

مطالعه پاسخ اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی

دیبا شیخی سنندجی¹ و علیرضا پیرزاد^{2*}

تاریخ دریافت: 1397/02/24

تاریخ پذیرش: 1397/05/21

پیرزاد، ع. و شیخی سنندجی، د. 1398. مطالعه خصوصیات اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی. بوم‌شناسی کشاورزی، 11 (3): 1105-1121.

چکیده:

با توجه به این که گیاهان در شرایط تنش ترکیبات اسمزی متفاوتی را سنتز می‌کنند، ممکن است که به کاربرد خارجی آن‌ها در برابر تنش پاسخ دهند. این آزمایش به منظور ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی، در سال 1395-1396 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عدم آبیاری (دیم) و یک نوبت آبیاری تکمیلی به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی اسمولیت‌ها شامل پرولین (0/2 گرم در لیتر)، گلاسیسین‌بتائین (0/2 گرم در لیتر)، ساکارز (100 گرم در لیتر) و آب‌مقطر (شاهد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. صفات مورد اندازه‌گیری بالنگوی شهری، شامل شاخص سبزی‌نگی، کارتنوئید، پرولین، گلاسیسین‌بتائین، کل کربوهیدرات‌های محلول، آب نسبی برگ، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، موسیلاژ، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، درصد روغن و عملکرد روغن بودند. نتایج نشان داد که شاخص سبزی‌نگی بالاتری در هر دو سطح دیم و آبیاری تکمیلی با کاربرد پرولین به‌دست آمد. کاربرد گلاسیسین‌بتائین میزان گلاسیسین‌بتائین و کربوهیدرات برگ را در هر دو سیستم کاشت کاهش داد. بیش‌ترین مقادیر عملکرد دانه (79/56 گرم در مترمربع در کشت دیم و 85/94 گرم در مترمربع در آبیاری تکمیلی) و عملکرد بیولوژیکی (250/25 گرم در مترمربع در کشت دیم و 492/65 گرم در مترمربع در آبیاری تکمیلی) مربوط به تیمار محلول‌پاشی ساکارز بود. هرچند محلول‌پاشی با پرولین و گلاسیسین‌بتائین هم عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش داد. پتاسیم برگی در تیمارهای محلول‌پاشی گیاهان آبیاری شده نسبت به شاهد کاهش نشان داد، ولی در کشت دیم این کاهش معنی‌دار نبود. با وجود تغییرات بسیار کم کارتنوئید برگی گیاهان دیم در پاسخ به تیمارهای محلول‌پاشی میزان آن در آبیاری تکمیلی با کاربرد پرولین و گلاسیسین‌بتائین کاهش زیادی نشان دادند. به‌طور کلی کاربرد خارجی اسمولیت‌ها (پرولین، گلاسیسین‌بتائین و ساکارز) و یا انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی از کاهش عملکرد بالنگوی شهری در شرایط دیم به‌طور چشمگیری جلوگیری خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، پرولین، روغن، گلاسیسین‌بتائین، موسیلاژ

مقدمه

iberica از تیره Lamiaceae بوده که در مناطق آذربایجان و بیش‌تر مناطق ایران در بین کشاورزان به‌نام قره زرک شناخته می‌شود (Ghorbani, 2004). بذرهاى بالنگوی شهری حاوی ترکیبات موسیلاژی می‌باشد. موسیلاژها به‌دلیل ویژگی‌های با ارزش از جمله پایدارکنندگی، سوسپانسیون‌کنندگی و امولسیون‌کنندگی، کاربردهای فراوانی در صنایع نساجی و داروسازی دارند (Nori-Shargh et al.,

گیاه دارویی بالنگوی شهری از جنس *Lallemantia* و گونه

1 و 2- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد (فیزیولوژی گیاهان زراعی) گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
(* نویسنده مسئول: (Email: a.pirzad@urmia.ac.ir
Doi: 10.22067/jag.v11i3.72715

یکی از رایج‌ترین این واکنش‌ها سنتز و تجمع ترکیب‌هایی با وزن مولکولی کم به نام حفاظت‌کننده‌های اسمزی می‌باشد. این ترکیبات، پتانسیل اسمزی درون سلول‌ها را کاهش می‌دهد و به حفظ تورژانس سلولی کمک می‌کند. یون‌های غیرآلی، یون‌های آلی، کربوهیدرات‌های محلول شامل قندها، اسیدهای آمینه (پرولین) و ترکیب‌های آمونیوم چهارگانه نظیر گلاسیسین‌بتائین حفاظت‌کننده‌های اسمزی هستند که در شرایط تنش رطوبتی در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابند (Soltani-Gard et al., 2010). قندهای محلول به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول نقش دارند و در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند که تعیین میزان قندهای محلول ممکن است روشی مفید در انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی باشد. پرولین باعث تنظیم اسمزی شده و همچنین به‌عنوان محافظ در برابر تنش عمل می‌کند. پرولین به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با ماکرو مولکول‌ها اثر متقابل دارند و این عامل باعث حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها در شرایط تنش می‌شود (Koc et al., 2010; Soltani-Gard et al., 2010).

گلاسیسین‌بتائین ساختار آنزیم و فعالیت آنزیم‌ها را پایدار ساخته و سبب نگهداری خاصیت غشاء سلولی در برابر اثرات تنش می‌گردد (Korkmaz et al., 2010). کورکماز و همکاران (Arazmjo et al., 2010) گزارشی کردند مصرف گلاسیسین‌بتائین غلظت کلروفیل را در گیاه فلفل تحت شرایط تنش در مقایسه با شاهد افزایش داد. مارتیگنون و ناکامایا (Martignone & Nakamaya, 1983) گزارشی کردند محلول‌پاشی ساکارز بر روی سویا باعث ذخیره انرژی سلولی شده و کربوهیدرات لازم برای تشکیل میوه را فراهم می‌کند. محلول‌پاشی پرولین در شرایط خشکی به‌طور قابل توجهی درصد و عملکرد اسانس را در گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) افزایش داد (Gamal EL-Din & Abd El-Wahed, 2005). مطالعه‌ای بر روی رشد، عملکرد و برخی از فعالیت‌های متابولیک در گیاه ازماک (*Lepidium sativum* L.) تحت فواصل مختلف آبیاری و محلول‌پاشی با پرولین در افزایش تحمل به خشکی گزارش گردید که محلول‌پاشی پرولین باعث بهبود مقاومت گیاهان تحت سطوح کم‌آبی می‌شود (Khalil & El-Noemani, 2012). ارزیابی کاربرد تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند ساکارز، پرولین و گلاسیسین‌بتائین به‌منظور جبران کاهش عملکرد، تحمل به خشکی گیاه بالنگوی شهری و معرفی این گیاه به‌عنوان یک گیاه مناسب و پربازده و

در درمان بیماری‌های کبد، کلیه و اختلالات عصبی کاربرد دارند (Amanzadeh et al., 2011). بذر بالنگوی شهری حاوی بیش از 30 درصد روغن خشک (Strasil & Kas, 2005) حاوی اسیدهای چرب شامل 6/5 درصد پالمیتیک، 1/8 درصد استئاریک، 10/3 درصد اولئیک، 10/8 درصد لینولئیک و 68 درصد اسید لینولیک می‌باشد. روغن این گیاه با درصد بالای اسید لینولئیک در کاربردهای صنعتی و غذایی در رقابت با گیاهانی مانند کتان موفق‌تر عمل می‌کند (Sane & Pirzad, 2018; Zlatanov et al., 2012).

گیاه بالنگو در اکثر مناطق کشت دیم و آبی آذربایجان از گیاهان مهم تناوبی بهاره است که زمان گل‌دهی آن در خرداد و تیرماه می‌باشد. دلیل سازگاری این گیاه به خشکی ناشی از وجود ژن‌های تحمل به خشکی می‌باشد (Ghorbani, 2004). خشکی رشد گیاهان، توسعه و عملکرد آن‌ها را در سرتاسر جهان محدود می‌سازد. به‌طوری‌که در اثر خشکی میانگین تولید گیاهی بیش از 50 درصد کاهش می‌یابد (Pei et al., 2013).

از نظر زراعت، خشکی شرایطی است که مقدار و پراکنش آب به اندازه‌ای نیست که گیاه بتواند عملکرد بالقوه خود را تولید کند که این موضوع باعث آسیب به گیاه و محدودیت در بروز پتانسیل ژنتیکی عملکرد می‌شود (Blum, 2011). آبیاری تکمیلی مصرف مقدار محدودی آب در گیاه زراعی در زمان نبود بارندگی می‌باشد تا آب کافی برای رشد گیاه به‌منظور افزایش و ثبات عملکرد تأمین شود. این مقدار آب داده‌شده به‌تنهایی برای تولید گیاه زراعی کافی نیست. بنابراین، از ویژگی‌های ضروری سیستم آبیاری تکمیلی، استفاده از آب باران به‌همراه کاربرد آبیاری می‌باشد (Oweis & Hachum, 2004). در یک مطالعه، اعمال یک تا سه نوبت آبیاری افزایش تدریجی و معنی‌داری را در عملکرد بیولوژیکی (بیوماس بخش هوایی ماشک دیم) نشان داد. این افزایش در کلیه گیاهان آبیاری شده (یک تا سه نوبت) در مقایسه با کشت دیم قابل توجه بود (Jalilian & Heydarzadeh, 2016). در تحقیقی که بر روی بالنگوی شهری در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی انجام شد افزایش عملکرد بیولوژیکی تحت آبیاری تکمیلی گزارش گردید (Farzi et al., 2016). عملکرد و رشد گیاهان تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله تنش کمبود آب می‌باشد که به‌علت روند غیرعادی فرآیندهای فیزیولوژیک در اثر تنش می‌باشد. واکنش گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی متفاوت است.

435
Potassium (mg.kg⁻¹)

به استناد آمار 40 ساله میانگین بارندگی سالیانه این منطقه 335 میلی متر و میانگین دمای سالیانه 11 درجه بوده است. منطقه نازلو واقع در 11 کیلومتری شمال غرب ارومیه با داشتن زمستان های سرد و مرطوب و تابستان های گرم و خشک جزو رژیم رطوبتی نیمه خشک محسوب (روش تعیین اقلیم دومارتن) می شود. دما و بارندگی ماهیانه دو سال منتهی به اجرای آزمایش (شکل 1) ارایه شده است.

پس از یک شخم پاییزه در آذرماه سال 1395، تسطیح زمین و کشت به صورت ردیفی انجام گرفت که فاصله بین ردیف ها 15 سانتی متر بود. بذرها از توده ها بومی کشت شده در سال های گذشته انتخاب شد. هر کرت شامل هشت ردیف کاشت به طول 200 سانتی متر بود. پس از سبز شدن و استقرار بوته ها، در مرحله پنج برگی گیاهان تا ایجاد تراکم 60 بوته (Koocheki et al., 2014; Sane & Pirzad, 2018) در هر متر طولی تنک شدند. در طول دوره رشد عملیات وجین به صورت دستی به منظور جلوگیری از رقابت علف های هرز با بالنگوی شهری انجام شد. اولین محلول پاشی در 28 اردیبهشت 1396 و مرحله دوم به فاصله دو هفته پس از آن انجام شد که هر دو مرحله محلول پاشی توسط سم پاش پستی کتابی با نازل نوع سبلاپی در زمان غروب آفتاب و به طور یکنواخت برای هر کرت بود. در 21 خرداد ماه تیمار آبیاری تکمیلی به صورت غرقاب انجام شد. نمونه برداری برای اندازه گیری صفات فیزیولوژیکی (پرویلین، گلاسیسین بتائین، کربوهیدرات های محلول در آب و عناصر غذایی برگ) در زمان 80 درصد گل دهی در تاریخ 29 خرداد صورت گرفت. نمونه ها بعد از توزین با دقت یک هزارم گرم داخل فویل پیچیده شده و تا زمان انجام آزمایش ها در دمای 80- درجه نگهداری شد. برداشت نهایی، در زمان رسیدگی بذر، برای به دست آوردن عملکرد دانه در دو تاریخ هفتم تیر ماه برای کشت عدم آبیاری و اول مرداد سال 1396 برای آبیاری تکمیلی انجام شد.

برای اندازه گیری صفات فیزیولوژیکی شامل محتوی نسبی آب برگ (RWC)¹، شاخص سبزیگی (SPAD)، پرویلین، کربوهیدرات های محلول، گلاسیسین بتائین و عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، نمونه های برگ در 170 روز پس از کاشت تهیه شدند.

1- RWC: Relative water content

جایگزینی محصولات رایج در این مناطق تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، از اهداف اصلی تحقیق حاضر بود.

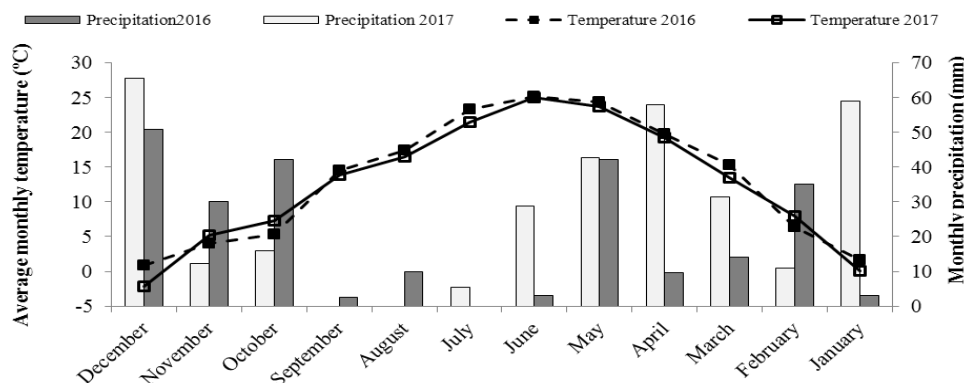
مواد و روش ها

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سال 96-1395 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه با طول جغرافیایی 45 درجه و 10 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 37 درجه و 44 دقیقه شمالی و ارتفاع 1338 متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت عدم آبیاری و یک نوبت آبیاری تکمیلی به عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول پاشی (آب مقطر به عنوان شاهد، ساکارز 100 گرم در لیتر، پرویلین 0/2 گرم در لیتر و گلاسیسین بتائین 0/2 گرم در لیتر تهیه شده از Merck) به عنوان عامل فرعی بودند. زمان یک نوبت آبیاری تکمیلی، حدود 60 درصد ظرفیت زراعی و مقدار آب آبیاری، رساندن رطوبت خاک به ظرفیت زراعی بود (Ghasemian et al., 2017). غلظت محلول پاشی ساکارز (Mashayekhi & Atashi, 2012)، پرویلین و گلاسیسین بتائین (Norouzi Baroogh, 2009) بر اساس نتایج تحقیقات قبلی انتخاب شدند. قبل از کاشت و تهیه بستر از پنج نقطه محل آزمایش از عمق 0-30 سانتی متری نمونه برداری و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول 1).

جدول 1- برخی خصوصیات خاک محل آزمایش

Table 1-The soil characteristics of experiment site

مشخصات Specifications	نتیجه Result
عمق Depth (cm)	0-30
اسیدیته pH	7.3
هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	1.42
بافت Texture	رسی-لومی Clay-loam
شن Sand (%)	21
سیلیت Silt (%)	37
رس Clay (%)	42
نیتروژن Nitrogen (%)	0.012
فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	9.2



شکل 1- دما و بارش سالیانه در سال زراعی 96-95 در شهرستان ارومیه
 Fig. 1- Monthly temperature and precipitation during growing season of 2016-2017 at Urmia city

هیدرین، پنج میلی لیتر اسید استیک گلابسیال به آن افزوده شد و مخلوط حاصله پس از به هم خوردن به مدت 45 دقیقه در حمام آب جوش (100 درجه سانتی گراد) قرار داده شد. سپس 10 میلی لیتر بنزن به هر کدام از نمونه‌ها افزوده شد. استانداردهایی از پرولین تهیه و در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در طول موج 515 نانومتر با اسپکتروفتومتر مدل PD-303 (ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شدند (Paquin & Lechasseur, 1997).

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات‌های محلول، 0/1 میلی لیتر از عصاره الکلی نگاهداری شده داخل لوله آزمایش ریخته شده و سه میلی لیتر آنترون تازه تهیه شده به آن افزوده شد. لوله‌های آزمایش به مدت 10 دقیقه در حمام آب جوش قرار داده پس از خنک شدن نمونه‌ها جذب آن‌ها در طول موج 625 نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Irrigoyen et al., 1992).

برای اندازه‌گیری گلاسیسین بتائین، 0/5 گرم از برگ‌های خشک و آسیاب شده گیاه با 20 میلی لیتر آب دو بار تقطیر مخلوط شد. محلول به مدت 48 ساعت در دمای 25 درجه سانتی گراد نگاهداری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها را از کاغذ صافی عبور داده شدند. نیم میلی لیتر از محلول رقیق شده با اسید سولفوریک دو نرمال در لوله‌های آزمایش به مدت یک ساعت در آب یخ قرار داده شدند و 0/2 میلی لیتر معرف دید-یدین پتاسیم خنک اضافه شد. محلول‌ها به مدت 16 ساعت در چهار درجه سانتی گراد قرار گرفتند و در 10000 دور برای 15 دقیقه و در دمای صفر درجه سانتی گراد

تعیین عملکرد دانه، استخراج موسیلاژ، استخراج روغن و اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه در انتهای فصل رشد (210 روز پس از کاشت دیم و 228 روز پس از کاشت برای تیمار آبیاری تکمیلی) پس از کاشت انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، دیسک‌هایی به اندازه یکسان تهیه شدند و وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه برداری (Fw)، وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر (Sw) و وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون 70 درجه سانتی گراد (Dw) اندازه‌گیری شدند. آب نسبی برگ با استفاده از معادله 1 محاسبه شد (Ritchie & Nguyen, 1990).

$$\text{معادله (1)} \quad \text{RWC (\%)} = [(Fw - Dw) / (Sw - Dw)] \times 100$$

برای اندازه‌گیری میزان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، 0/5 گرم از بافت تازه برگ‌ها به همراه پنج میلی لیتر اتانول 95٪ در داخل هاون چینی کوبیده شد. قسمت بالایی محلول حاصله جدا گشته و رسوبات آن دو بار با پنج میلی لیتر اتانول 70٪ شستشو شده و فاز بالایی آن به قسمت رویی قبل اضافه شد. محلول به دست آمده به مدت ده دقیقه با 35000 دور سانتریفوژ گردید و تا زمان اندازه‌گیری پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در یخچال نگاهداری شد (Irrigoyen et al., 1992).

برای اندازه‌گیری غلظت پرولین، یک میلی لیتر از عصاره الکلی تهیه شده را با 10 میلی لیتر آب مقطر رقیق نموده و پنج میلی لیتر معرف نین هیدرین به آن اضافه شد. پس از افزودن معرف نین

ابتدا عصاره به روش هضم با اسید کلریدریک تهیه شد. غلظت فسفر با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج 470 نانومتر اندازه گیری شد. اندازه گیری پتاسیم موجود در عصاره تهیه شده، به روش نشر شعله ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتر انجام گرفت (Chapman & Pratt, 1961).

در پایان دوره رشد، با حذف اثر حاشیه ای، یک مترمربع از هر کرت، اندام هوایی به منظور به دست آوردن عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در تاریخ های هفتم تیر (عدم آبیاری) و یکم مرداد (آبیاری تکمیلی) برداشت شدند. برای اندازه گیری اجزای عملکرد از بوته های برداشت شده از هر کرت به صورت تصادفی ده بوته انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته (سانتی متر)، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه داخل کپسول اندازه گیری شدند.

داده های به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

سانتریفوژ شدند. سپس فاز بالایی محلول را با میکرو پیت جدا شده و مقدار نه میلی لیتر 1-2-دی کلرواتان به آن اضافه گردید و بعد از دو ساعت در طول موج 365 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Grieve & Grattan, 1983).

برای اندازه گیری موسیلاژ، یک گرم بذر خشک را در 10 میلی لیتر اسید کلریدریک 0/1 نرمال جوشانده محلول موسیلاژ اولیه به دست می آید. سپس بذره های باقی مانده در ظرف اول دو بار و هر بار با پنج میلی لیتر آب جوش شسته و به محلول موسیلاژ اولیه اضافه شد. شصت میلی لیتر الکل اتیلیک 96٪ به محلول موسیلاژ به دست آمده اضافه و به مدت پنج ساعت در یخچال نگهداری شد. رسوب حاصل پس از صاف کردن در آن 50 درجه به مدت 12 ساعت قرار گرفته و توزین ماده جدا شده (موسیلاژ) با دقت 0/001 گرم انجام شد (Kalyanasundaram et al., 1982). برای تعیین درصد روغن بذور از روش سوکسوله استفاده گردید. نمونه ها به مدت شش ساعت و با حلال ان-هگزان در داخل سوکسوله قرار گرفتند. عملکرد روغن از حاصل ضرب عملکرد دانه و درصد روغن دانه به دست آمد.

درصد پروتئین برگ، توسط دستگاه کج دال مدل Vapodest 20 ساخت آلمان اندازه گیری شد. برای اندازه گیری عناصر پتاسیم و فسفر،

جدول 2- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی بر صفات فیزیولوژیک بالنگوی شهری تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 2- Analysis of variance for effect of foliar spray on physiological characteristics of *Lallemantia* in rainfed and supplemental irrigation conditions

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی df	شاخص سبزیگی SPAD	کارتنوئید Carotenoids	پرولین Proline	گلایسین	کل کربوهیدرات های	آب نسبی برگ RWC
					بتائین Glycine betaine	محلول Total soluble carbohydrate	
میانگین مربعات Mean of squares							
بلوک Block	2	1.9 ^{ns}	0.00014 ^{ns}	0.0000002 ^{ns}	0.056 ^{ns}	1.3 ^{ns}	71.6 ^{ns}
آبیاری Irrigation	1	162.7 ^{**}	0.0006 ^{ns}	0.0021 ^{**}	4.85 ^{**}	274.6 ^{**}	723.9 ^{**}
تکرار (آبیاری) Block (Irrigation)	2	5.1	0.00003	0.00003	0.062	2.7	142.8
محلول پاشی Foliar	3	111.3 ^{**}	0.007 ^{**}	0.0032 ^{**}	2.6 ^{**}	226.3 ^{**}	99.1 ^{ns}
آبیاری × محلول پاشی Foliar × Irrigation	3	63.5 ^{**}	0.014 ^{**}	0.000096 ^{**}	0.75 ^{**}	85.2 ^{**}	102.9 ^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	12	7.5	0.00013	0.000008	0.4	3.2	53.7
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		8.6	13.3	3.5	7.6	7.9	13.7

ns: غیر معنی دار، * و **: به ترتیب معنی دار سطح احتمال 5 و 1 درصد می باشند.

ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, respectively.

ادامه جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر محلول پاشی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و موسیلاژ بالنگوی شهری تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Continued Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effect of foliar spray on the seed yield and yield components, and mucilage of *Lallemantia* in rainfed and supplemental irrigation conditions

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	موسیلاژ Mucilage
بلوک Block	2	0.66 ^{ns}	0.07 ^{ns}	94.8 [*]	0.0006 ^{ns}	13.832 ^{ns}	25.240 ^{ns}	0.18 ^{ns}
آبیاری Irrigation	1	10.1 ^{**}	481.5 ^{**}	1135.7 ^{**}	0.00003 ^{ns}	814.136 ^{**}	5489.573 ^{**}	0.27 ^{ns}
تکرار (آبیاری) (Irrigation) lock	2	0.72	0.2004	83.0	0.002	4.439	20.387	0.98
محلول پاشی Foliar	3	70.9 ^{**}	135.7 ^{**}	1485 ^{**}	0.003 ^{ns}	9777.633 ^{**}	5660.005 ^{**}	1.1 ^{ns}
آبیاری × محلول پاشی Foliar × Irrigation	3	1.4 ^{ns}	38.3 ^{**}	8.7 ^{**}	0.002 ^{ns}	26.032 [*]	304.593 [*]	1.91 ^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	12	0.03	0.14	23.4	0.001	6.501	71.660	3.01
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		1.4	0.94	4.1	0.03	3.7	3.8	30.3

ns: غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار سطح احتمال 5 و 1 درصد می باشند.
ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, respectively.

ادامه جدول 2- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی بر عناصر برگ و روغن دانه (درصد و عملکرد) بالنگوی شهری تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Continued Table 2- Analysis of variance for effect of foliar spray on leaf nutrients and seed oil (percentage and yield) of *Lallemantia* in rainfed and supplemental irrigation conditions

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	فسفر برگ Leaf phosphorus	پتاسیم برگ Leaf potassium	نیترژن برگ Leaf nitrogen	درصد روغن Oil	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	0.016 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.0081 ^{ns}
آبیاری Irrigation	1	32.9 ^{**}	21.3 ^{**}	13.6 ^{ns}	21.4 ^{**}	0.0061 ^{ns}
تکرار (آبیاری) Block (irrigation)	2	0.0052	0.81	0.049	21.4	0.0061
محلول پاشی Foliar	3	8.2 ^{**}	0.23 [*]	11.2 ^{ns}	9.1 ^{ns}	0.023 ^{**}
آبیاری × محلول پاشی Foliar × Irrigation	3	6.9 ^{**}	7.9 [*]	8.1 ^{ns}	8.9 ^{ns}	0.0041 ^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	12	0.21	0.60	0.71	1.6	0.0018
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)		6.9	11.4	5.8	5.4	5.7

ns: غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار سطح احتمال 5 و 1 درصد می باشند.
ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, respectively.

نتایج و بحث

کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال 1% و بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، فسفر و پتاسیم برگ در سطح احتمال 5% معنی دار شد (جدول 2).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل بین آبیاری تکمیلی و محلول پاشی بر شاخص سبزیگی، کارتنوئید، پرولین، گلاسیسین بتائین، کل کربوهیدرات‌های محلول، تعداد

جدول 3- مقایسه میانگین‌های صفات بالنگوی شهری تحت تأثیر اثرات اصلی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های اسمزی و آبیاری
Table 3- Means comparison of mean *Lallemantia* traits under the influence of independent effects of foliar spray of osmotic adjustments, and irrigation

تیمار Treatment	آب نسبی برگ RWC (%)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	درصد روغن Oil (%)	عملکرد روغن Oil yield (g.m ⁻²)
آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation	48.0 ^a	35.3 ^a	22.9 ^b	-
دیم Rainfed	58.9 ^b	34.1 ^b	24.7 ^a	-
محلول‌پاشی Foliar				
آب مقطر Distilled water		33.1 ^b	-	0.66 ^b
ساکارز Sucrose		36.3 ^a	-	0.79 ^a
پرولین Proline		32.9 ^b	-	0.74 ^a
گلايسين بتائين Glycine betaine		36.5 ^a	-	0.78 ^a

*حروف مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت غیرمعنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

*The same letters in each column show non-significant differences based on Duncan's Multiple Range test ($P \leq 0.05$).

شاخص سبزی‌نگی

در رابطه با شاخص سبزی‌نگی بیش‌ترین مقدار آن مربوط به محلول‌پاشی پرولین تحت تیمار آبیاری تکمیلی (41/2) بود و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار ساکارز تحت تیمار دیم (23/1) بود. با اینکه شاخص سبزی‌نگی در کشت دیم کم‌تر از آبیاری تکمیلی بود، اما کاربرد محلول‌پاشی با پرولین در هر دو سیستم کاشت دارای بیش‌ترین تأثیر بر شاخص سبزی‌نگی بود. کاهش محتوی کلروفیل در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش عامل‌های لازم برای ساخت کلروفیل و تخریب ساختمان آن است که دلیل آن می‌تواند پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش خشکی باشد (Kadkhodae & Ehsanzadeh, 2011). محلول‌پاشی با ساکارز و گلايسين بتائين شاخص سبزی‌نگی را در هر دو سیستم دیم و آبیاری تکمیلی نسبت به شاهد (آب‌پاشی) افزایش ندادند (جدول 4). افزایش تولید پرولین تحت شرایط تنش موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش‌ماده ساخت پرولین و کلروفیل است کم‌تر در مسیر بیوسنتز کلروفیل شرکت داشته باشد و بیش‌تر به ساخت پرولین اختصاص یابد (Tewari & Singh, 1991). در این آزمایش به دلیل افزایش پرولین

خارجی به بافت برگ گلوتامات کم‌تری صرف ساخت پرولین شده و کلروفیل بیش‌تر تولید می‌شود به همین دلیل افزایش میزان کلروفیل در تیمار پرولین قابل توجیه است. هم‌چنین در شاهد گیاهان آبیاری شده بیش‌ترین میزان کارتنوئید برگی (0/13 میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد که با تیمار محلول‌پاشی با ساکارز تفاوتی نداشت. البته محلول‌پاشی پرولین کارتنوئید برگی را در بالنگو به شدت کاهش داد. این مقدار حتی در محلول‌پاشی گلايسين بتائين به حداقل (0/04 میلی‌گرم بر گرم) رسید. در کشت دیم بالنگو کارتنوئید برگی کم‌تر از گیاهان آبیاری شده بود و هیچ‌یک از تیمارهای محلول‌پاشی باعث افزایش چشمگیری در میزان آن نشدند (جدول 4). در یک بررسی بر روی بابونه مشاهده گردید که با افزایش میزان کمبود آب از میزان کلروفیل کاسته شده و بر میزان کارتنوئید افزوده می‌گردد (Arazmjo et al., 2010). کلروفیل نسبت به اکسیداسیون و بازدارندگی نوری حساس بوده و درحالی که نقش کارتنوئیدها به عنوان آنتی‌اکسیدانت و حفاظت‌کننده از کلروفیل است به همین دلیل انتظار می‌رود کاهش میزان کارتنوئید در محلول‌پاشی پرولین به علت افزایش میزان کلروفیل در همان تیمار باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفات بالنگوی شهری تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های اسمزی در دو سیستم کاشت دیم و آبیاری تکمیلی
Table 4- Means comparison of *Lallemantia* traits affected by foliar spray of osmotic adjustments in two rainfed and supplemental irrigation systems

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Foliar spray	شاخص سبزی‌نگی SPAD	کاروتنوئید Carotenoids	پرولین Proline	بتائین Glycine betaine	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates		تعداد کپسول Capsule No/plant	تعداد دانه در کپسول Seed No/ capsule	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک biological yield	فسفر برگ Phosphorus Potassium	
						(mg.g ⁻¹)	(g.m ⁻²)					(mg.g ⁻¹)	(mg.g ⁻¹)
آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation	آب مقطر Distilled water	36.1 ^{ba}	0.13 ^a	0.10 ^b	2.1 ^e	18.5 ^{ef}	41.1 ^e	125.0 ^b	60.58 ^e	207.27 ^{de}	8.4 ^b	7.4 ^{ab}	
	ساکارز Sucrose	32.1 ^{bc}	0.12 ^a	0.07 ^d	1.9 ^c	15.7 ^f	48.1 ^a	136.8 ^a	85.94 ^a	264.95 ^a	8.2 ^b	4.9 ^d	
	پرولین Proline	41.2 ^a	0.06 ^d	0.04 ^f	2.1 ^e	22.0 ^{cd}	45.3 ^c	118.5 ^{bc}	74.73 ^c	252.75 ^c	9.4 ^a	5.2 ^d	
	گلیسین بتائین Glycine betaine	27.2 ^{cd}	0.04 ^e	0.07 ^d	1.0 ^d	20.5 ^{cd}	46.0 ^b	117.5 ^{bc}	79.33 ^b	239.15 ^{bc}	5.0 ^{de}	5.6 ^{cd}	
آبیاری تکمیلی Rainfed	آب مقطر Distilled water	27.07 ^{cd}	0.074 ^{cd}	0.13 ^a	4.0 ^a	35.0 ^a	26.2 ^g	75.0 ^d	44.05 ^f	159.46 ^f	6.9 ^c	7.6 ^{ab}	
	ساکارز Sucrose	23.1 ^d	0.075 ^{cd}	0.09 ^e	3.0 ^b	23.5 ^{bc}	38.2 ^f	139.7 ^a	79.56 ^b	250.52 ^{ab}	5.6 ^d	6.9 ^{bc}	
	پرولین Proline	34.3 ^b	0.08 ^{bc}	0.06 ^e	2.1 ^e	26.6 ^b	42.7 ^d	113.5 ^c	62.41 ^e	198.43 ^c	4.3 ^e	8.6 ^a	
	گلیسین بتائین Glycine betaine	32.1 ^{bc}	0.09 ^b	0.09 ^e	2.0 ^c	18.8 ^{def}	37.6 ^f	114.5 ^c	67.95 ^d	214.71 ^d	4.9 ^{de}	7.5 ^{ab}	

*حروف مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

*The same letters in each column show non-significant differences based on Duncan's Multiple Range test ($P \leq 0.05$).

گرم) متعلق به گیاهان شاهد در کشت دیم بود که این میزان با یک نوبت آبیاری به نصف کاهش یافت. کاهش زیاد این تنظیم‌کننده اسمزی در آبیاری تکمیلی نشان می‌دهد که بالنگوی شهری از گیاهانی است که گلايسين بتائين در تنظيم اسمزی آن در شرایط خشکی نقش مؤثری دارد. همچنین محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های اسمزی نیز تولید گلايسين بتائين برگ را کاهش داد و بیش‌ترین کاهش مربوط به کاربرد گلايسين بتائين خارجی بود (جدول 4). گلايسين بتائين در بسیاری از گونه‌های گیاهی به میزان بالا در پاسخ به انواع تنش‌های محیطی سنتز می‌شود. به‌طور خاص بیش‌تر هالوفیت‌ها زمانی که در معرض تنش قرار می‌گیرند، گلايسين بتائين را به‌عنوان یک تعدیل‌کننده اسمزی در سلول‌های خود افزایش می‌دهند (Makela et al., 1996). با توجه به این که همه گیاهان گلايسين بتائين را به میزان کافی برای دفع اثرات سوء تنش‌های غیرزنده تولید نمی‌کنند، رهیافتی که برای افزایش غلظت این ترکیب در گیاهان برای افزایش تحمل به تنش در نظر گرفته شده است کاربرد خارجی این تعدیل‌کننده‌ها نظیر گلايسين بتائين در گیاهان تحت تنش به‌منظور افزایش تحمل آن‌ها می‌باشد (Ashraf & Foolad, 2007).

با اعمال تنش خشکی در کشت دیم میزان کل کربوهیدرات‌های محلول به‌شدت افزایش یافت. به عبارت دیگر، میزان کل کربوهیدرات‌های محلول در کشت دیم 90 درصد بیش‌تر از گیاهان آبیاری شده بود. البته کاربرد تنظیم‌کننده‌های اسمزی در کشت دیم باعث کاهش معنی‌دار کربوهیدرات‌های محلول شد ولی این کاهش در آبیاری تکمیلی فقط در تیمار ساکارز مشاهده شد. درحالی‌که کاربرد گلايسين بتائين بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در گیاهان آبیاری شده تأثیر معنی‌داری نداشت، محلول‌پاشی پرولین میزان آن را افزایش داد. محلول‌پاشی ساکارز میزان کربوهیدرات را در آبیاری تکمیلی به حداقل میزان خود رساند (جدول 4). در مجموع افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به‌علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول می‌شود، بیان کرد (Ghorbani, 2004). به‌دلیل مصرف قندها در سنتز متابولیت‌هایی چون پرولین در اندام هوایی شاید بتوان این‌گونه بیان کرد که با مصرف خارجی پرولین گیاه نیازی به مصرف قند برای سنتز این

پرولین برگی

در رابطه با صفت پرولین برگی میزان پرولین برگی بالنگو در شاهد (بدون کاربرد تنظیم‌کننده‌های اسمزی) در شرایط آبیاری تکمیلی کم‌تر از کشت دیم بود. با این حال، در هر دو سیستم دیم و آبیاری تکمیلی، کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی باعث کاهش معنی‌دار پرولین برگ شد که این کاهش در گیاهان آبیاری شده بیش‌تر بود. محلول‌پاشی ساکارز و گلايسين بتائين هر دو به یک اندازه تولید پرولین برگی بالنگو را کاهش دادند. ولی محلول‌پاشی پرولین باعث بیش‌ترین کاهش پرولین برگ در بالنگو شد. به طوری که میزان آن در کشت دیم (0/06 میلی‌گرم بر گرم) و آبیاری تکمیلی (0/04 میلی‌گرم بر گرم) به حداقل رسید (جدول 4). حبیبی و همکاران (Habibi et al., 2010) اظهار داشتند که افزایش پرولین در طی تنش خشکی ممکن است به‌خاطر تجزیه پروتئین‌ها باشد. فاروق و همکاران (Farooq et al., 2009) گزارش کردند که در شرایط تنش کم‌آبی و در نتیجه تجمع مواد محلول پتانسیل اسمزی سلول کاهش می‌یابد که در این حالت آب به درون سلول جذب و به حفظ حالت تورگر کمک می‌کند. با تدبیر تعدیل اسمزی فعالیت‌های سیتوپلاسمی و اندامک‌ها به گیاه کمک می‌کند تا به‌صورت کارآمدتری بتواند دوره رشد و فتوسنتز را تا پر شدن دانه به انجام برساند. افزایش غلظت و محتوی پرولین تحت شرایط تنش کم‌آبی ممکن است نشان‌دهنده نقش احتمالی این اسید آمینه در تنظیم اسمزی باشد. تاواری و سینگ (Tewari & Singh, 1991) بیان کردند که افزایش پرولین و کربوهیدرات‌های محلول تحت تنش ممکن است به‌علت شکستن پروتئین‌های غنی از پرولین یا به‌واسطه سنتز مجدد پرولین باشد. در پژوهش حاضر در اثر کاربرد خارجی پرولین و گلايسين بتائين تولید ترکیبات اسمزی داخل بافت گیاه را کاهش داده است. با توجه به این - که پرولین در بافت‌های گیاه در معرض تنش تجمع پیدا می‌کند، محلول‌پاشی این ترکیب، باعث تعدیل میزان پرولین در برگ شده و مقدار تولید این ماده در برگ به نفع سنتز کلروفیل (جدول 4) کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر گلو تامات بیش‌تر در مسیر سنتز کلروفیل حرکت می‌کند و به تولید پرولین اختصاص نمی‌یابد.

گلايسين بتائين

بیش‌ترین مقدار گلايسين بتائين در بافت برگی (4/0 میلی‌گرم بر

ترکیبات نداشته و میزان کربوهیدرات در این تیمار افزایش یافته است.

محتوی نسبی آب برگ

در رابطه با صفت محتوی نسبی آب برگ بالنگوی شهری در کاشت دیم بالاتر از آبیاری تکمیلی بود. با این حال، محلول پاشی تنظیم کننده های اسمزی نیز میزان آب نسبی برگ را تغییر نداد. به نظر می رسد حفظ آب نسبی بافت های فتوسنتزی (برگ) در شرایط وسیعی از تأمین آب، بالنگوی شهری را به عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی مطرح می کند (جدول 3). بالا بودن محتوی نسبی آب برگ در ژنوتیپ های متحمل به خشکی می تواند بخاطر وجود سازوکارهای کاهش دهنده تلفات آب از راه روزنه ها و یا به واسطه جذب بیش تر آب از طریق توسعه سیستم ریشه ای باشد (Rigoberto et al., 2004).

تعداد کپسول در بوته

در رابطه با صفت تعداد کپسول در بوته آبیاری تکمیلی در کلیه محلول پاشی ها باعث افزایش تعداد کپسول در بوته شد که بیش ترین مقدار مربوط به ساکارز و کم ترین تعداد کپسول در بوته مربوط به شاهد دیم بود. تعداد کپسول در بوته در تیمار ساکارز آبیاری تکمیلی در بیش ترین مقدار یعنی 45/1 کپسول در هر بوته قرار داشت. پس از آن تیمار گلاسیسین بتائین آبیاری تکمیلی با 46 کپسول در بوته در ردیف بعدی قرار داشت. محلول پاشی ساکارز و گلاسیسین بتائین در شرایط دیم سطوح یکسانی از تعداد کپسول در هر بوته را نشان دادند. کم ترین تعداد کپسول در بوته مربوط به شاهد (آب مقطر) کشت دیم بود (جدول 4).

عملکرد دانه

در رابطه با صفت عملکرد دانه نتایج نشان داد در همه تیمارهای آبیاری تکمیلی بیش تر از دیم بود و در محلول پاشی ساکارز به حداکثر میزان خود (85/44 گرم بر مترمربع) رسیده است و کم ترین مقدار عملکرد دانه مربوط به شاهد دیم (44 گرم بر مترمربع) بود. محلول پاشی ساکارز، گلاسیسین بتائین و پرولین به ترتیب بیش ترین افزایش عملکرد دانه را در هر دو سیستم کشت دیم و آبیاری تکمیلی نشان دادند. به طوری که کاربرد تنظیم کننده های اسمزی در کشت دیم عملکرد دانه را به مقدار بیش از عملکرد دانه گیاهان شاهد (بدون تیمار) در آبیاری تکمیلی افزایش داده است (جدول 4). این نتایج در

خصوص کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبی مطابق با گزارش ریچارد و همکاران (Richards et al., 2002) است که گزارش کردند گیاه برای مقابله با کم آبی بخشی از مواد پرورده را به ریشه برای توسعه سیستم ریشه منتقل نموده و در نتیجه سهم اختصاص یافته به تولید دانه کاسته می شود. هنگامی که خشکی در هر مرحله از رشد و نمو گیاه حادث شود، عملکرد کاهش قابل ملاحظه ای می یابد و بیش ترین کاهش زمانی است که خشکی در زمان شروع گل دهی اتفاق می افتد. هم چنین می توان افزایش عملکرد در آبیاری تکمیلی را ناشی از تقویت توانایی گیاه در تحمل به خشکی آخر فصل و افزایش سرعت پر شدن دانه و در نهایت سبب افزایش، بهبود و تثبیت عملکرد دانه در واحد سطح دانست. از طرف دیگر، تولید تنظیم کننده های اسمزی برای گیاه پر هزینه بوده و بخشی از ماده خشک تولیدی به جای صرف در رشد مقصدهای فیزیولوژیک اصلی گیاه در مسیر ساخت این اسمولیت ها قرار می گیرد. علاوه بر آن در مراحل مختلف رشد اندام های گیاهی برای دریافت آسمیلات ها با هم رقابت کرده و تخصیص مواد فتوسنتزی در بین اندام ها تحت تأثیر این رقابت قرار می گیرد. با توجه به این که در این تحقیق تنظیم کننده های اسمزی به صورت خارجی در اختیار گیاه قرار گرفته است، احتمال می رود ماده خشک تولیدی به طور کامل صرف پر شدن دانه شده باشد.

عملکرد بیولوژیکی

در رابطه با صفت عملکرد بیولوژیکی می توان گفت این صفت نشان دهنده ماده خشک کل تجمع یافته در اندام هوایی در زمان برداشت است. محلول پاشی ساکارز در هر دو سیستم دیم (250/52 گرم بر مترمربع) و آبیاری تکمیلی (264/95 گرم بر مترمربع) عملکرد بیولوژیکی را به طور چشم گیری افزایش داد. به طوری که اختلاف بین شرایط دیم و آبیاری تکمیلی ناچیز بود، اما نقش محلول پاشی پرولین و گلاسیسین بتائین در افزایش عملکرد در آبیاری تکمیلی بیش تر از دیم بود (جدول 4). شاهد (آب مقطر) در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی عملکرد کمی داشت، اما کم ترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به شاهد دیم (44 گرم بر مترمربع) بود (جدول 4). مشایخی و آتشی (Mashayekhi & Atashi, 2012) بیان داشتند که استفاده از تیمار ساکارز به صورت محلول پاشی سبب افزایش قند و به دنبال آن افزایش انرژی در دسترس برای گیاه می شود که احتمالاً دلیل افزایش عملکرد

مانند پتاسیم در محلول خاک به طور نسبی بیش تر از یون‌های دوظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد. اما به تدریج که خاک خشک می‌شود، کلونیدهای رس با قدرت بیش تری پتاسیم (یون‌های یک ظرفیتی) را به سطح خود جذب کرده و مانع از جدا شدن این یون‌ها می‌شوند (Kafi et al., 2008).

نیترژن

میزان نیترژن موجود در بافت گیاهی تحت تأثیر شرایط آبیاری تکمیلی و دیم معنی‌دار نشد. هم‌چنین هیچ‌کدام از تیمارهای محلول-پاشی نیز بر میزان نیترژن برگ تأثیر نداشتند (جدول 3). به نظر می‌رسد به علت تحرک بالای نیترژن در خاک و عدم تثبیت آن در خاک کمبود نیترژن در هیچ یک از تیمارها مشاهده نشده است. پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2010) در بابونه گزارش کردند که رژیم مختلف آبیاری تأثیری بر میزان جذب نیترژن ندارد.

ارتفاع بوته

در رابطه با صفت ارتفاع بوته بالنگوی شهری مشاهده شد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار آبیاری تکمیلی نسبت به گیاهان دیم افزایش داشت. محلول‌پاشی گلاسیسین‌بتائین و ساکارز (36 سانتی‌متر) بیش‌ترین افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد (33 سانتی‌متر) را نشان دادند (جدول 3). از اولین نشانه‌های کمبود آب کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌هاست. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها و ارتفاع کم‌تر گیاهان تشخیص داد. ارتفاع بوته مانند هر اندام رویشی و یا زایشی دیگر شدیداً تحت تأثیر آب قرار می‌گیرد (Erkossa et al., 2002). قلی زاده و همکاران (Gholizadeh et al., 2010) نیز کاهش طول ساقه بادرشو را تحت تنش خشکی گزارش کردند. گلاسیسین‌بتائین و ساکارز به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و به دنبال آن افزایش طولی شدن سلول باعث افزایش ارتفاع می‌شود که افزایش غلظت این ماده اثرات مثبت آن را با افزایش غلظت داخلی این مواد تشدید نموده است.

تیمار ساکارز به همین علت بوده است. گورهام و همکاران (Gorham et al., 2000) بیان کردند که کاربرد گلاسیسین‌بتائین باعث افزایش وزن خشک کل بوته‌های پنبه شد.

فسفر

در رابطه با میزان فسفر برگ بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فسفر برگ به ترتیب در کاربرد خارجی پرولین همراه با یک نوبت آبیاری تکمیلی (9/4 میلی‌گرم بر گرم) و کشت دیم (4/3 میلی‌گرم بر گرم) گزارش شد. میزان فسفر گزارش شده در تیمار دیم کم‌تر از آبیاری تکمیلی بود. کلیه تیمارهای محلول‌پاشی گیاهان دیم دارای فسفر برگ کم‌تری نسبت به گیاهان بدون محلول‌پاشی بودند (جدول 4). عدم تحرک فسفر در اسیدیته بالا و تثبیت آن، به‌ویژه در تنش‌های کمبود آب دلیل اصلی کاهش تجمع آن در بافت برگی در شرایط دیم می‌باشد (Devau et al., 2009). نتیجه فوق در خصوص کاهش میزان فسفر در تنش با نتیجه پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2010) بر روی بابونه آلمانی همسویی داشت. با توجه به اینکه فسفر از جمله پیش‌نیازهای ساخت پرولین می‌باشد (Marschner, 2002). در محلول‌پاشی پرولین با توجه به قرارگیری پرولین خارجی در اختیار گیاه و عدم ساخت پرولین درون‌زاد بخصوص تحت شرایط آبیاری تکمیلی افزایش میزان فسفر منطقی به نظر می‌رسد.

پتاسیم

در رابطه با میزان پتاسیم برگ مشاهده شد که کاربرد خارجی پرولین در گیاهان دیم بیش‌ترین مقدار پتاسیم (8 میلی‌گرم بر گرم) را داشته و کم‌ترین مقدار پتاسیم برگ در تیمار گلاسیسین‌بتائین آبیاری - تکمیلی (5/6 میلی‌گرم بر گرم) داشته است. میزان پتاسیم در تیمار دیم بیش‌تر از تیمار آبیاری تکمیلی در کلیه محلول‌های اعمال شده بود. در زمانی که رطوبت مساعد باشد ممکن است درصد پتاسیم در بافت‌های گیاه کاهش یابد و این موضوع می‌تواند به علت رقیق شدن آن باشد. به طور کلی نظر بر این است که در اثر تنش خشکی میزان جذب پتاسیم در گیاه افزایش می‌یابد و آن به دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه است. در مواردی هم مشاهده شده که درصد پتاسیم در گیاهان تحت تنش کم‌تر بوده و دلیل آن می‌تواند کاهش قابلیت دسترسی این عناصر در شرایط کمبود رطوبت باشد. به این صورت که در اثر وجود آب زیادتر، یون‌های یک‌ظرفیتی

وزن هزار دانه

در خصوص صفت وزن هزار دانه تنش آبی و محلول پاشی اثر معنی داری بر وزن هزار دانه بالنگو نداشت (جدول 2). وزن هزار دانه نشان دهنده وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آنجا که با آغاز گل دهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می نمایند، می بایستی بین وزن هزار دانه هنگامی که گیاه در حال تنش رطوبتی قرار می گیرد، با حالت های غیر تنش تفاوت وجود داشته باشد، اما وزن هزار دانه از جمله فاکتورهایی است که بیشتر تحت تأثیر کنترل ژنتیکی است و از توارث پذیری بالایی برخوردار است و کم تر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می گیرد. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2008) گزارش کردند که وزن هزار دانه در گشنیز کم تر تحت تأثیر خشکی قرار گرفته و در شرایط متفاوت تأمین آب دارای وزن هزار دانه یکسانی بودند.

درصد موسیلاژ

صفت درصد موسیلاژ که در واقع میزان موسیلاژ در یک گرم بذر است، تحت تأثیر سطوح محلول پاشی قرار نرفت و حتی تفاوت معنی داری بین گیاهان دیم و آبیاری شده از نظر درصد موسیلاژ دانه مشاهده نشد (جدول 2). بررسی های انجام شده حاکی از آن است که ساخت مواد مؤثره گیاهان دارویی تحت تأثیر ژنوتیپ و عوامل محیطی است (Al-Ramamneh, 2009). بنابراین می توان عدم تفاوت در درصد موسیلاژ را به این دلیل توجیه کرد که شاید سطوح تنش شدیدتر برای تغییر درصد موسیلاژ لازم است. میانگین های درصد موسیلاژ دانه در دو شرایط دیم و آبیاری نشان می دهد که موسیلاژ دانه در بالنگو به طور ژنتیکی زیاد است. فراهانی و همکاران (Farahani et al., 2009) گزارش کردند که تنش خشکی می تواند سطوح متابولیسم گونه ها و ژنوتیپ های افزایش یا کاهش دهد یا تأثیری روی آن ها نداشته باشد.

درصد و عملکرد روغن

درصد روغن در گیاهان دیم بالاتر از آبیاری تکمیلی است (جدول 3). محلول پاشی تأثیری بر درصد روغن نداشت (جدول 2). در مورد اثر تنش خشکی بر درصد روغن گزارش های متفاوتی وجود دارد. درصد روغن در گیاهان مختلف تحت تأثیر سطوح مختلف شدت تنش

می تواند افزایش یابد. از نظر عملکرد روغن، تابعی از درصد روغن و عملکرد دانه، تفاوت معنی داری بین آبیاری تکمیلی و دیم مشاهده نشد. کاهش عملکرد دانه (جدول 4) هم زمان با افزایش درصد روغن (جدول 3) باعث می شود که عملکرد روغن در کشت دیم و آبیاری تکمیلی تفاوت معنی داری نشان ندهند (جدول 3). درصد روغن یک صفت کمی است و توسط چندین ژن کنترل می شود، بنابراین آسیب دیدن تعداد زیادی از ژن های کنترل کننده در اثر تنش خشکی، بعید به نظر می رسد. از این رو کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی جزئی است (Yadollahi Dehcheshmeh et al., 2014). در شرایط تنش با این که محتوی روغن افزایش می یابد، ممکن است به علت کاهش شدید عملکرد دانه ناشی از تنش کم آبی، عملکرد روغن با افت مواجه شود (Shubhra et al., 2004).

نتیجه گیری

بررسی نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می دهد که با توجه به این که در شرایط کمبود آب اسمولیت هایی نظیر پرولین، گلاسیسین-بتائین و ساکارز در گیاه ساخته می شوند تا بتوانند اثرات زیان بار تنش را کاهش دهند. لذا استعمال خارجی این مواد باعث تعدیل اسمولیت های ساخته شده در گیاه می گردد و بخش بیش تر مواد فتوسنتزی صرف پر شدن دانه در گیاه می شود که افزایش عملکرد نیز ناشی از این می باشد. علاوه بر آن با توجه به فرارگیری ایران در مناطق خشک و نیمه خشک و ضرورت توجه به کمبود آب، آبیاری تکمیلی به عنوان راهکاری برای جلوگیری از افت عملکرد و کاهش هدررفت آب در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان داد که یک نوبت آبیاری تکمیلی عملکرد را در همه تیمارها افزایش داد. این امر می تواند ناشی از تخلیه کامل رطوبت خاک در آخر فصل رشد باشد و آبیاری تکمیلی با کارایی بالاتری بخشی از عملکرد را که در شرایط دیم کاهش یافته است، جبران می کند. محلول پاشی ساکارز، گلاسیسین بتائین و پرولین به ترتیب بیش ترین افزایش را در تولید عملکرد (دانه و بیولوژیکی) نشان دادند، در حالی که کاربرد این تنظیم کننده های اسمزی عملکرد روغن را به یک اندازه نسبت به شاهد افزایش دادند. بنابراین محلول پاشی اسمولیت ها و انجام آبیاری تکمیلی راهکاری برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد بالنگوی شهری توصیه می شود.

منابع:

- Al-Ramamneh, E.A.D.M. 2009. Plant growth strategies of *Thymus vulgaris* L. in response to population density. *Industrial Crops and Products* 30: 389-394.
- Amanzadeh, Y., Khosravi Dehaghi, N., Gohari, A.R., Monsef-Esfehani, H.R., and Sadat Ebrahimi, G.R. 2011. Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and post-flowering stage. *Journal of Research in Biological Sciences* 6(3): 114-117. (In Persian with English Summary)
- Arazmjo, A., Heidari, M., and Ghorbani, A. 2010. The effect of water stress and three sources of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 4: 482-494. (In Persian with English Summary)
- Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Blum, A. 2011. *Plant breeding for water-limited environments*. Springer, New York, USA 255p.
- Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. *Methods of analysis for soils plants and waters*. University of California, Division of Agricultural Science 309 p.
- Devau, N., Cadre, Le, E., Hinsinger, P., Jaillard, B., and Gérard, F. 2009. Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modeling approaches. *Applied Geochemistry* 24(11): 2163-2174.
- Erkossa, T., Stahr, K., and Tabor, G. 2002. Integration of organic and inorganic fertilizers.effect on vegetable productivity. *Ethiopian Agricultural research Organization, Debre Zeit Agricultural Research Centre Ethiopia* 82: 247-256.
- Farahani, H.A., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., and Khalvati, M.A. 2009. Evaluation changing of essential oil of balm *Mellisa officinalis* L. under water deficit stress condition. *Journal of Medicinal Plants Research* 3: 329-333.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress effects mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
- Farzi, M., Alizadeh, K., and Arshad, M. 2016. Study on dragons head (*Lallemantia iberica* L.) landraces under supplementary irrigation and rainfed conditions. *Journal of Crop Ecophysiology* 10: 401-412. (In Persian with English Summary)
- Gamal EL-Din, K.M., and Abd El-Wahed, M.S.A. 2005. Effect of some amino acids on growth and essential oil content of chamomile plant. *International Journal of Agriculture and Biology* 7(3): 376-380.
- Ghasemian, V., Shafagh Kalvanagh, J., and Pirzad, A. 2017. Effect of fertilizer treatments and irrigation regimes on *Lallemantia iberica* seed mucilage yield and compounds. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 27(3): 17-31. (In Persian with English Summary)
- Gholizadeh, A., Amin, M.S.M., Aunar, A.R., Esfahani, M., and Saberioon, M.M. 2010. The study on the effect of different levels of zeolite and water stress on growth, development and essential oil content of Moldavian balm *Dracocephalum moldavica*. *American Journal of Applied Sciences* 7(1): 33-37.
- Ghorbani, A. 2004. *Turkmen desert medicinal herbs*. Publication of the Center for Traditional Medicine and Medical Regulation of Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. 100p. (In Persian)
- Gorham, J., Jokinen, K., Malik, M.N.A., and Khan, I.A. 2000. Glycine betaine treatment improves cotton yields in field trials in Pakistan. *Proceedings of the World Cotton Research Conference II, Athens, Greece* p. 624-627.
- Grieve, C.M., and Grattan, S.R. 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil* 70: 303-307.
- Habibi, D., Ardakani, M.R., Mahmoudi, A., and Asgharzadeh, A. 2010. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and oxidative damage of maize under drought stress. *International Conference on Chemistry and Chemical Engineering* 253-257 P.
- Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., and Sanches, D.M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum* 84: 55-60.
- Jalilian, J., and Heydarzadeh, S. 2016. Effect of cover crops, organic and chemical fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of Safflower *Carthamus tinctorius*. *Journal of Agricultural Science* 25(4): 71-85. (In Persian with English Summary)

- Kadkhodae, A., and Ehsanzadeh, P. 2011. Grain yield, leaf chlorophyll, proline and soluble carbohydrates content of linseed (*Linum usitatissimum* L.) under different irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 42: 125-131. (In Persian with English Summary)
- Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masumi, E., and Nabati, J.V. 2008. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jihad Publishing of Mashhad Press, Iran 502p. (In Persian)
- Kalyanasundaram, N.K., Patel, P.B., and Dalal, K.C. 1982. Nitrogen need of *Plantago ovata* Forsk. In relation to the available nitrogen in soil. Indian Journal Agriculture Science 52(4): 240-242
- Khalil, S.E., and El-Noemani, A.A. 2012. Effect of irrigation intervals and exogenous proline application in improving tolerance of garden cress plant *Lepidium sativum* L. to water stress. Journal of Applied Sciences Research 8(1): 157-167.
- Koc, E., İslək, 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.
- Koocheki, A., Bakhshaei, S., Tabarraei, A. and Jafari, L. 2014. Effect of plant density and planting pattern on quantitative and qualitative characteristics of Balangu (*Lallenamntia royleana* Benth.). Journal of Agroecology 6(2): 229-237. (In Persian with English Summary)
- Korkmaz, A., Sirikci, R., Kocacinar, F., Deger, O., and Demirkırtan, A.R. 2012. Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. Scientia Horticulturae 148: 197-205.
- Makela, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setälä, H., Hinkkanen, H., and Somersalo, S. 1996. Uptake and translocation of foliar applied glycinebetaine in crop plants. Plant Science 121: 221-230.
- Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plant. Elsevier Sci Ltd. Academic Press 899p.
- Mashayekhi, K., and Atashi, S. 2012. Effect of spray and saccharose on some biochemical characteristics of strawberry plants of camarosa. Journal of Plant Production Research 19(4): 171-175. (In Persian with English Summary)
- Martignone, R.A., and Nakamaya, Y.F. 1983. Foliar fertilization urea and sucrose on soybean. Phyton 43: 167-178.
- Nori-Shargh, D., Kiaei, S.M., Deyhimi, F., Mozaffarian, V., and Yahyaei, H. 2009. The volatile constituents analysis of *Lallemantia iberica* (M.B). Fischer & Meyer from Iran. Natural Product Research 23: 546-548.
- Norouzi Baroogh, A. 2009. Effects of proline and glycine betaine spraying on sunflower reaction to drought stress. MSc Thesis. Isfahan University of Technology. 120 pp.
- Oweis, T., and Hachum, A. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity for dry farming systems in West Asia and North Africa. Agricultural Water Management 80(1-3): 57-73.
- Paquin, R., and Lechasseur, P. 1997. Observations sur une method de dosage de la proline libra dans lrs extrain de plants. Canadian Journal of Botany 57: 1851-1854.
- Pei, F., Li, X., Liu, X., and Lao, C. 2013. Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. Journal of Environmental Management 114: 362-371.
- Pirzad, A., Shakiba, M.R., Zehtab salamsi, S., and Mohamadi, A. 2010. Effects of water stress on some nutrients uptake in *Matricaria chamomilla* L. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 104: 1-7. (In Persian with English Summary)
- Rahimi, A., Mashayekhi, K., Hemati, K., and Dardipor, A. 2008. Effect of salicylic acid and food elements on seed yield and yield components of coriander. Journal of Plant Production Research 16(4): 149-156. (In Persian with English Summary)
- Richards, R., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., and van Herwaarden, A.F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science 42: 111-121.
- Rigoberto, R.S., Josue, K.S., Jorge Alberto, A.G., Carlos, T.L., Joaquín, O.C., and Kelly, J.D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield. Field Crops Research 85(2-3): 203-211.
- Ritchie, S.W., and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.
- Sane, F., and Pirzad, A. 2018. Optimal plant spacing of *Lallemantia iberica* under rainfed and supplementary irrigation. Iranian Journal of Field Crop Science In Press. (In Persian with English Summary)
- Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L., and Munjal, R. 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. Biologia Plantarum 48(3): 445-448.
- Soltani-Gard, F., Omidi, M.K., Habibi, H., Lebaschi, H., Hosseini, M., and Zarezade, H. 2010. The effect of different glycin betaine on morphological traits and yield of *Matricaria chamomila* L. under drought stress in Yazd area.

- Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(2): 279-289. (In Persian with English Summary)
- Strasil, Z., and Kas, M. 2005. The effect of nitrogen fertilization, sowing rates and weather conditions on yield components of *Lallemantia iberica* Fisch. et Mey. Scientia Agriculturae Bohemica 36(1): 15-20.
- Tewari, T.N., and Singh, B.B. 1991. Stress studies in lentil (*Lens esculenta* Moench). II. Sodicity-induced changes in chlorophyll, nitrate, nitrite reductase, nucleic acids, proline, yield, and yield components in lentil. Plant and Soil 135: 225-250.
- Yadollahi Dehcheshmeh, P., Bagheri, A.A., Amiri, A., and Esmailzadeh, S. 2014. Effects of drought and foliar application on yield and photosynthetic pigments sunflower. Journal of Crop Physiology 6(21): 73-83. (In Persian with English Summary)
- Zlatanov, M., Antova, G., Angelova-Romova, M., Momchilova, S., Taneva, S., and Nikolova-Damyanova, B. 2012. Lipid structure of *Lallemantia* seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids for nutritional supplements. Journal of the American Oil Chemists Society 89(8): 1393-1401.



Ecophysiological Response of *Lallemantia iberica* L. to Exogenous Application of Osmotic Adjustments in Rainfed Production

D. Sheykhi Sanandaji¹ and A. Pirzad^{2*}

Submitted: 14-05-2018

Accepted: 12-08-2018

Sheykhi Sanandaji, D., and Pirzad, A. 2019. Ecophysiological response of *Lallemantia iberica* L. to exogenous application of osmotic adjustments in rainfed production. Journal of Agroecology. 11(3): 1105-1121.

Introduction

Lallemantia as an annual plant, with scientific name *Lallemantia iberica* L. belonged to the Lamiaceae family. The seeds contain oil and mucilage, which are used in the textile and pharmaceutical industries. *Lallemantia* grows well in arid regions; therefore it can be used as an alternative of the common crops in these areas. The reason for the adaptation to drought is due to the existence of drought-tolerant genes. Crop yield and growth are affected by environmental factors such as water deficit stress due to abnormal processes of physiological processes under stress. Due to the fact that plants synthesize different osmotic compounds under stress conditions, they may respond to their exogenous application against stress conditions. The aim of this study was to evaluate the response of the yield and physiological characteristics of *Lallemantia* to the application of osmolytes under rainfed and one supplemental irrigation procedure.

Materials and Methods

This split-plot experiment was conducted at Research Farm of Urmia University (Latitude 45° 10' East, latitude 37° 44' North and altitude 1338 m above sea level) based on a randomized complete block design with three replications during the growing season of 2016-2017. Non-irrigation (rainfed) and one-time irrigation as the main plot, and the foliar application of Osmolytes (proline, glycine betaine, sucrose and distilled water as control) were considered as a sub-plot. The foliar application was performed twice at sunset time. Sampling was done for physiological traits at 80% flowering, and yield was measured at the end of the growing season. The measured traits included leaf Relative Water Content (RWC), chlorophyll index (SPAD), proline, total soluble carbohydrate, glycine betaine, nutrients, plant height, number of capsules per plant, seed number per capsule, 1000-seed weight, biological yield, oil percentage and yield, and mucilage percentage.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that the irrigation effect on leaf relative water content, plant height, and oil percentage, and the effect of foliar application of osmolytes on the oil yield were significant at 1% probability level, but 1000-seed weight, seed mucilage percentage, and leaf nitrogen percentage was not affected by irrigation and osmolytes. The interaction between irrigation and osmolytes was significant on the chlorophyll, carotenoid, proline, glycine betaine, total soluble carbohydrates, number of capsules per plant, number of seeds per capsule at 1% probability level, and significant effect on the grain yield, biological yield, phosphorus and potassium at 5% probability level. In both rainfed and supplemental irrigation, the use of proline showed higher chlorophyll index. Proline in both rainfed and supplemental irrigation systems reduced the leaf proline to a minimum concentration. The use of glycine betaine reduced the amount of glycine betaine and total soluble carbohydrates in rainfed and irrigated plants. The highest grain yield (79.56 g.m⁻² for rainfed and 85.94 g.m⁻² for supplemental irrigation) and biological yield (250.25 g.m⁻² for rainfed and 492.65 g.m⁻² for supplemental irrigation) belonged to sucrose spraying. Maximum plant height (36 cm) was related to glycine betaine foliar spraying as well as the sucrose application of irrigated plants, while the shortest plant (33 cm) belonged to rainfed plants. Seed weight, as one of the important yield-related factors that currently represents the length and condition of the reproductive period. Though, foliar spray of proline and glycine betaine increased biological yield and grain yield in comparison with control treatment. Leaf potassium decreased in irrigated plants by foliar application of osmolytes, but this is was non-significant in rainfed cultivation. In spite of a little variation of leaf

1 and 2- MSc Student and Professor (Crop Physiology), Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.

(*-Corresponding Author Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)

Doi: 10.22067/jag.v11i3.72715

carotenoid in rainfed plants in response to osmolytes, it decreased significantly in supplemental irrigation by proline and glycylglycyl betaine.

Conclusion

According to the results, exogenous application of osmolytes including proline, glycine betaine and sucrose, and or one-time supplemental irrigation, compensated the drought-induced yield loss due to prevent complete discharge of soil moisture. Therefore, the application of foliar spraying and supplemental irrigation is recommended as a viable and cost-effective broad-based solution to increase the yield and yield components of *Lallemantia iberica*.

Keywords: Glycine betaine, Mucilage, Oil, Proline, Supplemental irrigation