کشت شده اند (Beard, 1973). برخلاف سایر محصولات کشاورزی، در تولید چمن‌ها تلاش بر هرچه متراکم تر کاشتن آنها می‌باشد که این خود رقابت برای نور در شرایط سایه را شدیدتر می‌کند (Madison, 1971). انواع مختلفی از سایه، از قبیل سایه ناشی از درختان و یا سایه ساختمانها بر کیفیت، ماندگاری و قدرت پاخوری چمن‌ها تاثیر گذار هستند (Pessarakli, 2008) رشد چمن به عنوان یکی از اجزای اصلی فضای سبز شهری می‌تواند مسؤول نشانی پست الکترونیکی: etemadin@cc.iut.ac.ir

مواجه گردید (Schnyder and Nelson, 1989). در بین چمن‌های فصل سرد چمانوش بلند بیشترین تحمل به سایه را داشته است. برخی از واریته‌های چمانوش بلند حتی در یک دوره زمانی ۸ ساله تحت سایه ملایم تا شدید قادر به رشد بوده‌اند (Gardner and Taylor, 2002). برخی مطالعات روی واریته‌های چمانوش بلند نشان داد تعدادی از آنها قادر به حفظ کیفیت مناسب در ۹۲ درصد سایه نیز می‌باشد (Wherley et al., 2005).

تعداد کمی از گونه‌های چمن مورد استفاده به شرایط سایه سازگار هستند (Wilkinson and Beard, 1974). در رویارویی با این مشکل انتخاب گونه‌ها و ارقام مقاوم به سایه یکی از روش‌های اصلی توصیه شده می‌باشد (Pessarakli, 2008). با توجه به فلور گیاهی ایران و ذخایر غنی گیاهان بومی و همچنین با در نظر گرفتن شرایط خشک و نیمه خشک مناطق مرکزی ایران استفاده از گونه‌ها و جمعیت‌های بومی مقاوم به تنشهای محیطی می‌تواند ضمن حفظ زرم پلاسم موجود، زمینه لازم جهت پژوهشها و کارهای اصلاحی آینده را نیز فراهم آورد. از جمله این گیاهان، علف گندمی بیابانی (A. desertorum) می‌باشد. گونه‌های مختلف علف گندمی در غالب مراتع ایران می‌رویند و جزء گیاهان مرتعی محسوب می‌شوند. علف گندمی‌ها گیاهانی با عمر طولانی و ساختار ریشه‌ای گسترده هستند، بنابراین برای تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش نیز مناسب می‌باشد (Daniel et al., 2001). در حال حاضر اطلاعات کافی راجع به مقاومت به سطوح مختلف نوری (سطوح مختلف سایه) گونه بومی علف گندمی بیابانی در دسترس نیست. لذا هدف از این پژوهش، مطالعه اثر سطوح مختلف سایه بر خصوصیات ظاهری و مورفو‌لوزیک گونه بومی علف گندمی بیابانی در مقایسه با گونه چمانوش بلند به عنوان گونه مقاوم می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها:

این پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام پذیرفت. اقلیم منطقه، خشک با متوسط حداقل دمای سالانه  $23/4^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد، متوسط حداقل دمای  $9/1^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه

و نمو چمن‌ها تحت تاثیر شدت و کیفیت نور دریافتی می‌باشد (Wherley et al., 2005). سایه با کاهش شدت و کیفیت نور در خصوصیات ریخت شناسی و فیزیولوژیک چمن تعییراتی را ایجاد می‌کند (Wherley et al., 2005; Dudeck and Peacock, 1992). پس از این تعییرات چهار تا هفت روز بعد از وقوع تنش سایه بروز خواهد کرد (Stanford, 2005). چمن‌ها در شرایط سایه، اتیوله و ضعیف گشته و حساسیت آنها به بیماری‌ها افزایش خواهد یافت (Pessarakli, 2008; Tan and Qian, 2003). اکثر گونه‌های چمن اگر کمتر از چهار تا پنج ساعت در روز در معرض نور مستقیم آفتاب قرار بگیرند، خسارت خواهد دید (Goss, 2002). قدرت زنده ماندن چمن‌های فصل سرد در شرایط سایه بواسطه پایین تر بودن نقطه موازن و اشباع نوری آنها، نسبت به اکثر چمن‌های فصل گرم بیشتر می‌باشد (Alexander and McCloud, 1962). در بیشتر چمن‌های فصل سرد کاهش در رشد و کیفیت در نور کمتر از ۳۰ درصد مشاهده می‌شود (Pessarakli, 2008). در آزمایشی Peacock (۱۹۹۲) تاثیر سایه بر خصوصیات رشدی چمن‌های فصل سرد از جمله چمانوش بلند را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که این چمن‌ها در شرایط سایه نسبت به نور کامل دارای رشد رویشی عمودی‌تر، برگ‌های کشیده و باریکتر، سیستم ریشه‌ای سطحی‌تر، قدرت پنجه‌زنی، تراکم و میزان کربوهیدرات کمتری بودند. از طرفی Wherley و همکاران (۲۰۰۵) توانستند چمن چمانوش بلند را در شرایط ۹۲ درصد سایه حاصل از درختان و سایه مصنوعی مدیریت کنند. در شرایط سایه مصنوعی چمن‌ها دارای کیفیت، رنگ و تراکم قابل قبولی بودند در حالی که چمن‌های کشت شده در سایه درختان تعییرات ظاهری نامناسبی را نشان دادند. با کاهش فتوسنتز در شرایط سایه، میزان کربوهیدرات‌های غیر ساختاری کل Non-Structural Carbohydrate (TNC) نسبت به کربوهیدرات‌های ساختاری به میزان بیشتری کاهش خواهد یافت. در پژوهشی با کاهش نور از  $300\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  به  $60\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  در چمن چمانوش بلند، میزان کربوهیدرات‌های غیر ساختاری  $43\%$  کاهش نشان داد. در حالی که وزن خشک تنها با ۱۳ درصد کاهش

سانتیگراد بود. اختلاف دمای موجود بین سطوح مختلف نوری در هر بار اندازه گیری کمتر از سه درجه سانتیگراد ثبت گردید. در این مطالعه برای تعیین رنگ از امتیازدهی بصری توسط ارزیاب با تجربه بر اساس مقیاس ۱ تا ۹ استفاده شد. در ارزیابی مذکور که بر اساس دستورالعمل NTEP صورت گرفت امتیاز ۹ به رنگ سبز تیره و امتیاز یک به رنگ زرد اختصاص یافت. هر دو هفته یکبار ارتفاع گیاه اندازه گیری شد. بدین منظور در هر گلدان به طور تصادفی سه نقطه از چمن توسط خط کش با دقیقیت یک میلی متر اندازه گیری گردید و سپس میانگین چهار گلدان به عنوان ارتفاع هر واحد آزمایشی یادداشت شد. جهت اندازه گیری بافت (عرض) برگ، در شروع و پایان آزمایش از هر تکرار (چهار گلدان) شش نمونه برگ به طور تصادفی انتخاب گردید و با دستگاه کولیس دیجیتال با دقیقیت ۰/۰۱ میلی متر عرض برگ در قسمت میانی اندازه گیری شد. همچنین جهت تعیین متوسط پنجه‌زنی در هر بوته، در شروع و پایان آزمایش سه گیاه از هر واحد آزمایشی برداشته شد، تعداد پنجه در هر بوته شمارش گردید و میانگین گیری شد. کلروفیل برگها به روش Lichtenhaler (۱۹۸۷) و توسط حلال استون ۱۰۰ درصد استخراج گردید. میزان جذب نور عصاره در دو طول موج ۶۴۴/۸ و ۶۶۱/۶ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (A-600 UV-600) قرائت شد. اندازه گیری میزان کلروفیل بعد از شروع سایده‌هی به صورت ماهانه و با استفاده از خرده چمنهای تازه حاصل از سبرداری‌ها (clipping) انجام گردید. به منظور اندازه گیری فتوستتر و هدایت روزنه‌ای برگ، از دستگاه کشور انگلستان (LCI) ساخت کشور استفاده شد. بدین منظور برگ به مدت ۳۰ ثانیه درون اتاقک اندازه گیری تبادلات گازی قرار گرفت. اندازه گیری در روز صاف و آفتابی بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ انجام شد. در پایان آزمایش بالا‌فصله پس از برداشت بوته‌ها، وزن تر اندام هوایی و ریشه توسط ترازوی دیجیتال با دقیقیت یک میلی گرم اندازه گیری شد. همچنین پس از اندازه گیری وزن تر بالا‌فصله نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند سپس وزن

۱۲۲/۸ میلی‌متر بود. در این آزمایش از دو گونه چمن فصل سرد شامل جمعیت بومی علف گندمی بیابانی (Agropyron desertorum L.) و گونه چمانواش (*Festuca arundinaceae*) Forager (رقم) استفاده شد. بذر جمعیت بومی علف گندمی بیابانی از بخش دامنه، شهرستان فریدن واقع در استان اصفهان جمع آوری گردید. گونه چمانواش بواسطه تحمل بالا به سایه در بین سایر چمنهای فصل سرد متداول در فضای سبز، به عنوان شاهد انتخاب شد. علف گندمی بیابانی و چمانواش در گلدانهای استوانه‌ای به ارتفاع ۶۰ و قطر ۱۵ سانتی‌متر که با خاک لومی رسی (سری اصفهان، pH=۶/۵ dS/m=۷/۴) پر شده بودند، با تراکم ۳۰ گرم بذر در متر مربع کشت گردیدند. در طول مدت جوانه زنی و استقرار، مبارزه با علفهای هرز و کوددهی با کود اوره در صورت نیاز به میزان ۵ گرم در متر مربع به صورت محلول در آب آبیاری انجام شد. چمن‌ها به صورت هفتگی و در ارتفاع ۴ سانتی متر سرزنی شدند. آبیاری به طور منظم و به گونه‌ای که در هر بار آبیاری آب از ته گلدان براحتی خارج شود انجام پذیرفت. پس از استقرار چمنها که حدود ۵ ماه به طول انجامید، چمن‌های مذکور به زیر سایبان‌ها جهت اعمال تیمارهای مختلف نوری منتقل شد. سطوح ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۴۰ درصد سایه به ترتیب با یک لایه تور پارچه ای، یک لایه تور سبز رنگ (ساران) و سه لایه تور سبز رنگ (ساران) بددست آمد. جهت ایجاد سایبان از تونل (Clear Span Round Frame) به طول ۳ متر، عرض ۲/۷ متر و حداکثر ارتفاع ۲ متر استفاده شد. جهت جلوگیری از نفوذ نور، اضلاع جانبی سایبان به کمک تورهای مورد استفاده پوشانده شد (Wherley et al., 2005; Tan and Qian, 2003). شدت نور هر هفته به صورت تصادفی در روز آفتابی در ساعت ۱۲ ظهر به کمک نور سنج مدل (ST-1309) در همه سطوح نوری در سطح گلدانها (سطح گیاه) اندازه گیری گردید (جدول ۱).

تغیرات دما در هر یک از سطوح سایه دو بار در هفته به کمک دما‌سنج ماکریم-مینیم اندازه گیری شد. حداقل و حداکثر دمای ثبت شده در طول آزمایش به ترتیب ۱۵ و ۳۰ درجه

جدول ۱- متوسط نور در سطوح مختلف سایه در بررسی تحمل به سایه چمن علف گندمی بیابانی و گونه چمانوаш

درصد سایه (نسبت به نور کامل)	متوسط نور (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه)	سطح سایه (درصد)
---	۱۴۷۴	۰
۴۷/۵	۷۷۳/۶۶	۵۰
۷۲/۹	۳۹۹/۰۶	۷۰
۹۵/۶	۶۳/۶۲	۹۰

سطح ۵۰ و ۷۰ درصد سایه تفاوت معنی دار نبود. اما در گونه چمانواش بلند در طول ۶ ماه سایه دهی بیشترین درجه رنگ (۸/۷) در سایه ۵۰ و ۷۰ درصد دیده شد و کمترین رنگ (۶/۳) در سایه ۹۰ درصد گزارش گردید. در تمامی سطوح سایه، گونه چمانواش بلند بطور معنی داری درجه رنگ بالاتری نسبت به گونه علف گندمی بیابانی داشت و حتی در سایه شدید ۹۰ درصد، چمانواش بلند در مقایسه با علف گندمی بیابانی به صورت معنی داری از درجه رنگ بیشتری (۶/۳) برخوردار بود (شکل ۱).

پژوهش های زیادی در مورد عکس العمل گونه های مختلف چمن به سطوح مختلف سایه های مصنوعی انجام گرفته که واکنش گیاهان بسته به نوع گونه متفاوت بوده است. کاهش رنگ چمن با افزایش سطوح سایه توسط Bell و همکاران (۲۰۰۰) گزارش شد. پژوهش ها روی گونه چمانواش بلند نشان داد که این گونه از کیفیت قابل قبولی در سایه ۶۵ درصد برخوردار بود (Tegg and Lane, 2004). تعدادی از ارقام چمانواش بلند قادر به حفظ کیفیت مناسب در ۹۲ درصد سایه نیز بودند

(Wherley *et al.*, 2005). در بیشتر چمن های فصل سرد، کاهش در رشد و کیفیت (رنگ) در سایه بیشتر از ۷۰ درصد اتفاق می - افتند (Pessarakli, 2008). علت کاهش رنگ در سطوح بالای سایه را آسیب فتوستزی و عدم ستز مواد اولیه جهت تولید کلروفیل دانسته اند (Miralles *et al.*, 2011).

ارتفاع: با توجه به نتایج بدست آمده، افزایش سطوح سایه (تا سطح ۷۰ درصد) در هر دو گونه باعث افزایش ارتفاع گردید، اما سایه شدید (۹۰ درصد) ارتفاع را در هر دو گونه کاهش داد. در سایه ۵۰ درصد تفاوت معنی داری بین دو گونه مشاهده نشد، اما در سایه ۷۰ درصد، گونه علف گندمی بیابانی

خشک با ترازوی دیجیتال اندازه گیری گردید. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار اجرا شد و هر تکرار شامل ۴ گلدان (نمونه) بود. سطوح سایه به عنوان محیط های مختلف و گونه به عنوان فاکتور دوم مورد استفاده قرار گرفت. تیمارها شامل چهار سطح سایه (۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد) و دو گونه (علف گندمی بیابانی و چمانواش) بود. بدین ترتیب آزمایش برای هر گونه در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد و تجزیه داده ها به صورت تجزیه مرکب انجام گردید. تجزیه واریانس داده های مربوط به هر صفت و تجزیه رگرسیون به کمک نرم افزار سیستم پردازش آماری SAS (نسخه ۹/۱) و به صورت تجزیه مرکب داده ها برای محیط صورت گرفت. میانگین اثر های متقابل در صورت معنی دار بودن از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی دار، در سطح احتمال پنج درصد توسط نرم افزار MSTATC مورد مقایسه قرار گرفتند.

## نتایج و بحث:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمار سایه بر کلیه صفات اندازه گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید. تیمار گونه به جز ارتفاع بر سایر صفات در سطح احتمال یک درصد اثر معنی داری داشت. همچنین اثر متقابل سایه و گونه بر کلیه صفات اندازه گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی دار بوده است (جدول ۲، ۳).

رنگ: بر همکنش سایه و گونه بر صفت رنگ نشان داد که در گونه علف گندمی بیابانی با افزایش سطوح سایه از شدت رنگ کاسته شد بطور یکه بیشترین رنگ (۸/۰) در نور کامل و کمترین رنگ (۵/۴) در سایه ۹۰ درصد مشاهده گردید. بین

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به تاثیر سطوح مختلف سایه و نوع چمن بر صفات مورفوفیزیولوژیک

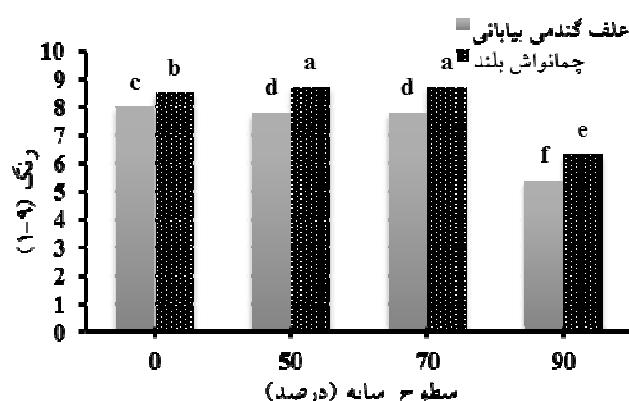
میانگین مربعات										منابع تغییرات
	هدایت روزنۀ ای	فتورستز	کلروفیل کل	پنجه زنی	بافت	ارتفاع	رنگ	درجه آزادی		سایه
	۰/۰۶۹**	۶۶/۷۶**	۰/۱۴۰**	۱۲/۵۵**	۱/۷**	۶/۷۴**	۸/۹**	۳		
	۰/۰۰۰۰۷ns	۰/۰۶ns	۰/۰۰۲**	۰/۲۰ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۳ns	۸		تکرار×سایه
	۰/۰۲۲**	۷/۶۲**	۰/۰۳۷**	۶/۰۰**	۳/۷**	۰/۰۱ns	۳/۹**	۱		گونه
	۰/۰۰۴**	۲۵/۳۶**	۰/۰۲۱**	۱۳/۰۰**	۰/۳۳**	۰/۲۴**	۰/۰۵**	۳		سایه×گونه
	۰/۰۰۰۰۴	۰/۱۶۹	۰/۰۰۰۲	۰/۱۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲۹	۸		خطا
	۳/۱۱	۵/۹۱	۰/۶۳	۴/۸۲	۲/۱۹	۱/۱۶	۰/۷۰			ضریب تغییرات

: عدم وجود اختلاف معنی دار، \*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪، \*\*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به تاثیر سطوح مختلف سایه و نوع چمن بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

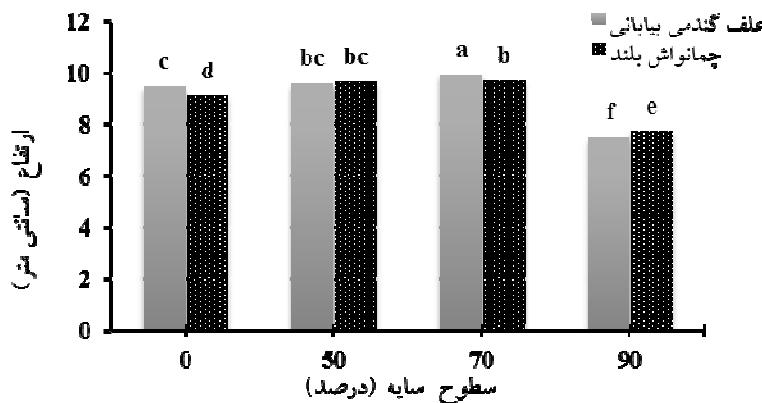
میانگین مربعات										منابع تغییرات
	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک اندام ریشه هوایی	وزن تراندام هوایی	وزن خشک ریشه هوایی	وزن خشک ریشه ریشه	وزن تر ریشه	وزن ریشه	درجه آزادی		سایه
	۲۸۳/۶**	۲۵۱۵/۷**	۱۲۶/۸**	۱۳۸/۲**	۱۳۸/۲**	۱۳۸/۲**	۱۳۸/۲**	۳		
	۱/۳ns	۳۷/۲ns	۰/۸ns	۰/۱ns	۰/۱ns	۰/۱ns	۰/۱ns	۸		تکرار×سایه
	۱۴۳۸/۹**	۵۴۱۷/۴**	۵۹۸/۰**	۴۱/۹**	۴۱/۹**	۴۱/۹**	۴۱/۹**	۱		گونه
	۲۸۰/۲**	۷۶۰/۶**	۲۶/۷**	۲۵/۹**	۲۵/۹**	۲۵/۹**	۲۵/۹**	۳		سایه×گونه
	۰/۷	۲۴/۵۶	۰/۶۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۸		خطا
	۶/۱	۱۵/۵	۵/۸	۱۰/۷	۶/۸	۶/۸	۶/۸			ضریب تغییرات

: عدم وجود اختلاف معنی دار، \*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪، \*\*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

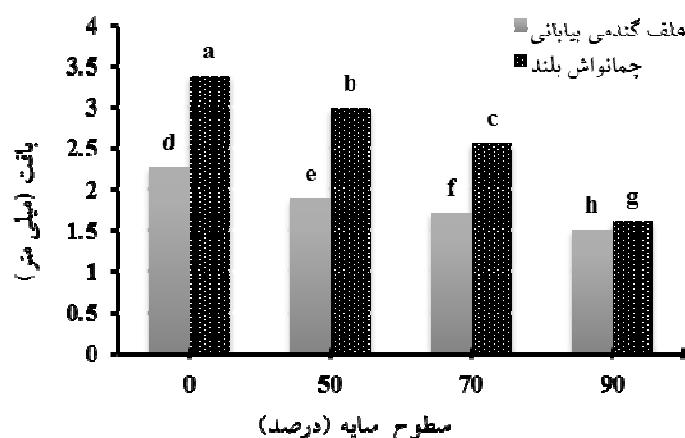


شکل ۱- اثر سطوح مختلف سایه‌دهی بر میزان رنگ چمن علف گندمی بیابانی و چمن‌واش بلند (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند).

ارتفاع بیشتری را نشان داد (شکل ۲). رای گراس چند ساله (*Lolium prenne*) در شرایط سایه، افزایش ارتفاع و رشد عمودی گیاه مشاهده شده است در چمن‌های حساس به سایه مانند پوآ (*Poa pratensis*) و



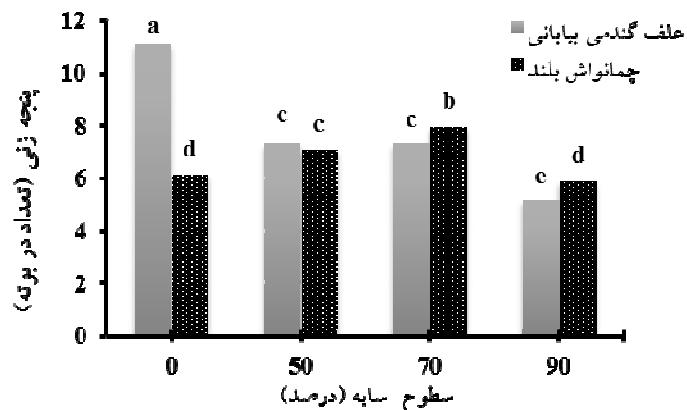
شکل ۲- اثر سطوح مختلف سایه‌دهی بر ارتفاع علف گندمی بیابانی و چمانواش بلند (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند).



شکل ۳- اثر سطوح مختلف سایه‌دهی بر بافت (عرض) برگ علف گندمی بیابانی و چمانواش بلند (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند).

(Faust *et al.*, 2005) نیز گزارش شده است. بافت و قدرت پنجه زنی: نتایج بر همکنش سایه و گونه بر بافت (عرض برگ) نشان داد که در هر دو گونه با افزایش سطوح سایه بافت برگ مناسب‌تر گردید بطوریکه بیشترین عرض برگ در سایه صفر و ظریف ترین بافت در سایه ۹۰ درصد دیده شد. در کلیه سطوح سایه، گونه چمانواش بلند نسبت به علف گندمی بیابانی بافت خشن‌تری (عریض‌تر) داشت. درصد کاهش بافت در سطوح سایه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد نسبت به نور کامل در گونه چمانواش بلند به ترتیب ۱۱، ۲۴ و ۵۲ درصد و در گونه علف گندمی بیابانی ۱۶، ۲۴ و ۳۳ درصد بود (شکل ۳).

(Dudeck and Peacock, 1992) در شرایط سایه، چمن با افزایش ارتفاع از آن اجتناب می‌کند که این مکانیسم خود موجب مشکلات بعدی برای گیاه و مشکلات مدیریتی می‌گردد. این افزایش ارتفاع ممکن است در اثر تولید بیش از حد جیبرلین بویژه GA<sub>1</sub> (Tan and Qian, 2003) و در برخی موارد اکسین باشد (Pessarakli, 2008). تولید این هورمونها تحت تاثیر پاسخهای نوری برخی گیرندهای نوری از جمله فتوتروپینها (phototropins)، کرپتوکرومها (cryptochromes) و فیتوکرومها (phytochromes) قرار می‌گیرد (Folta, 2003; Kawai, 2003) کاهش ارتفاع در سطوح شدید سایه در گیاهان دیگر نظیر لیسیانتوس (رهنمون فر و همکاران، ۱۳۹۱) و گل جعفری



شکل ۴- اثر سطوح مختلف سایه‌دهی بر پنجه‌زنی علف گندمی بیابانی و چمانواش بلند (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

بلند راهکاری در جهت افزایش رشد جانبی و به دنبال آن افزایش سطح جذب فوتون‌های نوری می‌باشد. وزن تر و خشک اندام هوایی: با توجه به جدول (۴) وزن تر اندام هوایی تحت تاثیر افزایش شدت سایه در هر دو گونه کاهش یافت. به طوری که در هر دو گونه بیشترین وزن تر اندام هوایی متعلق به سایه صفر و کمترین وزن تر اندام هوایی متعلق به سایه ۹۰ درصد بود. درصد کاهش وزن تر اندام هوایی در سطوح سایه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد نسبت به نور کامل در گونه چمانواش بلند به ترتیب ۴۶، ۵۶ و ۸۰ درصد و در گونه علف گندمی بیابانی ۴۲، ۶۰ و ۶۷ درصد محاسبه شد. در تمامی سطوح سایه، وزن تر اندام هوایی گونه چمانواش بلند بیشتر از گونه علف گندمی بیابانی بود. همچنین وزن خشک اندام هوایی علف گندمی بیابانی تحت تاثیر سایه قرار نگرفت اما در گونه چمانواش بلند، سایه بر وزن خشک اندام هوایی موثر بود و باعث کاهش وزن خشک گردید به طوری که بین سایه صفر با سایر سطوح سایه تفاوت معنی‌دار شد. به غیر از سایه صفر که وزن خشک اندام هوایی گونه چمانواش بلند بیشتر از علف گندمی بیابانی بود در سایر سطوح بین دو گونه تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۴).

کاهش وزن اندام هوایی بر اثر سایه در گیاهان متعددی از جمله لیسیانتوس *Eustoma grandiflorum* (رهنمون فر و همکاران، ۱۳۹۱)، فیکوس بنجامین *Ficus benjamina*

همچنین با توجه به نتایج بدست آمده از اثر مقابل سایه و گونه مشخص گردید که با افزایش سطوح سایه، قدرت پنجه‌زنی در گونه علف گندمی بیابانی کاسته شد به طوری که در این گونه بیشترین و کمترین قدرت پنجه‌زنی به ترتیب در نور کامل و سایه ۹۰ درصد مشاهده گردید. در گونه چمانواش بلند، پنجه‌زنی با افزایش سطوح سایه (تا سطح سایه ۷۰ درصد) نه تنها کاهش نیافت بلکه افزایش معنی‌داری را نسبت به نور کامل نشان داد. در این گونه کمترین قدرت پنجه‌زنی در نور کامل و سایه ۹۰ درصد بوده است (شکل ۴).

برخی پژوهش‌ها موید کاهش بافت و قدرت پنجه‌زنی در شرایط سایه بوده‌اند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Pessarakli, 2008). چمنهای حساس به سایه پوآ (*Lolium preenne*) و رای گراس چند ساله (*Poa pratensis*) در شرایط سایه دارای برگ‌هایی با بافت باریک‌تر و پنجه‌زنی کمتر بودند (Dudeck and Peacock, 1992).

کاهش شدت نور سبب کاهش ستز ساکاراز در گیاه و به دنبال آن کاهش پنجه‌زنی، تراکم و بافت برگ می‌گردد (Wherley et al., 2005). گونه‌های مقاوم به سایه از نظر فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی دارای انعطاف پذیری بالایی جهت جذب نور و فتوستز در شرایط سایه می‌باشند (Kubiske et al., 1996). به نظر می‌رسد افزایش پنجه‌زنی همراه با افزایش سطوح سایه (تا ۷۰ درصد) در گونه چمانواش

جدول ۴- برهمکنش سایه و گونه بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

سایه	گونه	(درصد)	وزن خشک اندام هوایی	وزن کل اندام هوایی	وزن کل ریشه	وزن خشک ریشه/اندام هوایی
			(گرم در گلدان)	(گرم در گلدان)	(گرم در گلدان)	وزن خشک
			وزن تر	وزن خشک	وزن تر	وزن خشک
			وزن خشک	وزن تر	وزن خشک	وزن تر
۰	آگروپایرون	۰	۱۲/۶۹ <sup>b</sup>	۱۵/۹۵ <sup>a</sup>	۱۰/۳۱ <sup>a</sup>	۳۴/۴۴ <sup>a</sup>
۰	فستوکا	۰	۲۸/۹۴ <sup>a</sup>	۲۷/۹۰ <sup>b</sup>	۵/۴۴ <sup>b</sup>	۶/۰۹ <sup>cd</sup>
۵۰	آگروپایرون	۵۰	۱۷/۴۲ <sup>c</sup>	۷/۱۸ <sup>b</sup>	۴/۹۶ <sup>bc</sup>	۲۵/۹۴ <sup>b</sup>
۵۰	فستوکا	۵۰	۴۷/۴ <sup>b</sup>	۱۵/۹۱ <sup>b</sup>	۴/۰۴ <sup>c</sup>	۷/۶۰ <sup>c</sup>
۷۰	آگروپایرون	۷۰	۱۱/۹۶ <sup>f</sup>	۷/۰۲ <sup>b</sup>	۲/۹۴ <sup>d</sup>	۲۳/۹۰ <sup>b</sup>
۷۰	فستوکا	۷۰	۳۹/۱۳ <sup>c</sup>	۱۴/۳۹ <sup>b</sup>	۱/۷۲ <sup>e</sup>	۴/۴۷ <sup>de</sup>
۹۰	آگروپایرون	۹۰	۹/۸۲ <sup>g</sup>	۸/۶۵ <sup>b</sup>	۰/۲۲ <sup>f</sup>	۲/۶۱ <sup>ef</sup>
۹۰	فستوکا	۹۰	۱۷/۴۱ <sup>c</sup>	۱۲/۷۱ <sup>b</sup>	۰/۰۴ <sup>f</sup>	۰/۳۲ <sup>f</sup>
LSD			۱/۵۴	۹/۳۳	۰/۰۹	۲/۷۲

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک باشند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون LSD ندارند. (آگروپایرون = علف گندمی بیابانی و فستوکا = چمانوаш بلند)

گونه بیشتر از اندام هوایی تحت تاثیر قرار گرفته است. نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در گونه علف گندمی بیابانی از سطوح متوسط سایه (۵۰ درصد) رو به کاهش گذاشت هر چند تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵۰ و ۷۰ درصد مشاهده نشد. اما در گونه چمانواش بلند بیشترین مقدار در سایه صفر و ۵۰ درصد (به ترتیب ۶/۰۹ و ۷/۶) و کمترین مقدار در سایه ۹۰ درصد (۰/۳۲) مشاهده شد. تنها در سطح سایه ۹۰ درصد تفاوت معنی‌داری بین دو گونه مشاهده نشد. در سایر سطوح سایه همواره نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در گونه علف گندمی بیابانی به صورت معنی‌داری بیشتر از چمانواش بلند بود (جدول ۴). کمتر بودن نسبت ریشه به اندام هوایی و تمایل گیاه به تولید اندام هوایی و رشد جانبی جهت افزایش جذب نور در گیاهان سازگار به نور پایین دیده شده است (Yang *et al.*, 2007). گزارش‌های زیادی مبنی بر کاهش وزن ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در شرایط تنفس سایه وجود دارد که کاملاً با یافته‌های پژوهش حاضر هماهنگی دارد (Wherley *et al.*, 2005; Dudeck and Peacock, 1992; Allard *et al.*, 1991; Wilkinson and Beard, 1974). زمانی که عامل محدود کننده رشد، کمبود شدت نور باشد چون شاخه‌ها منبع قویتری برای فتوستنتز می‌باشند، نسبت ریشه به

Ziziphus jujuba (Veneklaasa and Ouden, 2005) و عناب (Veneklaasa and Ouden, 2005) گزارش شده است. پژوهش‌ها نشان داده است که در شرایط سایه سطح فتوستنتزی برگ‌ها نسبت به وزن خشک افزایش یافته است که برای این کار گیاه از سلولز و لیگنین موجود در دیواره سلولی هزینه می‌نماید و در نهایت وزن اندام هوایی کاهش می‌یابد. از دیگر دلایل کاهش وزن خشک اندام هوایی، افزایش محتوای آب برگ‌ها در شرایط سایه (Pessarakli, 2008) و کاهش سطح نشاسته و قند محلول (Veneklaasa and Ouden, 2005) می‌باشد.

وزن تر و خشک ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی: با توجه به جدول (۴) با افزایش سطوح سایه در هر دو گونه وزن تر و خشک ریشه بطور معنی‌داری کاهش یافت. درصد کاهش وزن تر ریشه در سطوح سایه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد نسبت به نور کامل در گونه چمانواش بلند به ترتیب ۹۰، ۶۷ و ۹۷ درصد و در گونه علف گندمی بیابانی ۶۱، ۱۶ و ۹۵ درصد بود. همچنین درصد کاهش وزن خشک ریشه در سطوح سایه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد نسبت به نور کامل در گونه چمانواش بلند به ترتیب ۲۵، ۲۵ و ۹۹ درصد و در گونه علف گندمی بیابانی ۵۱، ۷۱ و ۹۷ درصد گزارش گردید. مشاهده می‌شود وزن ریشه در شرایط سایه ۷۰ و ۹۰ درصد در هر دو

کلروفیل را افزایش داد اما در سایه ۸۰ درصد میزان کلروفیل کاهش یافت که علت آن می‌تواند مربوط به آسیب فتوستزی در اثر تنش سایه باشد (Miralles *et al.*, 2011). در پژوهشی، Wherley و همکاران (۲۰۰۵) علت کاهش کلروفیل در سطوح نوری بالا را اکسیداسیون نوری کلروفیل دانستند در حالی که سطوح پایین نوری از تجزیه کلروفیل جلوگیری می‌کنند. فتوستز و هدایت روزنه ای: با توجه به جدول (۵) در گونه علف گندمی بیابانی با افزایش سطوح سایه تا ۷۰ درصد میزان فتوستز افزایش یافت اما سطوح شدید سایه (۹۰ درصد) باعث کاهش معنی‌دار فتوستز در این گونه گردید. درحالی‌که در گونه چمانواش بلند بیشترین میزان فتوستز در سایه ۵۰ درصد بود و در سطوح بالاتر (۷۰ و ۹۰ درصد) میزان فتوستز به صورت معنی‌داری کاهش یافت. در هر دو گونه کمترین میزان فتوستز در سایه شدید ۹۰ درصد بود و بین دو گونه در این سطح سایه تفاوت معنی‌داری دیده نشد. بیشترین میزان فتوستز در نور کامل و سایه ۷۰ درصد به ترتیب متعلق به گونه چمانواش بلند و علف گندمی بیابانی بود. در سایه ۵۰ درصد، بین دو گونه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین هدایت روزنها در گونه علف گندمی بیابانی با افزایش سطوح سایه کاهش یافت اما در گونه چمانواش بلند از سایه ۷۰ درصد شروع به کاهش کرد و تفاوت معنی‌داری بین نور کامل و سایه ۵۰ درصد مشاهده نشد. در هر دو گونه کمترین هدایت روزنها در سایه ۹۰ درصد مشاهده گردید. در نور کامل، سایه ۷۰ و ۹۰ درصد، گونه علف گندمی بیابانی هدایت روزنها ای بالاتری نسبت به گونه چمانواش بلند نشان داد اما در سایه ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری بین دو گونه مشاهده نشد (جدول ۵). گزارش‌های بسیاری نشان داده‌اند که کاهش شدت نور تا سطوح خاصی منجر به کاهش میزان فتوستز و هدایت روزنها در گیاهان می‌شود. در آزمایشی روی گیاه عناب، Miralles و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که سایه ۶۵ و ۸۰ درصد منجر به کاهش سرعت فتوستز و کاهش تراکم روزنها در طول دوره آزمایش گردید. همچنین Saifuddin (۲۰۱۰) در آزمایش روی گیاه گل کاغذی (*Bougainvillea glabra*)

شاخه برای هر دو گیاه *C<sub>3</sub>* و *C<sub>4</sub>* کاهش می‌یابد. البته کاهش ریشه، توانایی گیاه (چمن) را در خارج کردن رطوبت و مواد غذایی از خاک کاهش می‌دهد (Pessarakli, 2008).

**کلروفیل:** اثر متقابل سایه و گونه بر میزان کلروفیل در واحد وزن نشان داد که در هر دو گونه با افزایش سطوح سایه میزان کلروفیل افزایش یافت (جدول ۵). در هر دو گونه کمترین و بیشترین میزان کلروفیل در واحد وزن به ترتیب در نور کامل و در سایه ۹۰ درصد مشاهده گردید. در نور کامل و سایه ۵۰ درصد، گونه علف گندمی بیابانی نسبت به چمانواش بلند میزان کلروفیل بیشتری را نشان داد. تفاوت معنی‌داری بین دو گونه در سایه ۷۰ درصد مشاهده نشد. در سایه شدید ۹۰ درصد، گونه چمانواش بلند بطور معنی‌داری از میزان کلروفیل بیشتری برخوردار بود (جدول ۵).

بر اساس آزمایش‌های انجام شده میزان کلروفیل برگ‌های رشد یافته در سایه در واحد سطح برگ به دلیل کاهش تعداد سلولها و کلروپلاستها، کمتر می‌باشد درحالی‌که میزان کلروفیل در واحد وزن و حجم در سایه‌های ملایم افزایش می‌یابد (Wherley *et al.*, 2005; Winstead and Ward, 1974) همچنین پیشنهاد شده است که افزایش ساخت کلروفیل با بکارگیری نور توسط برگ‌ها مرتبط می‌باشد (Dai *et al.*, 2009). بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با کاهش شدت نور، میزان کلروفیل افزایش یافته است (Beard, 1997). طی آزمایشی نشان داده شد که سطوح سایه پایین (۳۵ درصد) بر چمن‌های فصل سرد از جمله رای گراس Van Huylenbroeck and (Van Bockstaele, 2001) باعث افزایش کلروفیل می‌گردد (Festuca rubra). همچنین در چمن‌های سردسیری پرآ (Poa pratensis) و فستوکای قرمز (Wilkinson and Beard, 1974) سایه باعث افزایش میزان کلروفیل گردید (Heptacodium miconioides). در گیاه زیستی (*Poa pratensis*) با کاهش شدت نور، میزان کلروفیل برگ‌ها افزایش یافت؛ اما در شدت نور بسیار پایین (کمتر از ۳۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) میزان کلروفیل کاهش یافت (Liu *et al.*, 2006). نتایج نشان داد که در درخت عناب، سایه ۲۵، ۵۰ و ۶۵ درصد، میزان

هدایت روزنه‌ای گردد.

### نتیجه گیری:

نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد که بهترین سطح نوری مورد استفاده برای گونه علف گندمی بیابانی با توجه به دارا بودن بیشترین رنگ، بافت، قدرت پنجه زنی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی و هدایت روزنه‌ای؛ شرایط نور کامل می‌باشد. همچنین به نظر می‌رسد در گونه چمانوаш بلند، سایه ۵۰ درصد با دارا بودن رنگ، قدرت پنجه زنی، نسبت ریشه به اندام هوایی و فتوستتر بیشتر نسبت به نور کامل شرایط نوری مناسب‌تری برای این گونه باشد. هر چند این گونه با توجه به رنگ و قدرت پنجه-زنی بالا، سایه ۷۰ درصد را نیز تا حدودی تحمل کرده است. مقایسه دو گونه نشان می‌دهد که در شرایط نور کامل و کلیه سطوح سایه، گونه چمانواش بلند نسبت به علف گندمی بیابانی از نظر ویژگی‌های مناسب جهت کاربرد زیستی در فضای سبز از قبیل رنگ، ارتفاع، وزن تر و خشک اندام هوایی و فتوستتر بهتر عمل کرده است. هر دو گونه قادر به تحمل سایه شدید ۹۰ درصد نبودند، هر چند گونه چمانواش بلند به مراتب متتحمل‌تر از علف گندمی بیابانی بوده است.

کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را در سایه ۷۵ درصد و بیشترین میزان آن را در سایه ۵۰ درصد گزارش نمودند. در عبار، کاهش شدید نور (سایه ۸۰ درصد) باعث کاهش فعالیت شیمیایی فتوسیستم دو و فتوستتر گردید (Miralles *et al.*, 2011). در گونه علف گندمی بیابانی، افزایش سایه تا سطح ۷۰ درصد باعث افزایش فتوستتر گردید اما با در نظر گرفتن کاهش هدایت روزنه‌ای با افزایش سطوح سایه و با توجه به این عقیده کلی مبنی بر اینکه افزایش سایه باعث کاهش تبخیر و تعرق (Feldhake *et al.*, 1983) و به دنبال آن افزایش تنفس نوری می‌گردد (Pessarakli, 2008)، به نظر می‌رسد افزایش فتوستتر نتوانسته بر تنفس نوری فائق آید که گواه این ادعا، کاهش زیست‌توده گیاهی و پنجه زنی می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که افزایش فتوستتر در سایه لزوماً دلیل بر افزایش کارایی گیاه نیست و نیاز به بررسی سرعت تنفس نیز می‌باشد. همچنین احتمالاً بخشی از کاهش فتوستتر بر اثر سایه به دلیل کاهش سنتز آنزیم‌های موثر در فتوستتر می‌باشد. در شرایط سایه و به دنبال از بین رفتن پلاستیدها و کاهش نواحی استرومایی کلروپلاستها، میزان آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز (RuBP) کاهش می‌یابد (Prioul *et al.*, 1980). تراکم روزنه‌ای چمن‌های C<sub>3</sub> هم اغلب با کاهش شدت نور کاهش می‌یابد (Allard *et al.*, 1991). کاهش تراکم روزنه‌ای خود می‌تواند باعث کاهش

### منابع:

- Rhehmon, F., M. (۱۳۹۰). تأثیر سایه، مواد آلی و زمان کاشت بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گل لیسیانتوس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- Alexander, C. W. and McCloud, D. E. (1962) CO<sub>2</sub> uptake (net photosynthesis) as influenced by light intensity of isolated bermudagrass leaves contrasted to that of swards under various clipping regimes. *Crop Science* 2: 132–135.
- Allard, G., Nelson, C. J. and Pallardy, S. G. (1991) Shade effects on growth of tall fescue: I. Leaf anatomy and dry matter partitioning. *Crop Science* 31: 163–167.
- Beard, J. B. (1973) *Turfgrass: Science and Culture*.
- Prentice Hall, Inc. 658 pp.
- Beard, J. B. (1997) Shade stresses and adaptation mechanisms of turfgrasses. *International Turfgrass Society Research Journal* 8: 1186–1195.
- Bell, G. E., Danneberger, T. K. and McMahon, M. J. (2000) Spectral irradiance available for turfgrass growth in sun and shade. *Crop Science* 40: 189–195.
- Dai, Y., Shen, Z., Liua, Y., Wang, L., Hannaway, D. and Lu, H. (2009) Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. *Environmental and Experimental Botany* 65: 177–182.
- Daniel, G. O., Loren, S. T. J. and Jensen, K. B. (2001) Crested Wheatgrass (*Agropyron cristatum*) and *Agropyron desertorum* accessions. *Canadian Journal Plant Science* 70: 707–716.
- Dudeck, A. E. and Peacock, C. H. (1992) Shade and turfgrass culture. In: *Turfgrass, Agronomy*

- ٤٣
- Prioul, J.-L., Brangeon, J. and Reyss, A. (1980) Interaction between external and internal conditions in the development of photosynthetic features in a grass leaf. I. Regional responses along a leaf during and after low-light or high-light acclimation. *Plant Physiology* 66: 762–769.
- Saifuddin, M., Hossain, A. M. B. and Normaniza, S. (2010) Impact of shading on flower formation and longevity, leaf chlorophyll and growth of *Bougainvillea glabra*. *Plant Science* 1682-3974.
- Schnyder, H. and Nelson, C. J. (1989). Growth rate and assimilate partitioning in the elongation zone of tall fescue leaf blades at high and low irradiance. *Plant Physiology* 90: 1201–1206.
- Stanford, R. L. (2005) Temperature, nitrogen and light effects on hybrid bermudagrass growth and development. *Crop Science* 45: 2491–2496.
- Tan, Z. G. and Qian, Y. L. (2003) Light intensity affects gibberellic acid content in Kentucky bluegrass. *HortScience* 38: 113-116.
- Tegg, R. S. and Lane, P. A. (2004) A comparison of the performance and growth of a range of turfgrass species under shade. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 353–358.
- Van Huylebroeck, J. M. and Van Bockstaele, E. (2001) Effects of shading on photosynthetic capacity and growth of turfgrass species. *International Turfgrass Society Research Journal* 9: 353–359.
- Veneklaasa, E. J. and Ouden, F. d. (2005) Dynamics of non-structural carbohydrates in two ficus species after transfer to deep shade. *Environmental and Experimental Botany* 54: 148–154.
- Wherley, B. G., Gardner, D. S. and Metzger, J. D. (2005) Tall fescue photomorphogenesis as influenced by changes in the spectral composition and light intensity. *Crop Science* 45: 562–568.
- Wilkinson, J. F. and Beard, J. B. (1974) Morphological responses of *Poa pratensis* and *Festuca rubra* to reduced light intensity. 2<sup>nd</sup> International Turfgrass Research Conference, Blacksburg, Virginia, United States.
- Winstead, C. W. and Ward, C. Y. (1974) Persistence of southern turfgrasses in a shade environment, in Proc. 2<sup>nd</sup> International Turfgrass Research Conference, Blacksburg, Virginia, United States.
- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q. and Yin, H. J. (2007) Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosynthetica* 45: 613-619.
- Monograph 32 (eds. Waddington, D.V., Carrow, R.N. and Shearman, R.C.). Pp. 269–284. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Faust, J. E., Holcombe, V. Rajapakse, N. C. and Layne D. R.. (2005) The effect of daily light integral on bedding plant growth and flowering. *HortScience* 40: 645–649.
- Feldhake, C. M., Danielson, R. E. and Butler, J. D. (1983) Turfgrass evapotranspiration. I. Factors influencing rate in urban environments. *Agronomy Journal* 75: 824–830.
- Folta, K. M. (2003) Genomic and physiological studies of early cryptochrome 1 action demonstrate roles for auxin and gibberellin in the control of hypocotyls growth by blue light. *Plant Journal* 36: 203–214.
- Gardner, D. S. and Taylor, J. A. (2002) Change over time in quality and cover of various turfgrass species and cultivars maintained in shade. *Hort Technology* 12: 465–469.
- Goss, R. M. (2002) Trinexapac-ethyl and nitrogen effects on creeping bentgrass grown under reduced light conditions. *Crop Science* 42: 472–479.
- Kawai, H. (2003) Responses of ferns to red light are mediated by an unconventional photoreceptor. *Nature* 421: 287–290.
- Kubiske, M. E., Abrams, M. D. and Mostoller, S. A. (1996) Stomatal and nonstomatal limitations on photosynthesis in relation to the drought and shade tolerance of tree species in open and understory environments. *Trees* 11: 76–82.
- Lichtenhaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. In: *Methods Enzymol* (eds. Douce, R. and Packer, L.) Pp.350-382. Academic Press Inc, New York.
- Liu, P., Yang, Y. S., Xu, G. and Hao, C. (2006) Physiological response of rare and endangered seven-son-flower (*Heptacodium miconioides*) to light stress under habitat fragmentation. *Environmental and Experimental Botany* 57: 32-40.
- Madison, J. H. (1971) *Practical Turfgrass Management*. Van Nostrand Reinhold Co, New York.
- Miralles, J., MartínezSánchez, J. J., Francoa, J. A. and Bañón, S. (2011) *Rhamnus alaternus* growth under four simulated shade environments: Morphological, anatomical and physiological responses. *Scientia Horticulturae* 127: 562–570.
- Pessarakli, M. (2008) Hand book of turfgrass management and physiology. In: *Shade Stress and Management* (eds. Clinton, J. and Gardner, D.S.) Pp. 447-472. CRC Press, Arizona.