"مجله علوم زراعی ایران"
جلد هیجدهم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۵

اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشد و عملکرد اکوتیپ‌های حنا (*Lowsonia inermis* L.) در منطقه شهداد

Effect of plant density on growth indices and yield of henna (*Lowsonia inermis* L.) ecotypes in Shahdad region of Iran

امین پسندی پور[۱] و حسن فرح بخش[۲]

چکیده

پسندی پور، ا. و ح. فرح بخش. ۱۳۹٦. اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشد و عملکرد اکوتیپ‌های حنا (*Lowsonia inermis* L.) در منطقه شهداد. **مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(٤): ۳٤٦-۳۳٤.**

به منظور ارزیابی اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشد، فتوسنتز و عملکرد خشک برگ سه اکوتیپ حنا (*Lowsonia inermis* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در بخش شهداد شهرستان کرمان در سال ۹۵-۱۳۹٤ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه اکوتیپ حنا (بم، شهداد و رودبار) به عنوان فاکتور اول و چهار تراکم بوته (۱۰۰، ۵۰، ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع به‌ترتیب معادل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۹ سانتیمتر فاصله کاشت روی ردیف با فواصل ردیف ثابت ۲۰ سانتیمتر) به عنوان فاکتور دوم بودند. صفات گیاهی اندازه‌گیری شده شامل تعدادی از شاخص‌های رشد، فتوسنتز خالص، میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای بودند. نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های حنای مورد ارزیابی در کلیه شاخص‌های اندازه‌گیری شده، به جز شاخص سطح برگ، نسبت سطح برگ و دوام سطح برگ، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند و بیشترین مقادیر صفات، مربوط به اکوتیپ شهداد بود. بین تیمارهای تراکم بوته نیز از لحاظ کلیه صفات اندازه‌گیری شده، به جز سطح مخصوص برگ، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل اکوتیپ و تراکم بوته فقط برای صفات دوام سطح برگ، دوام وزن خشک و میزان تعرق معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد برگ خشک (عملکرد اقتصادی گیاه) از اکوتیپ‌های شهداد (۵۰۸/۲ گرم در متر مربع)، رودبار (۵۰٦/٤ گرم در متر مربع) و تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (۷۳۸/٦ گرم در متر مربع) بدست آمد. با توجه به حصول حداکثر عملکرد برگ خشک در حداکثر تراکم بوته می‌توان نتیجه گرفت که تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع، مناسب‌ترین تراکم کاشت برای گیاه حنا در سال اول کاشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل رشد، حنا، شاخص سطح برگ، فتوسنتز و فواصل ردیف کاشت.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

۱- دانشجوی دکتری زراعت و عضو انجمن پژوهشگران جوان دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار دانشگاه شهید باهنر کرمان. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: hfarahbakhsh@yahoo.com)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

مقدمه

تراکم مطلوب بوته تراکمی است که در نتیجه آن کلیه عوامل محیطی به طور کامل مورد استفاده گیاه قرار گرفته و در عین حال رقابت‌های درون بوته‌ای و بین بوته‌ای در حداقل باشند تا حداکثر عملکرد ممکن با کیفیت مطلوب بدست آید (Khajehpour, 2006). تراکم کاشت به عوامل مختلفی مانند خصوصیات گیاه زراعی و طول دوره رشد آن، زمان و روش کاشت، حاصلخیزی خاک، مدیریت مزرعه و روش برداشت بستگی دارد (Nour-Mohamadi *et al*., 2010). تجزیه و تحلیل کمی رشد شناخت بهتری از نحوه توزیع و انباشت مواد پرورده فتوسنتزی در اندام‌های مختلف گیاه را فراهم می‌کند. نحوه توزیع و تراکم بوته در مزرعه بر جذب و بهره‌وری گیاه از عوامل محیطی موثر بر رشد اثر داشته و از طریق تغییر در شاخص‌های رشد، عملکرد گیاه در واحد سطح را تعیین می‌کنند. سرعت بسته شدن پوشش گیاهی، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی و میزان جذب و تحلیل خالص از جمله شاخص‌هایی هستند که غالبا برای ارزیابی توان تولیدی گیاه و بهره‌وری از عوامل محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Johnson and Hanson, 2003). اگرچه تحقیقات وسیعی در زمینه تراکم کاشت در بسیاری از گیاهان زراعی انجام شده است، ولی گیاهانی هستند که هیچ‌گونه تحقیقی در این رابطه روی آنها انجام نشده است.

حنا (*Lowsonia inermis* L.) از خانواده Lythraceae از جمله گیاهانی است که علیرغم سطح زیر کشت قابل توجه آن در کشور، متاسفانه چندان مورد توجه محققان و پژوهشگران بخش کشاورزی قرار نگرفته است. این گیاه بومی شمال آفریقا بوده و در کشور هند و کشورهای خاورمیانه از جمله ایران، به صورت تجاری کشت می‌شود. قسمت مورد استفاده این گیاه بوته‌ای چندساله، برگ‌های آن است که کوچک، بیضوی، نوک تیز، لبه‌دار و قهوه‌ای متمایل به سبز تا قهوه‌ای تیره و به صورت متقابل روی شاخه قرار دارند. میوه قهوه‌ای رنگ این گیاه، از نوع کپسول است که در زمان رسیدن به صورت نامنظم باز شده و دارای چهار قسمت است. هر بوته تعداد زیادی بذر تولید می‌کند. بذرهای گیاه حنا هرمی، صاف، سخت و به رنگ قهوه‌ای متمایل به خرمایی هستند که اندازه آنها دو میلی‌متر است (Chaudhary *et al*., 2010). محصول حنا در دو تا سه چین با فاصله دو ماه، قابل برداشت است. اولین چین حنا، مرغوب‌ترین و بهترین چین بوده و در مقایسه با چین‌های دیگر، ارزش اقتصادی بالاتری دارد (Farahbakhsh and Pasandi Pour, 2017). برداشت حنا بسته به نوع اقلیم و تعداد چین، از تیر تا آبان صورت می‌گیرد. برگ‌های حنا حاوی ماده‌ای رنگی به نام لاوسون یا ۲- هیدروکسی ناپتو کوینیون، گلیکوزیدهای فنلی متعدد، کومارین، گزانتون، کینوئید، گلیکوزید، بتاسیتوسترول و فلاونوئیدهایی نظیر لوتئولین و شش درصد چربی، دو تا سه درصد رزین، هفت تا هشت درصد تانن و ۱/۲ درصد اسانس می باشد (Trease and Evans, 1996).

پراکنش کاشت گیاه حنا در استان کرمان محدود به شهرستان‌های بم، شهداد، کهنوج و رودبار جنوب است. سطح زیر کشت حنا در این مناطق بین حداقل ۳ هکتار با متوسط عملکرد ۱/۴ تن در هکتار مربوط به شهرستان شهداد و حداکثر ۷۵۰۰ هکتار با متوسط عملکرد ۶/۵ تن در هکتار مربوط به شهرستان رودبار جنوب، متغیر است (Farahbakhsh *et al*., 2017). بیشترین پراکنش کاشت این گیاه (۹۸/۱۲ درصد) در محدوده ارتفاعی ۴۵۰ تا ۵۱۱ متر و کمترین میزان پراکنش (۱/۸۷ درصد) در ارتفاع ۱۰۸۰ متر از سطح دریا، گزارش شده است (Farahbakhsh *et al*., 2017). حد پایین گسترش مناطق زیر کشت گیاه حنا از نظر ارتفاع از سطح دریا ۴۵۰ متر (در شهرستان شهداد) و حد بالای آن ۱۰۸۰ متر (در شهرستان بم) می‌باشد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

میزان بارندگی سالانه مناطق زیر کشت گیاه حنا در استان کرمان در دامنه ۲۸/۳۵ تا ۱۴۳/۵ میلی‌متر متغیر بوده و بیشترین و کمترین میزان بارش به ترتیب در مناطق کهنوج و شهداد ثبت شده است. برای مناطق یاد شده متوسط رطوبت نسبی ۳۳/۶ درصد و متوسط دمای سالانه ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Farahbakhsh *et al*., 2017).

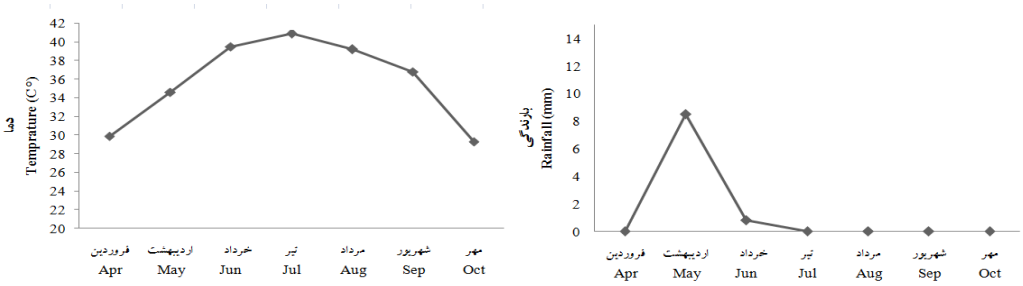
امروزه کشت و کار گیاه دارویی- صنعتی حنا به شیوه کاملا سنتی با سطح بالایی از صرف منابع انجام می‌شود، از این رو جهت بهبود این شرایط لزوم انجام تحقیقات گسترده در زمینه‌های مختلف بوم شناختی این گیاه احساس می‌شود. تقریبا هیچ‌گونه اطلاعاتی در زمینه مقایسه عملکرد اکوتیپ‌های حنا در تراکم‌های مختلف کاشت وجود ندارد و نه تنها تراکم مطلوب کاشت مشخص نیست، بلکه اثر تغییر تراکم بر شاخص‌های رشد و میزان فتوسنتز آن نیز بررسی نشده است. هدف از اجرای این تحقیق، تجزیه و تحلیل کمّی اثر تراکم کاشت بر شاخص‌های رشد و فتوسنتز گیاه حنا و مقایسه اکوتیپ‌های شهداد، بم و رودبار در شرایط آب و هوایی شهر شهداد بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۹۵-۱۳۹۴ به صورت مزرعه‌ای در شهر شهداد به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. شهداد یکی از بخش‌های شهرستان کرمان و در ۸۷ کیلومتری شمال شرق شهر کرمان با مختصات ۵۷ درجه و ۴۲ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۴۵۰ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین دراز مدت بارندگی در این شهر ۲۸/۳۵ میلی‌متر، میانگین دراز مدت دمای سالانه هوا ۲۷//۴۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۱/۸۴ درصد می‌باشد. تغییرات دما و بارندگی این منطقه در طول اجرای این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در شکل ۱ نشان داده شده است.

تیمارهای آزمایشی شامل سه اکوتیپ حنا (بم، شهداد و رودبار) به عنوان فاکتور اول و چهار تراکم بوته (۱۰۰، ۵۰، ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع به‌ترتیب معادل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۹ سانتیمتر فاصله کاشت روی ردیف) به عنوان فاکتور دوم بودند. به‌دلیل ریز بودن بذور و مشکلات جوانه زنی اقدام به تهیه گیاهچه‌های حنا در خزانه شد. انتقال گیاهچه‌ها به زمین اصلی در اواسط خرداد و در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی صورت گرفت. زمین محل اجرای آزمایش در سال‌های قبل به صورت آیش بوده و عملیات تهیه زمین دو هفته قبل از کاشت انجام شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

نشاکاری گیاهچه‌ها در کرت‌هایی با پنج خط کاشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر در طول یک



شکل ۱- تغییرات دما و بارندگی محل اجرای آزمایش در طول سال ۱۳۹۵ در شهداد

Fig. 1. Temperature and precipitation rates in Shahdad, Iran (2016)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of soil in experimental site

Soil Properties	خصوصیات خاک	عمق خاک Soil depth (0-30 cm)	عمق خاک Soil depth (30-60 cm)
Texture	بافت خاک	Sandy-Loam	Loam
Nitrogen (%)	نیتروژن (درصد)	0.03	0.03
Phosphorus (mg.kg^{-1})	فسفر	13	14
Potassium (mg.kg^{-1})	پتاسیم	225	238
Organic matter (%)	ماده آلی	0.05	0.05
pH	اسیدیته	7.92	8.05
EC (dS.m^{-1})	هدایت الکتریکی	4.12	4.24

متر انجام شد. در طول دوره رشد، علف‌های هرز کرت‌ها چندین بار با دست وجین شدند. آبیاری به صورت غرقابی و هر هفت روز یکبار انجام شد. میزان فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و تعرق در اوایل دوره گلدهی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز (CI-340, CID Bio- Science, USA) اندازه‌گیری شدند. برای این کار پنج بوته از ردیف وسط هر کرت آزمایشی انتخاب و اندازه‌گیری‌ها بین ساعات ۱۱ تا ۱۴ روی برگ‌های توسعه یافته انتهایی گیاه انجام شد (رابطه‌های ۱ و ۲ و ۳).

$$P_n = -W \times (C_o - C_i) - 200539 \frac{V \times P}{T_a \times A}(C_o - C_i)$$ (رابطه ۱)

$$E = \frac{e_o - e_i}{p - e_o} \times W \times 10^3$$ (رابطه ۲)

$$C_{leaf} = \frac{W}{\frac{e_{leaf} - e_o}{e_o - e_i} \times \frac{p - e_o}{p} - R_b W} \times 1000$$ (رابطه ۳)

P_n: سرعت فتوسنتز خالص (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)، W: سرعت جریان ماده در برگ (مول بر مترمربع بر ثانیه)، C_o و C_i: به ترتیب غلظت CO_2 خارجی و داخلی برگ (میکرومول بر مول)، V: حجم محفظه برگ (لیتر)، P: فشار اتمسفر (بار)، T_a: دمای هوا (درجه کلوین)، A: سطح برگ (سانتی مترمربع)، E: سرعت تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)، e_o و e_i: به‌ترتیب فشار بخار آب خارجی و داخلی برگ (بار)، e_{leaf}: فشار بخار آب استاندارد در دمای برگ (بار) و R_b: مقاومت لایه مرزی برگ می‌باشند.

در اواسط آبان با برداشت گیاهان از ارتفاع پنج سانتی‌متری سطح خاک و خشکاندن آنها در آون تهویه‌دار در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل محاسبه شدند. شاخص‌های رشد شامل شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، نسبت سطح برگ (LAR)، سطح مخصوص برگ (SLA)، وزن مخصوص برگ (SLW)، دوام سطح برگ (LAD) و دوام وزن خشک (BMD) محاسبه شدند. نمونه‌برداری از بوته‌ها در دو مرحله (اوایل و اواسط شهریور) انجام و جهت محاسبه شاخص‌های رشد از روابط زیر استفاده شد (Koocheki and Sarmadnia, 2006):

$$CGR = \frac{1}{GA} \times \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$$ (رابطه ۴)

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1}$$ (رابطه ۵)

$$LAE = \frac{1}{G} \times \frac{LA_2 + LA_1}{2}$$ (رابطه ۶)

$$LAR = \frac{\frac{LA_2}{W_2} + \frac{LA_1}{W_1}}{2}$$ (رابطه ۷)

$$SLA = \frac{\frac{LA_2}{LW_2} + \frac{LA_1}{LW_1}}{2}$$ (رابطه ۸)

$$SLW = \frac{\frac{LW_2}{LA_2} + \frac{LW_1}{LA_1}}{2}$$ (رابطه ۹)

$$LAD = \frac{LA_2 + LA_1}{2} \times (T_2 - T_1)$$ (رابطه ۱۰)

$$BMD = \frac{W_2 + W_1}{2} \times (T_2 - T_1)$$ (رابطه ۱۱)

LA: سطح برگ، GA: سطح زمین، W: وزن خشک کل، T: زمان، ln: لگاریتم بر پایه طبیعی و LW: وزن خشک برگ می‌باشند. داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS v. 9.1 و MSTATC تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد، فتوسنتز و عملکرد اکوتیپ‌های حنا در منطقه شهداد

Fig. 2. Mean comparison of growth indices, photosynthesis and yield of henna ecotypes in Shahdad region, Iran

اکوتیپ‌های حنا Henna ecotypes	سرعت رشد گیاه CGR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	سرعت رشد نسبی RGR ($g.g^{-1}.day^{-1}$)	سطح مخصوص برگ SLA ($cm^2.g^{-1}$)	وزن مخصوص برگ SLW ($g.cm^{-2}$)	سرعت فتوسنتز خالص Net photosynthesis rate ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)	عملکرد ماده خشک کل Total dry matter yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد برگ خشک Leaf dry matter yield ($g.m^{-2}$)
شهداد Shahdad	9.98a	0.016a	85.84b	0.012a	25.63a	233.1a	970.5a	508.2a
رودبار Roudbar	10.04a	0.016a	87.89b	0.011b	26.03a	229.6a	947.3a	506.4a
بم Bam	9.23b	0.015b	91.65a	0.011b	23.03b	213.1b	889.8b	470.8b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد، فتوسنتز و عملکرد اکوتیپ‌های حنا در تیمارهای تراکم بوته در منطقه شهداد

Fig. 3. Mean comparison of growth indices, photosynthesis and yield of henna ecotypes in plant density treatments in Shahdad region, Iran

تراکم بوته Plant density ($plant.m^{-2}$)	سرعت رشد گیاه CGR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	سرعت رشد نسبی RGR ($g.g^{-1}.day^{-1}$)	شاخص سطح برگ LAI	نسبت سطح برگ LAR ($cm^2.g^{-1}$)	وزن مخصوص برگ SLW ($g.cm^{-2}$)	سرعت فتوسنتز خالص Net photosynthetic rate ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)	عملکرد ماده خشک کل Total dry mass yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد برگ خشک Leaf dry mass yield ($g.m^{-2}$)
100	13.97a	0.015b	4.43a	47.43a	0.0114b	22.40b	207b	1447a	738.6a
50	10.83b	0.015b	3.15b	43.67b	0.0120a	25.98a	230.6a	1055b	579.1b
33	8.16c	0.017a	2.17c	45.04b	0.0114b	25.59a	229a	708c	378.2c
25	6.04d	0.016a	1.63d	45.06b	0.0114b	25.62a	234.4a	532d	284.6d

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اکوتیپ و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد برای سرعت رشد گیاه معنی‌دار بودند. بیشترین سرعت رشد گیاه مربوط به اکوتیپ رودبار بود که تفاوت معنی‌داری با اکوتیپ شهداد نداشت، درحالی‌که تفاوت بین اکوتیپ بم که دارای کمترین سرعت رشد گیاه بود، با اکوتیپ‌های رودبار و شهداد معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش تراکم بوته منجر به افزایش معنی‌دار سرعت رشد گیاه گردید و بیشترین و کمترین مقدار آن (به‌ترتیب ۱۳/۹۷ و ۶/۰۴ گرم بر مترمربع در روز) مربوط به تراکم‌های ۱۰۰ و ۲۵ بوته در مترمربع بود (جدول ۳). مطابق با نتایج این تحقیق گزارش شده است که با افزایش تراکم در گیاه جو (Moradhajati and Shokuhfar, 2016) و آفتابگردان (Ghalandari *et al*., 2009)، سرعت رشد گیاه نیز افزایش یافت. افزایش سرعت رشد گیاه در فواصل کاشت کمتر را می‌توان به دلیل افزایش تعداد بوته‌ها در واحد سطح و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ دانست که در این تحقیق نیز با کاهش فواصل کاشت (افزایش تراکم بوته)، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت (جدول ۳).

تولید و تجمع ماده خشک را می‌توان با استفاده از دو شاخص سرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی که دو شاخص مهم در تجزیه و تحلیل رشد محسوب می‌شوند، مورد ارزیابی قرار داد. سرعت رشد نسبی نشان دهنده تجمع ماده خشک در واحد زمان و در واحد وزن خشک اولیه گیاه است و در طول فصل زراعی معمولا سیر نزولی دارد (Koocheki and Sarmadnia, 2006). نتایج نشان داد که بین اکوتیپ‌های حنا از نظر سرعت رشد نسبی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اکوتیپ‌های شهداد و رودبار با میانگین ۰/۰۱۶ گرم در گرم در روز به طور معنی‌داری در مقایسه با اکوتیپ بم، از سرعت رشد نسبی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۲). گزارش شده است که بین ارقام یک گونه گیاهی از نظر سرعت نسبی رشد تفاوت زیادی وجود دارد (Poorter, 1989) که این تفاوت می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد که در تغییر سرعت رشد نسبی گیاه موثر هستند. تیمارهای تراکم بوته نیز اثر معنی‌داری بر سرعت رشد نسبی گیاه داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تراکم‌های ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع (به ترتیب فواصل روی ردیف ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) نسبت به تراکم‌های ۱۰۰ و ۵۰ بوته در مترمربع (به ترتیب فواصل روی ردیف ۵ و ۱۰ سانتی-متر) از سرعت رشد نسبی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۳). مطابق با این نتایج گزارش شده است که با افزایش تراکم بوته، میانگین سرعت رشد نسبی در گیاه باقلا کاهش یافته و بیشترین مقدار آن در تراکم پایین‌تر بدست آمد (Sarmal *et al*., 1992).

شاخص سطح برگ نشان دهنده نسبت سطح برگ‌ها به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است، درحالی‌که نسبت سطح برگ نشان دهنده نسبت بین سطح پهنک یا بافت‌های فتوسنتز کننده به کل بافت‌های تنفس کننده یا وزن گیاه است (Koocheki and Sarmadnia, 2006). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر تراکم بوته برای این دو صفت معنی‌دار بود. بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۴۳) و نسبت سطح برگ (۴۷/۴۳ سانتی‌مترمربع بر گرم) از تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر) حاصل شد که نسبت به سایر تراکم‌ها، تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). کمترین شاخص سطح برگ (۱/۶۳) از تراکم ۲۵ بوته در مترمربع (۲۰ سانتی‌متر روی ردیف) بدست آمد. دلیل بالاتر بودن شاخص سطح برگ در فاصله کاشت روی ردیف ۵ سانتی‌متر می‌تواند بیشتر بودن تعداد گیاه در واحد سطح (۱۰۰ بوته در مترمربع) باشد. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مطابقت داشت

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

Armin *et al*., 2008; Moradhajati and Shokuhfar, 2016; Bannayan *et al*., 2010; Kuhlase *et al*., 2009).

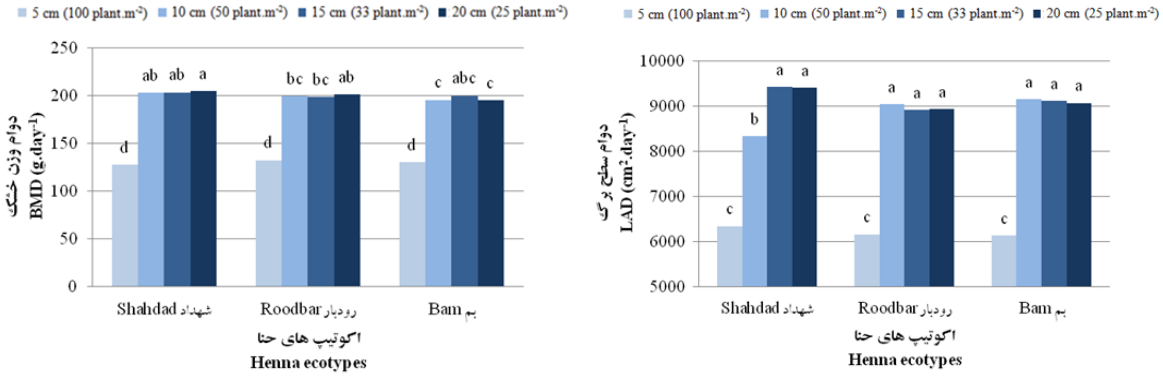
ضخامت برگ را می‌توان بر اساس دو شاخص سطح مخصوص برگ (SLA) و وزن مخصوص برگ (SLW) ارزیابی کرد. این دو شاخص عکس یکدیگر هستند، یعنی برگ‌های با SLA بالا و یا SLW پایین، نازک‌تر بوده، درحالی‌که برگ‌های با SLA پایین و یا SLW بالا، ضخیم‌تر هستند (Amanullah, 2015). سطح مخصوص برگ در اکثر گونه‌ها اغلب رابطه مثبتی با پتانسیل سرعت رشد نسبی دارد و بنابراین در تجزیه و تحلیل رشد مورد استفاده قرار می‌گیرد (Vile *et al*., 2005). نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های حنا اثر معنی‌داری بر شاخص SLA داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اکوتیپ بم SLA بالاتری نسبت به دو اکوتیپ شهداد و رودبار داشت (جدول ۲). هر دو تیمار اکوتیپ و تراکم بوته اثر معنی‌داری بر شاخص SLW داشتند. بیشترین مقدار SLW مربوط به اکوتیپ شهداد بود و بین دو اکوتیپ دیگر از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاهش تراکم از ۱۰۰ به ۵۰ بوته در مترمربع (افزایش فاصله کاشت از پنج به ۱۰ سانتی‌متر) باعث افزایش SLW و کاهش بیشتر تراکم (افزایش بیشتر فاصله کاشت)، مقدار آن را کاهش داد (جدول ۳). ضخامت برگ نقش مهمی در عملکرد برگ و گیاه ایفا می‌کند و با کارکرد گونه‌ها در دستیابی به منابع محیطی و استفاده از آنها در ارتباط است (Dong *et al*., 2011). به نظر می‌رسد که بالا بودن میانگین دمای دوره رشد و میانگین دمای سالیانه در منطقه شهداد نسبت به منطقه بم و رودبارجنوب تاثیر به سزایی در انتخاب راهکار کاهش سطح مخصوص برگ و افزایش وزن مخصوص برگ در اکوتیپ شهداد داشته است، درحالی که اکوتیپ بم راهکار عکس اکوتیپ شهداد را دارد، زیرا منطقه بم دارای شرایط دمایی خنک‌تری نسبت به منطقه شهداد است. مطابق با نتایج این تحقیق، در گیاه تاج‌خروس افزایش فاصله ردیف کاشت از ۴ به ۱۶ سانتی‌متر، مقدار SLW افزایش یافته و با افزایش بیشتر فاصله ردیف، از مقدار آن کاسته شد (Singh and Whitehead, 1993).

تراکم بوته (فاصله روی ردیف) و اثر متقابل اکوتیپ در فاصله روی ردیف، اثر معنی‌داری بر دوام سطح برگ داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین دوام سطح برگ در اکوتیپ‌های حنا مربوط به تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله کاشت پنج سانتی‌متر) بود و کاهش تراکم (افزایش فاصله کاشت) باعث افزایش معنی‌دار این شاخص گردید (شکل ۲). مطابق با نتایج این تحقیق، افزایش فاصله ردیف کاشت در کلزا نیز باعث افزایش مقدار دوام سطح برگ به دلیل فضای بیشتر بین بوته‌ها گردید (Morrison *et al*., 1990). در مقابل گزارش شده است که با افزایش تراکم، اندازه بوته‌ها کوچک‌تر شده و تعداد برگ و شاخص سطح برگ در هر بوته کاهش می‌یابد، اما افزایش تراکم بوته در واحد سطح باعث افزایش موارد یاد شده در واحد سطح شده و افزایش دوام سطح برگ را به‌دنبال دارد (Pourhadian and Khajepour, 2008). اثر متقابل اکوتیپ در تراکم بوته (فاصله روی ردیف) بر دوام وزن خشک معنی‌دار بود. صکمترین مقدار دوام وزن خشک در اکوتیپ‌های حنا به طور مشترک از فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر (۱۰۰ بوته در مترمربع) بدست آمد و بین سایر فواصل روی ردیف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

اندازه‌گیری فتوسنتز به منظور مقایسه میزان بهره‌وری تجمع ماده خشک در سطح برگ، گیاه و پوشش گیاهی و ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی و متغیرهایی از قبیل نور، دما و مواد غذایی خاک، انجام می‌گیرد. نتایج نشان داد که میزان فتوسنتز خالص تحت تاثیر هر دو نوع تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بیشترین میزان فتوسنتز خالص (۲۶/۰۳ میکرومول بر

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]



شکل ۲- اثر متقابل اکوتیپ و تراکم بوته (فاصله روی ردیف کاشت) بر دوام سطح برگ و دوام وزن خشک اکوتیپ‌های حنا در منطقه شهداد (ستون‌های داری حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری ندارند)

Fig. 2. Interaction effect of ecotype and plant density (intra row spacing) on LAD and BMD of henna ecotypes in Shahdad region, Iran (Columns with similar letters are not significantly different)

مترمربع بر ثانیه) مربوط به اکوتیپ رودبار بود که با اکوتیپ شهداد (۲۵/۶۳ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن (۲۳/۰۳ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) با اختلاف معنی‌دار، برای اکوتیپ بم ثبت شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان فتوسنتز خالص در تیمار ۱۰۰ بوته در مترمربع (۵ سانتی‌متر روی ردیف)، ۲۲/۴۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بوده وکاهش تراکم به ۵۰ بوته در مترمربع (۱۰ سانتی‌متر روی ردیف)، به طور معنی‌داری افزایش یافت و با کاهش بیشتر تراکم بوته (افزایش فاصله روی ردیف) روند ثابتی داشت (جدول ۳). در فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر پایین بودن فتوسنتز خالص در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع می‌تواند به دلیل بالا بودن رقابت بین بوته‌ها برای جذب نور و مواد غذایی، افزایش سایه اندازی و افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز خالص گیاه باشد. کاهش در میزان فتوسنتز خالص همراه با افزایش تراکم در گیاه گلرنگ (Tadayon, 2011) و کلزا (Sadeghi *et al.*, 2015) نیز گزارش شده است.

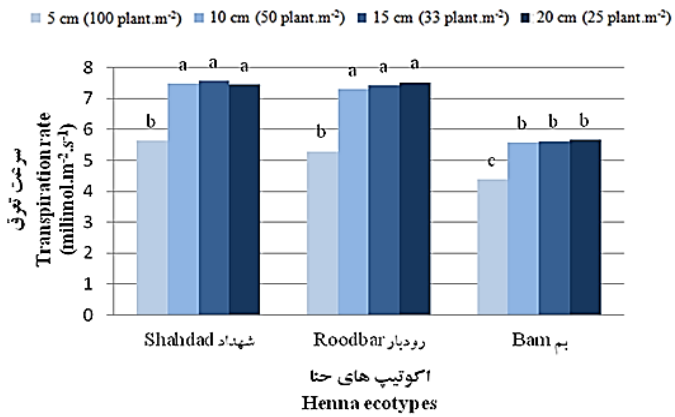
شدت تعرق تابع اختلاف فشار بخار آب، مقاومت در برابر جریان آب و توانایی گیاه و خاک از نظر انتقال آب به جایگاه تعرق می‌باشد. همچنین شدت تابش خورشید، دما، رطوبت نسبی و باد از سایر عوامل محیطی تاثیر گذار بر تعرق می‌باشند (Koocheki and Sarmadnia, 2006). نتایج نشان داد که اثرات ساده و متقابل مورد بررسی، اثر معنی‌داری بر سرعت تعرق گیاه حنا داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در اثر متقابل اکوتیپ در تراکم بوته کمترین میزان تعرق مربوط به اکوتیپ بم و در بین تیمارهای تراکم بوته، مربوط به تیمار ۱۰۰ بوته در مترمربع (۵ سانتی‌متر روی ردیف) بود (شکل ۳). بین اکوتیپ‌های حنا در تیمارهای تراکم ۵۰، ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع (فواصل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان تعرق وجود نداشت. به نظر می‌رسد که در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (بیشترین تراکم) به علت افزایش رطوبت نسبی پوشش گیاهی و کاهش رطوبت خاک به علت تراکم بالا، میزان تعرق کاهش یافته است. با توجه به اینکه تعرق روزنه‌ای نقش اصلی را در تنظیم دمای برگ دارد، با کاهش تعرق، دمای برگ افزایش یافته و منجر به کاهش میزان فتوسنتز گیاه می‌شود.

روزنه‌ها نقش مهمی را در کنترل تبادلات گازی،

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

تعرق و فتوسنتز گیاه ایفا می‌کنند. اندازه روزنه‌ها معمولا در پاسخ به عوامل محیطی و درونی تغییر کرده و این باعث می‌شود مقدار تعرق و هدایت روزنه‌ای تغییر یابد (Condon *et al.*, 2004). میزان هدایت روزنه‌ای در آزمایش حاضر تحت تاثیر اکوتیپ و تراکم بوته قرار گرفت و اثر متقابل تیمارها روی آن اثر معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به اکوتیپ شهداد (۲۳۳/۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) بود که تفاوت معنی‌داری با اکوتیپ بم (۲۱۳/۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) داشت (جدول ۲). تعداد روزنه در واحد سطح برگ در بین گونه‌های گیاهی و ارقام متفاوت است (Misirli *et al.*, 1998). مقایسه میانگین اثر تراکم بوته این صفت نشان داد که بین تراکم‌های ۵۰، ۳۳ و ۲۵ بوته در مترمربع (فواصل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله کاشت پنج سانتی‌متر) با اختلاف معنی‌داری، کمترین مقدار هدایت روزنه‌ای (۲۰۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). رقابت بر سر جذب آب در تراکم بالا، گیاهان را در معرض کمبود آب قرار داده و گیاهان از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، سعی در حفظ رطوبت خود دارند. کاهش در فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در شرایط کمبود رطوبت خاک در ارقام گندم دوروم گزارش شده است (Koc *et al.*, 2003).



شکل ۳- اثر متقابل اکوتیپ و تراکم بوته (فاصله روی ردیف کاشت) بر سرعت تعرق گیاه حنا در منطقه شهداد (ستون‌های داری حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری ندارند)

Fig. 3. Interaction effect of ecotype and plant density (intra row spacing) on evaporation rate of henna ecotypes in Shahdad region, Iran (Columns with similar letters are not significantly different)

گزارش شده است که افزایش بهره‌وری از عوامل محیطی همراه با افزایش تعداد بوته در واحد سطح، باعث افزایش وزن خشک بوته در واحد سطح می‌شود (Lopez-Bellido *et al.*, 2000). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اکوتیپ و تراکم بوته برای عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل معنی‌دار بودند. بیشترین عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل مربوط به اکوتیپ شهداد (به‌ترتیب ۵۰۸/۲ و ۹۷۰/۵ گرم در مترمربع) بود که اختلاف معنی‌داری با اکوتیپ بم (به‌ترتیب ۴۷۰/۸ و ۸۸۹/۸ گرم در مترمربع) داشت (جدول ۲). در این تحقیق کاهش تراکم بوته (افزایش فاصله روی ردیف کاشت) باعث کاهش معنی‌دار عملکرد برگ خشک و عملکرد ماده خشک کل گردید. بیشترین و کمترین مقدار این دو صفت به ترتیب مربوط به تراکم ۱۰۰ و ۲۵ بوته در مترمربع (فواصل کاشت پنج و ۲۰ سانتی‌متر) بدست

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

آمد (جدول ۳). با افزایش تراکم بوته، رقابت بین بوته‌ها به دلیل کاهش فضای قابل دسترس گیاه تشدید شده و باعث کاهش وزن خشک هر بوته می‌شود، اما افزایش تعداد بوته در مترمربع باعث جبران این کاهش شده و افزایش ماده خشک در واحد سطح را به‌دنبال دارد. کاهش تجمع ماده خشک در اثر افزایش فاصله ردیف کاشت در کلزا (Morrison *et al*., 1990) و سویا (Board *et al*., 1990) گزارش شده است. در تحقیق دیگری افزایش عملکرد خشک شبدر زیرزمینی با افزایش تراکم بوته در هکتار گزارش شد (Dorry and Heidari Sharifabad, 2004).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که به طور کلی بالاترین عملکرد برگ خشک برگ (عملکرد اقتصادی گیاه) از اکوتیپ‌های شهداد و رودبار بدست آمد که از نظر شرایط آب و هوایی خاستگاه آن، شباهت بیشتری نسبت به اکوتیپ بم با یکدیگر دارند. همچنین تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف کاشت پنج سانتی‌متر)، بالاترین میزان عملکرد را به خود اختصاص داد که این فاصله کاشت برای گیاه حنا در سال اول کاشت از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است، ولی برای سال‌های بعد و با توجه به رشد پیکره گیاه، اجرای عملیات تنک ضروری به نظر می‌رسد. با این وجود، نیاز به انجام مطالعات بیشتر به خصوص در مزارع حنا با سابقه کشت بیش از دو سال، برای دستیابی به اطلاعات تکمیلی در این زمینه وجود دارد.

منابع مورد استفاده

References

Amanullah. **2015**. Specific leaf area and specific leaf weight in small grain crops wheat, rye, barley and oats differ at various growth stages and NPK source. J. Plant Nutr. 38(11): 1694-1708.

Armin, M., G. Noormohammadi, E. Zand, M. Baghestani and F. Darvish. 2008. Study on some ecophysiological difference in more and less competitive winter wheat cultivars on competition with wild oat at different wheat densities. J. Pajouhesh Sazandegi. 80: 119-127. (In Persian with English abstract).

Bannayan, M., M. Rahmati, A. Ghani and H. Ghavidel. 2010. Quantitative analysis of growth and production of two local and commercial cultivars of radish (*Rhaphanus sativus* L.) in response to different levels of planting density. Iran. J. Field Crop Res. 8(6): 1002-1011. (In Persian with English abstract).

Board, J. E., B. G. Harville and A. M. Saxton. 1990. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow- row soybean. Agron. J. 82: 540-544.

Chaudhary, G., S. Goyal and P. Poonia. 2010. *Lawsonia inermis* Linnaeus: A Phytopharmacological Review. Int. J. Pharm. Sci. Drug Res. 2: 91-98.

Condon, A. G., R. A. Richards, G. J. Rebetzek and G. D. Farquhar. 2004. Breeding for high water use efficiency. Exp. Bot. 55: 2447-2460.

Dong, X., P. Nyren, B. Patton, B. Kreft and A. Nyren. 2011. How does cattle grazing affect the growth of grass leaves? Appl. Ecol. Environ. Res. 9: 311–331.

Dorry, M. A. and H. Heidari Sharifabad. 2004. Density effect on growth parameters and dry matter yield in subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). Iran. J. Range Desert Res. 11(1): 45-115. (In Persian with

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

English abstract).

Farahbakhsh, H. and A. Pasandi Pour. 2017. Physiological response of henna (*Lowsonia inermis* L.), medicinal-industrial plant, to application of salicylic acid under drought stress. J. Plant Proc. Func. 19(6): 15-28. (In Persian with English abstract).

Farahbakhsh, H., A. Pasandi Pour and R. Moradi. 2017. Assessing effect of climatic-management factors on yield and growth characteristics of henna (*Lowsonia inermis* L.) as a medicinal-industrial plant in Kerman province. Agroecol. (In Press). (In Persian with English abstract).

Ghalandari, R., F. Rhimzadeh Khoei, M. Tourchi and B. Behtari. 2009. Effect of plant density on growth and yield of three sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) as a second crop. J. Sustain. Agric. Prod. Sci. 2(20): 27-40. (In Persian with English abstract).

Johnson, B. L. and B. K. Hanson. 2003. Row-spacing interactions on spring canola performance in the Northern Great Plains. Agron. J. 95: 703-708.

Khajehpour, M. R. 2006. Principles and Fundamentals of Crop Production. Jahade-e-Daneshgahi Isfahan Press (In Persian).

Koc, M., C. Barutcular and I. Genc. 2003. Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in Mediterranean environment. Crop Sci. 43: 2089-2098.

Koocheki, A. and G. Sarmadnia. 2006. Physiology of Crop Plants. Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press (In Persian).

Kuhlase, L. M., E. M. Ossom and R. L. Rhykerd. 2009. Effects of plant populations on morphological and physiological parameters of intercropped sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Acad. J. Plant Sci. 2(1): 16-24.

Lopez-Bellido, L., M. Fuentes and J. E. Castillo. 2000. Growth and yield of white lupin under Mediterranean conditions: Effect of plant density. Agron. J. 92: 200-205.

Misirli, A., F. Topuz and N. Zeybekoglu. 1998. Research on variation of female and male figs in terms of leaf properties and stomatal distribution. Acta Hort. 480:129-132.

Moradhajati, P. and A. Shokuhfar. 2016. Growth analysis, yield and yield components of three barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) under different seeding rates. J. Crop Ecophysiol. 10(2): 461-476. (In Persian with English abstract).

Morrison, M. J., P. B. E. Mcvetty and R. Scar. 1990. Effect of altering plant density on growing characteristics of summer rape. Can. J. Plant Sci. 70: 139-149.

Nour-Mohamadi, G., A. Siadat and A. Kashani. 2010. Agronomy, Vol. 1. Cereal Crops. Shahid Chamran University Press (In Persian).

Poorter, H. 1989. Interspecific Variation in Relative Growth Rate: On Ecological Causes and Physiological Consequences. p. 45-68. In Lambers, et al., (Eds.) Causes and Consequences of Variation in Growth Rate

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

and Productivity of Higher Plants. SPB Academic Publishing.

Pourhadian, H. and M. R. Khajepour. 2008. Effects of row spacing and planting density on growth indices and yield of safflower, local variety of Isfahan Koseh in summer planting. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 11(42): 17-31. (In Persian with English abstract).

Sadeghi, H., H. Heidari Sharifabad, A. Hamidi, Gh. Noormohammadi and H. Madani. 2015. Effect of planting date and plant density on net photosynthesis, stomatal conductance, leaf chlorophyll index and grain yield of soybean in Moghan and Karaj areas. J. Plant Ecophysiol. 7(23): 83-94. (In Persian with English abstract).

Sarmal, P. C., S. K. Katyal and O. P. S. Verma. 1992. Growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus*) varieties in relation to fertility level and plant population. Indian J. Agron. 37: 285-289.

Singh, B. P., and W. F. Whitehead. 1993. Population density and soil pH effects on vegetable amaranth production. p. 562-564. In: J. Janick and J. E. Simon (Eds.), New Crops. Wiley, New York.

Tadayon, M. R. 2011. Effect of plant density and K, Zn elements on morpho-physiological and yield of safflower cultivars. Agron. J. 91: 88-95. (In Persian with English abstract).

Trease, G. E. and W. C. Evans. 1996. Treas and Evans Pharmacognosy (14th Ed.), Saunders, London, UK.

Vile, D., R. Garnier and B. Shipley. 2005. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. Ann. Bot. 96: 1129–1136.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]

Effect of plant density on growth indices and yield of henna (*Lowsonia inermis* L.) ecotypes in Shahdad region of Iran

Pasandi Pour, A[1]. and H. Farahbakhsh[2]

ABSTRACT

Pasandi Pour, A. and H. Farahbakhsh. 2017. Effect of plant density on growth indices and yield of henna (*Lowsonia inermis* L.) ecotypes in Shahdad region of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences. 18(4): 334-346. (In Persian).**

To investigate the effect of plant density on growth indices and photosynthesis of three henna (*Lowsonia inermis* L.) ecotypes a factorial experiment using randomized complete block design with three replications was carried out in the Shahdad region in Kerman province of Iran in 2015-2016. Three henna ecotypes (Bam, Shahdad and Roodbar) and four plant densities (100, 50, 33 and 25 plant.m^{-2} equivalent to on row spacing of 5, 10, 15 and 20 cm, respectively) were evaluated as the first and second experimenatl factors, respectively. Growth indices, net photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance were measured and analyzed. The results showed that ecotypes were significantly different for all measured traits except leaf area index (LAI), leaf area ratio (LAR) and leaf area duration (LAD). The highest averages of the measured traits belonged to Shahdad ecotype. A significant difference was observed between the levels of plant densities for all measured traits except for specific leaf area (SLA). The ecotype and plant density interaction had significant effect on leaf area duration (LAD), biomass duration (BMD) and transpiration rate. Consequently, the highest leaf dry yield (economically valuable part of the plant) was obtained from the Shahdad (508.2 g.m^{-2}) and Roodbar (506.4 g.m^{-2}) ecotypes and plant density of 100 plant.m^{-2} (738.6 g.m^{-2}). It can be concluded that 100 plant.m^{-2} is the most suitable plant density for henna in the first year of planting.

Key words: Growth analysis, Henna, Leaf area index, Photosynthesis, Row spacing.

Received: November, 2016 **Accepted: February, 2017**

1. Ph.D Student, Member of Young Researcher Society, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
2. Associate Prof., Shahid Bahonar University of Kerman, Iran (Corresponding author) (Email: hfarahbakhsh@yahoo.com)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-08]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1395.18.4.5.0]