Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 2, Summer 2022, p. 193-204

Effect of Irrigation and Plant Density on Yield and Growth Indices of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Monch)

A. Koocheki[1*], R. Ghorbani[2], H. Zare[3], and R. Moosapour Bardsiri[3]

Received: 11-11-2015
Revised: 01-10-2016
Accepted: 04-11-2016
Available Online: 14-09-2022

How to cite this article:
Koocheki, A., Ghorbani, R., Zare, H., and Moosapour Bardsiri, R., 2022. Effect of irrigation and plant density on yield and growth indices of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Monch). Journal of Agroecology 14(2): 193-204
DOI: 10.22067/jag.v1i1.51328

Introduction

Purple coneflower is one of the most important medicinal plants known for its anti-bacterial and anti-virus effects. This perennial herb from the Asteraceae family is native to North America and is planted widely in Europe. All parts of the plant contain useful chemical compounds such as Chicoric acid, Isobutyl, Polysaccharides, and Essential oils. Planting population and the amount of water applied are important management practices for all crops, particularly medicinal plants, due to a prefund effect of these parameters on the chemical constituents of these plants. An optimum planting population of 25 plants per m^2 is normally practiced for Purple coneflower, but higher populations of up to 40 plants per m^2 have also been reported. Water stress has been reported to increase Chicoric acid and Folic acid but not Essential oils. The purpose of the present study was to evaluate plant density and the amount of irrigation water on different agronomic criteria of Purple coneflower under climatic conditions of Mashhad.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of different irrigation levels and plant density on yield and other criteria of Purple coneflower, an experiment was conducted at the Agricultural Research Station of the Faculty of Agriculture, the Ferdowsi University of Mashhad during the years 2009-2010 and 2010-2011. A split plot based on a randomized complete block design with three replications was conducted. Irrigation with four levels at 50, 100. 150 and 200 mm evaporations from evaporation pan class A were allocated to the main plots, and two plant densities of 20 and 30 plants per m^2 were used as subplots. Leaf area index, dry matter yield, plant height, number of branches, number of flowers per plant, average flowers weight per plant, number and dry weight of flowers per plant, number of flowers per unit area, fresh and dry weight of flower and root dry weight were recorded.

Results and Discussion

Results showed that all the investigated criteria were affected by irrigation levels. Plant density also affected all criteria except those of weight per flower and fresh flower weight per unit area. The highest flower yield per unit area was obtained from 50 mm irrigation level and plant density of 30 plants per m^2. The lowest flower yield was obtained from 200 mm irrigation level and 20 plants per m^2. However, irrigation levels of 50 and 100 mm and plant density of 30 plants per m^2 were the most promising practices for maximum flower yield.

Conclusion

Since irrigation levels and plant density are two important factors affecting most plant criteria, it is important to investigate these practices for crop production, particularly in medicinal plants where chemical compounds are also sensitive to these two parameters. For Purple coneflower, it appears that irrigation levels of 50 and 100 mm and plant density of 30 plants per m^2 are practices that can be recommended, though more investigations are required to make assurance.

Keywords: Dry Matter, LAI, Medicinal plant, Water stress

1, 2 and 3- Professor, Associate Professor and M.Sc. Students of Department of Agrotechnology, Faculity of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تأثیر تراکم و آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Monch)

علیرضا کوچکی[1*]، رضا قربانی[2]، حسین زارع[3] و رضا موسی‌پور بردسیری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۴

کوچکی، ع.، قربانی، ر.، زارع، ح.، و موسی‌پور بردسیری، ر.، ۱۴۰۱. تأثیر تراکم و آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Monch). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۲): ۲۰۴-۱۹۳.

چکیده

سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Monch) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی می‌باشد که علی‌رغم دارا بودن خواص ضدقارچی، ضدویروسی و ضدباکتریایی اطلاعات چندانی از ویژگی‌های آن به‌خصوص نیاز آبی و تراکم مطلوب آن در منطقه مشهد در دست نیست. به‌منظور بررسی اثر دور آبیاری و تراکم بر خصوصیات رشدی و عملکرد سرخارگل آزمایشی در دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در قالب طرح کرت‌های خرد شده در سه تکرار اجرا شد. در کرت‌های اصلی فواصل آبیاری (آبیاری پس از ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) و در کرت‌های فرعی تراکم بوته با دو سطح (۲۰ و ۳۰ بوته در مترمربع) قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه عبارت از شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گل در بوته، میانگین وزن هر گل، تعداد و وزن خشک گل در بوته، تعداد گل در واحد سطح، وزن تر و خشک گل در واحد سطح و وزن خشک ریشه بودند. نتایج آزمایش نشان داد که تمام صفات مورد بررسی تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش سطوح آبیاری رشد بوته‌های سرخارگل افزایش یافت. بیشترین عملکرد گل در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع و سطح اول آبیاری به‌میزان ۳۰۸ گرم در مترمربع و کمترین عملکرد گل در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و سطح چهارم آبیاری به‌میزان ۸۷ گرم در مترمربع بود. به نظر می‌رسد زمان آبیاری بین ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع، مناسب‌ترین ترکیب جهت تولید حداکثر عملکرد گل باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، شاخص سطح برگ، گیاه دارویی، ماده خشک

مقدمه

با توجه به اثرات سوئی که داروهای شیمیایی بر سلامت انسان می‌گذارد، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده است (Norozpoor & Rezvani Moghadam, 2006). متابولیت‌های ثانویه موجود در این گیاهان ماده مؤثره بسیاری از داروها می‌باشد. طبق برآورد سازمان بهداشت جهانی (WHO[4]) ۸۰ درصد مردم در کشورهای جهان سوم برای درمان بیماری‌های خود از داروهای گیاهی استفاده می‌کنند، به‌علاوه در حال حاضر حجم زیادی از واردات کشورهای اروپایی به داروهای گیاهی اختصاص دارد (Omidbeigi, 1995).

سرخارگل[5] با نام علمی *Echinacea purpurea* (L.) Monch گیاهی علفی، چندساله از خانواده کاسنی Asteraceae و بومی شمال

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استاد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: akooch@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v1i1.51328

4- World health organization
5- Purple coneflower

امریکا و یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی در این منطقه می‌باشد (Foster, 1991; Hobbs, 1994). این گیاه به‌عنوان یک گیاه چند ساله در اروپا به‌طور وسیع مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. تمامی اندام این گیاه حاوی مواد ارزشمندی می‌باشد که باعث شده به‌عنوان یک گیاه دارویی در اغلب نقاط دنیا گسترش یافته و به صورت وسیع در اروپا و امریکا کشت و کار می شود. از مواد مؤثره این گیاه می‌توان اسید شیکوریک[1]، ترکیبات ایزوبوتیل، ترکیبات پلی ساکارید و اسانس آن را نام برد (Omidbeigi, 2002). مواد مؤثره سرخارگل به‌علت خواص ضدقارچی، ضدویروسی و ضدباکتریایی که دارد در افزایش سیستم دفاعی بدن نقش مؤثری ایفا می‌کنند. به همین دلیل، در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله سرماخوردگی و ایدز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Birt et al., 2008; Birt et al., 2009; Omidbeigi, 1995; Watson & Preedy, 2008).

برخی تحقیقات حاکی از آن است که با افزایش تراکم تا حد بهینه، عملکرد و ماده خشک افزایش می‌یابد، در حالی‌که با افزایش تراکم بیش از حد مطلوب عملکرد کاهش می‌یابد (Debaeke & Aboudrare, 2004). سرخارگل در بسیاری از کشورهای اروپایی به‌طور متوسط با تراکم ۲۵ بوته در مترمربع کاشته می شود. پارامنتر و لیتل جون (Parmente & Little John, 1997) اظهار داشتند که با افزایش تراکم سرخارگل از ۱۰ بوته تا ۴۰ در مترمربع عملکرد افزایش یافت، به‌طوری‌که عملکرد در تراکم‌های ۲۰ و ۳۰ بوته در مترمربع حداکثر بود، به‌علاوه آن‌ها بیان کردند که در تراکم‌های پایین درصد سبز شدن نشاءها پایین بود. شالابی و همکاران (Shalaby et al., 1997) نشان دادند که با افزایش فاصله گیاهان روی ردیف از ۲۰ به ۴۰ و سپس ۶۰ سانتی‌متر ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه سرخارگل افزایش یافت، ولی با افزایش فاصله بوته‌ها روی ردیف عملکرد در واحد سطح کاهش یافت.

تقریباً تمام فعالیت‌های متابولیکی سلول‌های گیاهی از جمله ساخت مواد مؤثره در گیاهان دارویی به وجود آب بستگی دارد (Omidbeigi, 1995). تغییر تراکم به‌سمت تراکم بهینه می‌تواند نسبت تبخیر از سطح خاک را به تعرق از گیاه طوری تغییر دهد که کارایی مصرف آب بهبود پیدا کند. از آن جایی که کانوپی در تراکم‌های پایین‌تر از حد مطلوب، دیرتر بسته می‌شود، نسبت تعرق از گیاه به تعرق از سطح خاک کاهش می‌یابد و باعث می‌شود مقدار زیادی از آب آبیاری بدین صورت از دسترس خارج شود. از طرف دیگر، در تراکم‌های بالا رقابت بین گیاهان و میزان تعرق افزایش پیدا کرده و منجر به مصرف سریع‌تر آب قابل دسترس خاک می شود و گیاهان با خشکی روبرو می‌شوند که در هر دو حالت با کاهش عملکرد همراه خواهد بود. کالان و همکاران (Callan et al., 2005) به این نتیجه رسیدند که گیاهان کاشته شده در تراکم‌های بالاتر از ۱۵ بوته در مترمربع بیشترین عملکرد ماده خشک را تولید کردند، ولی تراکم ۱۰ بوته در مترمربع بالاترین مقدار اسید شیکوریک را تولید کرد. تنش خشکی در آغاز گل‌دهی باعث افزایش اسید شیکوریک در ریشه‌های برداشت شده در پاییز شد، ولی آلکامیدهای ریشه تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت، تنش خشکی همچنین باعث افزایش اسید فنولیک در گیاه شد (Gray et al., 2003). با توجه به این که از ورود این گیاه به کشور کمتر از بیست سال می‌گذرد و هنوز اطلاعات پایه‌ای مانند نیاز آبی و تراکم بهینه سرخارگل در آب و هوای مشهد مورد بررسی قرار نگرفته است، هدف از این تحقیق بررسی تراکم مطلوب و نیاز آبی سرخارگل در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر آبیاری و تراکم بر عملکرد و شاخص‌های رشد در سرخارگل آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری پس از ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک بود. داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل از ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی تأمین شد. عامل فرعی شامل دو سطح تراکم ۲۰ و ۳۰ بوته در مترمربع بود.

از آن جا که بذور سرخارگل جوانه‌زنی و قوه نامیه پایینی دارد و همچنین به رطوبت خاک در حین جوانه‌زنی حساس می‌باشند، کشت مستقیم بذور در مزرعه معمولاً توصیه نمی‌شود (Omidbeigi, 2002). به همین دلیل، بذر سرخارگل در تاریخ ۲۱ خرداد پس از آن که به‌مدت چهار روز در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، در سینی‌های کشت روی بستر کوکوپیت کشت شدند. بعد از ۴۰ روز، زمانی که به مرحله ۴-۳ برگی رسیدند به مزرعه منتقل و در کرت‌هایی

1- Cichoric scid

به ابعاد ۲×۱ به فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر نشاء شدند. عملیات مربوط به آماده سازی زمین شامل شخم برگردان، دیسک و فاروئر در خرداد ماه انجام شد. به‌دلیل اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک، قبل از انجام دیسک در کرت‌های آزمایشی، بر اساس عرف منطقه به‌میزان ۳۰ تن در هکتار کود دامی کاملاً پوسیده توزیع شد. در سال اول گیاهچه‌ها رشد رویشی چندانی نداشتند و گل‌دهی در هیچ‌کدام صورت نگرفت بنابراین، همه کرت‌ها به یک میزان آبیاری شدند و در سال دوم به محض شروع رشد مجدد گیاهچه‌ها، تیمار تراکم اعمال و پس از رسیدن به مرحله چهار برگی سطوح آبیاری نیز اعمال شدند. وجین علف‌های هرز در چند نوبت و با دست انجام شد. هر کرت به دو قسمت فرضی تقسیم شد، نیمی از آن جهت آزمایش‌های تخریبی سطح برگ در نظر گرفته شد و نیمی از آن برای تعیین عملکرد گل منظور شد. برای تعیین میزان تجمع وزن خشک و سطح برگ در چهار مرحله به فاصله زمانی هر ۱۴ روز یک بار و از ۲۰ روز پس از سبز شدن، از هر کرت دو بوته برداشت شد و پس از تعیین سطح برگ به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] ، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو روز در آون خشک و وزن خشک آن‌ها محاسبه شد. پس از حذف حاشیه در زمان گل‌دهی در دو نوبت از نیمه دوم کرت بردا شت گل صورت گرفت. اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه فرعی، تعداد گل و وزن هرگل اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، ریشه‌ها به‌مدت دو روز در آون و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توزین شدند. داده‌ها در نرم‌افزار SAS9.1 آنالیز و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

روند تغییرات سطح برگ (LAI)[2] در پاسخ به آبیاری و تراکم تقریباً مشابه بود (شکل ۱). سطح برگ در ابتدای فصل رشد با سرعتی پایین و سپس با سرعت بیشتر گسترش یافت. بعد از رسیدن به حداکثر مقدار، با توجه به تیمارهای آبیاری تغییرات سطح برگ متفاوت بود. سطح برگ در سطح اول و دوم آبیاری گیاهان نسبت به سطوح سوم و چهارم دیرتر به حداکثر خود رسیدند. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ به‌ترتیب در سطح اول و چهارم آبیاری و تراکم ۳۰ بوته و ۲۰ بوته در مترمربع به‌میزان ۲/۵۳ و ۱/۳ در حدود ۸۰ روز پس از سبز شدن ظاهر شد. شاخص سطح برگ در سطوح سوم و چهارم به‌دلیل مواجه شدن گیاهان با تنش خشکی، گسترش چندانی نداشت و کمترین مقدار حداکثر سطح برگ در سطح چهارم آبیاری و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع، به‌میزان ۱/۳۵ م‌شاهده شد. شاخص سطح برگ در تمامی سطوح آبیاری، در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بیشتر از ۲۰ بوته بود. کاهش شاخص سطح برگ در شرایط تنش را می‌توان به کاهش نسبی محتوای آب برگ نسبت داد. کوسکوئلا و فکت (Cosculleola & Fact 1995) نیز مشاهده کردند که با افزایش تنش کمبود آب، پتانسیل آب برگ به‌طور فزاینده‌ای منفی می‌شود و متعاقباً شاخص سطح برگ کاهش یافت. نسمیت و ریچی (Nesmith & Ritchie, 1992) اظهار داشتند که میان گسترش و توسعه سطح برگ و آب موجود در گیاه یک همبستگی منفی وجود داشت.

روند تجمع ماده خشک

روند تغییرات ماده خشک در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها تقریباً از الگوی یکسانی تبعیت نمود (شکل ۲). حداکثر و حداقل تجمع ماده خشک به‌ترتیب در سطح اول و چهارم آبیاری و تراکم ۳۰ بوته و ۲۰ بوته در مترمربع و آبیاری مشاهده شد. در همه تیمارهای آبیاری به‌جز تیمار سطح اول، تجمع ماده خشک در حدود ۶۰ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسیدند، در حالی‌که، در تیمار اول آبیاری حداکثر تجمع ماده خشک دیرتر اتفاق افتاد. به نظر می‌رسد که تنش آب از طریق تأثیر بر طویل شدن و حجیم شدن سلول‌ها، بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش مواد فتوسنتزی ساخته شده در گیاه، تولید ماده خشک را در گیاه کاهش داده است (Koocheki & Nassiri Mahallati, 1993).

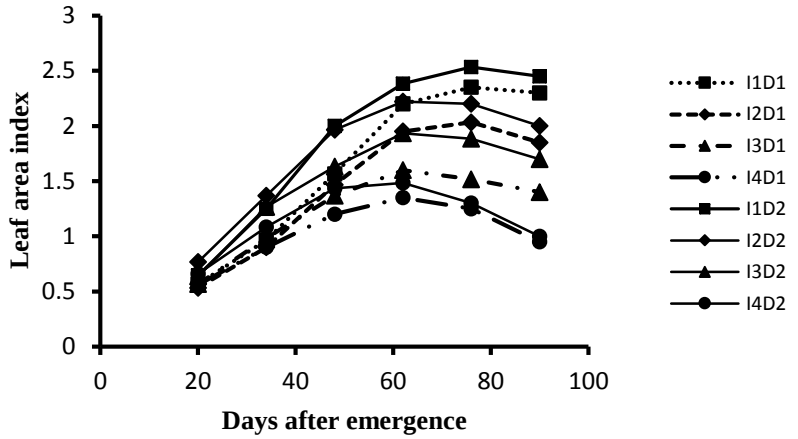
ارتفاع بوته

اثر تراکم بر ارتفاع معنی‌دار بود ($p\leq0.05$) (جدول ۱)، به‌طوری‌که ارتفاع بوته با افزایش تراکم حدود ۱۸ در صد افزایش یافت. نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Norozpoor & Rezvani Moghaddam, 2006) گزارش کردند که در گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa*) با افزایش

1- Leaf area meter

2- Leaf area index

تراکم، ارتفاع بوته افزایش یافت. اثر سطوح آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار نشد، ولی با کاهش دور آبیاری ارتفاع بوته افزایش یافت. به‌طور کلی، در دسترس بودن آب و مواد غذایی ضروری گیاه از طریق افزایش میانگره‌ها و تعداد گره‌ها، ارتفاع گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sarmadnia & Koocheki, 1991). به نظر می‌رسد رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب در سطوح پایین آبیاری، کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را به دنبال داشته که این امر، کوتاهی ارتفاع گیاه را سبب می‌شود (Koocheki & Nassiri Mahallati, 1993).

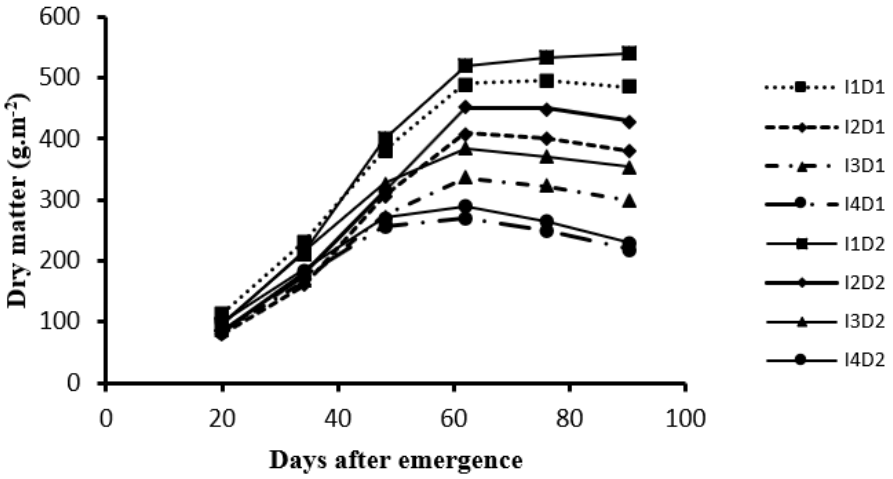


شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد سرخارگل، تحت شرایط آبیاری و تراکم متفاوت

Fig. 1- The effect of density and irrigation on leaf area index trend during growth period

D_1 و D_2: به‌ترتیب نشان‌دهنده تراکم ۲۰ بوته و ۴۰ بوته در مترمربع و I_1، I_2، I_3 و I_4: به‌ترتیب نشان‌دهنده سطح اول آبیاری (آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، سطح دوم آبیاری (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، سطح سوم آبیاری (آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و سطح چهارم آبیاری (آبیاری پس از ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) می‌باشد.

D_1 and D_2: represent Density of 20 and 40 plant/m^2 respectivly and I_1, I_2, I_3 and I_4: represent First level irrigation (irrigation at 50 mm evaporation from evaporation pan class A), Second level irrigation (irrigation at 100 mm evaporation from evaporation pan class A), Third level irrigation (irrigation at 150 mm evaporation from evaporation pan class A) and Fourth level irrigation (irrigation at 200 mm evaporation from evaporation pan class A), respectively.



شکل ۲- روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد سرخارگل، تحت شرایط آبیاری و تراکم متفاوت

Fig. 2- The effect of density and irrigation on dry matter trend during growth period

تعداد شاخه‌های جانبی در بوته

اثر تراکم بر صفت تعداد شاخه‌های جانبی بوته معنی‌دار بود ($p\leq0.05$) (جدول ۱). با افزایش تراکم قدرت تولید شاخه جانبی کاهش یافت، به‌طوری‌که تعداد شاخه جانبی در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع ۴۰ در صد بیشتر از تراکم دیگر بود. تولید تعداد بیشتر شاخه جانبی در تراکم کمتر را می‌توان به وجود فضای رشد در افزایش شاخه‌های جانبی نسبت داد. سطوح آبیاری از نظر تعداد شاخه‌های جانبی در بوته تفاوت معنی‌داری داشت. با کاهش سطوح آبیاری از سطح اول به دوم تعداد شاخه جانبی کاهش یافت، در حالی‌که با کاهش بیشتر آبیاری تفاوت معنی‌داری در تعداد شاخه جانبی مشاهده نشد. کمترین تعداد شاخه جانبی در سطح چهارم آبیاری به‌میزان ۳/۸ شاخه در بوته و بیشترین آن در سطح اول آبیاری به‌میزان ۶/۱ شاخه در بوته بود. علت کاهش تعداد شاخه در بوته در تراکم‌های بالا را می‌توان به کاهش نفوذ نور به بخش‌های پایین سایه‌انداز نسبت داد که موجب انتقال اکسین از مریستم انتهایی به محل تشکیل جوانه‌های جانبی شاخه می‌گردد (Kafi et al., 2000). افزایش تنش خشکی موجب کاهش دوره رشد رویشی و به تبع آن رشد زایشی می شود و این سبب کاهش تعداد شاخه جانبی در گیاه در تنش‌های بالاتر می‌شود. سیروس‌مهر و همکاران (Sirousmehr et al., 2008) در مطالعه‌ای بیان کردند که با افزایش تراکم از ۲۰ بوته در مترمربع به ۳۰ بوته در مترمربع در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)، تعداد شاخه جانبی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

تعداد گل در بوته

اثر تراکم و آبیاری بر تعداد گل در بوته معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش تراکم از ۲۰ به ۳۰ بوته در مترمربع تعداد گل در بوته ۳۴ درصد کاهش یافت. از آن جا که افزایش تراکم باعث کاهش تعداد شاخه جانبی گردید (جدول ۱)، به نظر می‌رسد، علت اصلی کاهش تعداد گل در بوته در تراکم بالاتر، مربوط به کاهش تعداد شاخه جانبی باشد. با کاهش سطوح آبیاری از سطح اول به دوم تعداد گل ۷۰ درصد کاهش یافت، در حالی‌که با کاهش بیشتر آبیاری از سطح دوم به سوم تعداد گل در بوته کاهش معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد گل در بوته در سطح چهارم آبیاری و به‌میزان سه گل در بوته مشاهده شد. زمانی که گیاهان با تنش خشکی مواجه می شوند، برای جلوگیری از خروج آب از برگ‌ها، روزنه‌های خود را به‌صورت نیمه باز نگه می‌دارند و همین امر باعث کاهش ورود دی اکسید کربن به برگ و در پی آن کاهش فتوسنتز می‌شود. در این شرایط بدیهی است که تعداد گل در بوته کاهش می‌یابد (Sarmadnia & Koocheki, 1991).

اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته در واحد سطح از نظر تعداد گل در بوته معنی‌دار ($p\leq0.05$) شد (شکل ۳)، به‌طوری که در سطح اول آبیاری تعداد گل در بوته در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بیشتر از تراکم دیگر بود، در حالی که در سطح دوم آبیاری بین دو تراکم مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نبود. با کاهش بیشتر آبیاری تعداد گل در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع تغییری نکرد و در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع با کاهش آبیاری تا سطح سوم همچنان تعداد گل در بوته کاهش یافت.

میانگین وزن هر گل

تراکم تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزن گل نداشت (جدول ۱)، با این وجود میانگین وزن گل در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع ۱۳ درصد بیشتر بود. با افزایش سطوح آبیاری، میانگین وزن گل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میانگین وزن گل در سطح اول آبیاری بیشترین و در سطح چهارم آبیاری به کمترین حد خود رسید. کاهش وزن گل در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از کمبود آب که موجب تسریع پیری شده و همین طور به بسته شدن روزنه‌ها در اثر علائم ارسال شده از ریشه در این شرایط مرتبط دانست که در نهایت، سبب کاهش فتوسنتز خالص می‌شود (Brevedan & Egli, 2003).

وزن خشک گل در بوته

تراکم تأثیر معنی‌داری وزن خشک گل در بوته داشت ($p\leq0.05$) (جدول ۱). با افزایش تراکم میانگین وزن خشک گل در بوته ۲۴ در صد کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری، وزن خشک گل در بوته کاهش یافت. بیشترین وزن خشک گل در بوته در سطح اول آبیاری و به‌میزان ۱۲/۲ گرم گل در هر بوته و کمترین وزن خشک در سطح چهارم آبیاری و به‌میزان ۳/۸ گرم گل در بوته بود.

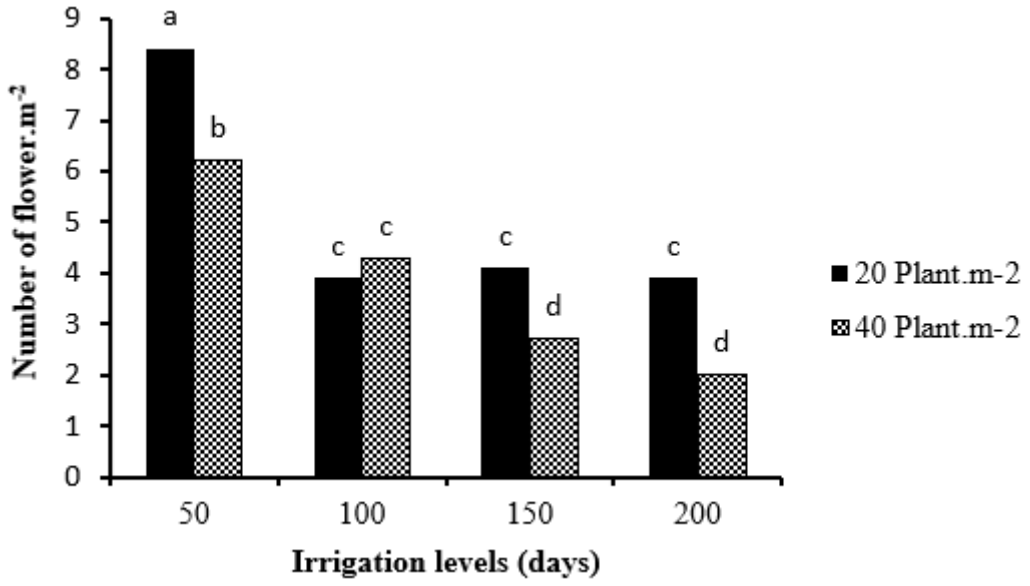
جدول ۱- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی در سرخارگل تحت تأثیر تراکم و آبیاری

Table 1- Comparison of means for some characteristics of coneflower affected by density and irrigation

تیمار Treatment	سطوح Levels	وزن خشک ریشه Root dry weight ($g.m^{-2}$)	عملکرد خشک گل Dry weight yield ($g.m^{-2}$)	تعداد کل گل Total number of flower	وزن خشک گل در بوته Flower dry weight per plant (g)	میانگین وزن هر گل Mean weight flower (g)	تعداد گل در بوته Number of flower per plant	تعداد شاخه جانبی Lateral branch	ارتفاع Height (cm)
تراکم Density ($plant.m^{-2}$)	20	83^{b}	160^{b}	102^{b}	8^{a}	1.52^{a}	5.1^{a}	$5/6^{a}$	49^{b}
	30	103^{a}	183^{a}	116^{a}	6.1^{b}	1.54^{a}	3.8^{b}	4^{b}	58^{a}
آبیاری Irrigation (mm evapotranspiration)	50	122^{a}	296^{a}	178^{a}	12.2^{a}	1.67^{a}	7.3^{a}	6.1^{a}	61^{a}
	100	91^{b}	174^{b}	105^{b}	6.9^{b}	1.66^{a}	4.2^{b}	5^{ab}	52^{a}
	150	80^{b}	125^{c}	83^{c}	5.1^{c}	1.49^{b}	3.4^{bc}	4.3^{b}	51^{a}
	200	79^{b}	92^{c}	71^{c}	3.8^{c}	1.3^{c}	3^{c}	3.8^{b}	49^{a}

* در هر ستون و برای هر فاکتور آزمایشی میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means, in each column and each factor, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's test.

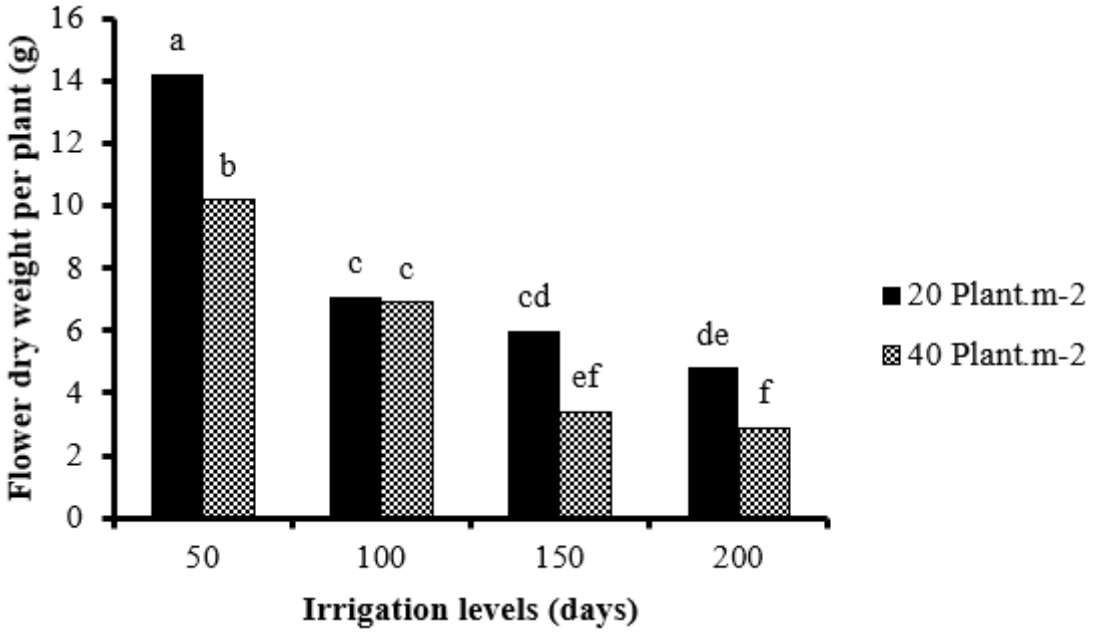


شکل ۳- اثر متقابل تراکم و آبیاری بر تعداد گل در بوته

Fig. 3- The interaction effect between density and irrigation on number of flower per plant

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک برای هر سطح تراکم، در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means for each density followed by the same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's test.



شکل ٤- اثر متقابل تراکم و آبیاری بر وزن خشک گل در بوته

Fig. 4- The interaction effect between density and irrigation on flower dry weight per plant

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک برای هر سطح تراکم، در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means for each density followed by the same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's test.

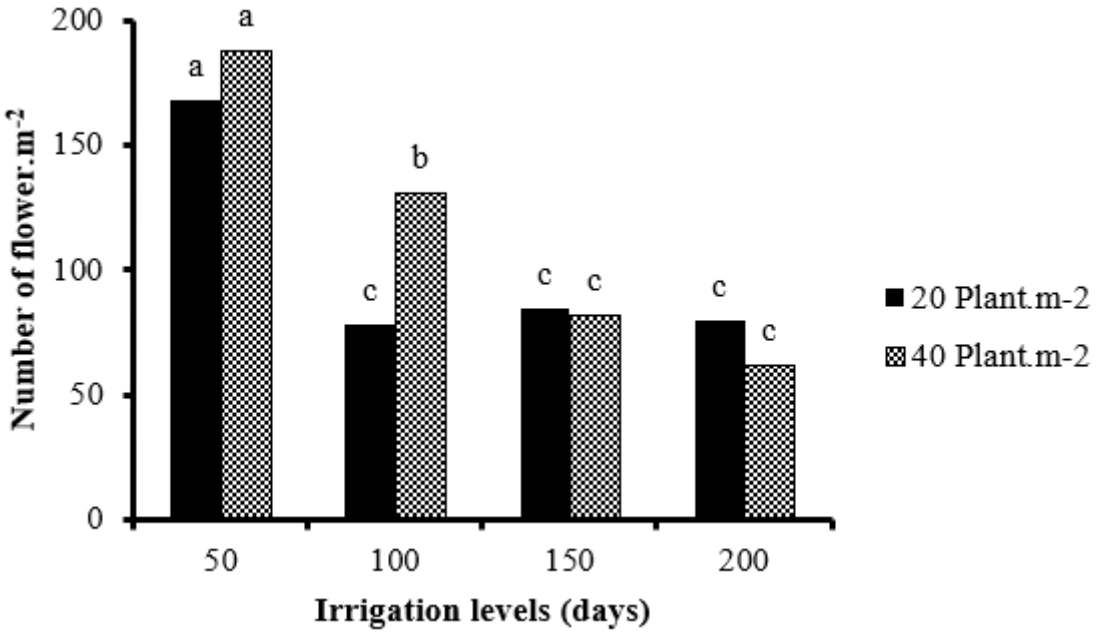
بین سطوح سوم و چهارم آبیاری از نظر وزن خشک گل در بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱)، به نظر می‌رسد، علت اصلی کاهش وزن گل در بوته در تراکم بالاتر را به کاهش تعداد گل در بوته نسبت داد. افزایش عملکرد گل در بوته را می‌توان به رشد رویشی بهتر، توسعه کانوپی و در نتیجه، استفاده بهتر از تشعشع خورشیدی و فتوسنتز بالاتر در شرایط مطلوب آبیاری نسبت داد (Koocheki &

(Nassiri Mahallati, 1993). فرانک و همکاران (Frank et al., 1999) نیز بیان داشتند افزایش تراکم منجر به کاهش وزن گل در بوته می‌شود. اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته در واحد سطح از نظر وزن خشک گل در بوته معنی‌دار شد (شکل ۴). همواره وزن خشک گل در بوته در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بیشتر از تراکم ۳۰ بوته بود. این اختلاف در تمام سطوح آبیاری به‌جز سطح دوم معنی‌دار بود.

تعداد گل در مترمربع

مجموع تعداد گل در مترمربع به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) تحت تأثیر تراکم و آبیاری قرار گرفت (شکل ۵). افزایش تراکم باعث افزایش تعداد گل در واحد سطح شد. بیشترین تعداد گل به‌مقدار ۱۱۶ گل در مترمربع در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. با کاهش میزان آبیاری از سطح اول به سطح سوم تعداد گل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی با کاهش بیشتر آبیاری تعداد گل تغییر معنی‌داری نداشت. وجود تعداد بوته زیادتر در واحد سطح در تراکم‌های بالا سبب شد، عوامل محیطی با کارآیی بیشتری مورد استفاده قرار گرفته و همچنین افزایش تراکم منجر به افزایش تعداد ساقه گل‌دهنده در واحد سطح در گیاه سرخارگل می‌شود و این امر موجب افزایش تعداد گل در واحد سطح شد. در آزمایشی روی گیاه دارویی همیشه بهار(*Calendula officinalis*) مشاهده شد با افزایش تراکم در واحد سطح تعداد گل نیز افزایش یافت (Sirousmehr et al., 2008). در شرایط تنش خشکی به‌دلیل نقصان مواد فتوسنتزی به‌علت کاهش سطح برگ، وزن خشک گیاه در واحد سطح کاهش یافته و این رفتار سبب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به ساقه‌های گل‌دهنده می‌شود و در نهایت، این امر موجب کاهش تعداد گل می‌شود (Sepehri et al., 2002).

اثر متقابل بین آبیاری و تراکم در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج اثر متقابل نشان می‌دهد که در سطح اول آبیاری بین دو تراکم اعمال شده، تفاوتی از نظر تعداد گل در واحد سطح مشاهده نشد، در حالی‌که در سطح دوم آبیاری تعداد گل در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بیشتر از تراکم ۲۰ بوته بود ($p\leq0.01$). بیشترین تعداد گل در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع و در سطح اول آبیاری به‌میزان ۱۸۸ گل در مترمربع و کمترین تعداد گل در سطح چهارم آبیاری و در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به‌میزان ۶۲ گل در مترمربع مشاهده شد.



شکل ۵- اثر متقابل تراکم و آبیاری بر تعداد گل در مترمربع

Fig. 5- The interaction effect between density and irrigation on number of flower per meter squar

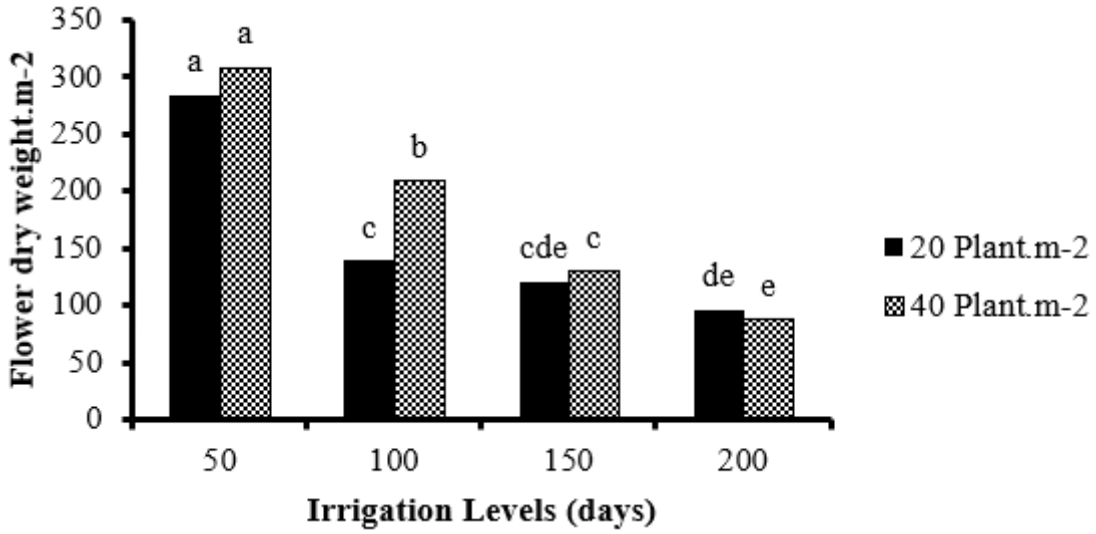
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک برای هر سطح تراکم، در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means for each density followed by the same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's test.

وزن خشک گل در واحد سطح

نتایج مقایسه میانگین ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که با افزایش تراکم، عملکرد گل در واحد سطح افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند ($p\leq0.05$). با افزایش تراکم از ۲۰ بوته به ۳۰ بوته در مترمربع، عملکرد گل ۱۴ در صد افزایش یافت. وزن خشک گل در واحد سطح همچنین تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت، بیشترین و کمترین عملکرد گل به‌ترتیب در سطح اول و سطح چهارم آبیاری و به‌میزان ۲۹۶ و ۹۲ گرم مشاهده شد. نتیجه تحقیق حاضر برخلاف پارامنتر و لیته جان (Paramente & Littlejohn, 1997) بود که در آزمایشی روی سرخارگل نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد گیاه در تراکم ۲۰ بوته بر مترمربع به‌دست می‌آید و با افزایش تراکم بیشتر از ۲۰ بوته در مترمربع تغییری در عملکرد گل به‌وجود نمی‌آید. فرانک و همکاران (Frank et al., 1999) اظهار داشتند که اگر چه با افزایش تراکم وزن گل در بوته کاهش یافت، ولی وزن خشک گل در واحد سطح افزایش یافت. این موضوع نشان‌دهنده این است که با وجود آن که سرخارگل گیاهی رشد نامحدود و با قابلیت شاخه‌زنی زیاد است، در تراکم کم شاخه‌زنی زیادتر نمی‌تواند کمی تعداد بوته در مترمربع را جبران نماید. مارتین و دو (Martin & Deo, 2000) نیز گزارش کردند عملکرد گل در تراکم های بیشتر از ۴۶ بوته ۱۷۹ و ۳۳۲ بوته در مترمربع تفاوت معنی‌دار نداشت، امّا در تراکم های کمتر (۹ و ۲۶ بوته در مترمربع) این عملکرد کاهش یافت.

بالاترین عملکرد گل در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع و به‌میزان ۳۰۸ گرم در مترمربع بود و کمترین عملکرد در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و در سطح چهارم آبیاری به‌میزان ۸۷ گرم در مترمربع بود (شکل ۶). در سطح اول و دوم آبیاری عملکرد گل در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بیشتر بود، در حالی‌که با کاهش بیشتر آبیاری عملکرد گل در تراکم ۲۰ بوده در مترمربع بیشتر بود. این نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که سرخارگل نیز مانند اکثر گیاهان در تراکم بالا در تنش آبی صدمه بیشتری نسبت به تراکم کمتر می‌بیند (Sarmadnia & Koocheki, 1991).



شکل ٦- اثر متقابل تراکم و آبیاری بر وزن خشک گل

Fig. 6- The interaction effect between density and irrigation on flower dry weight

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک برای هر سطح تراکم، در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means for each density followed by the same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's test.

وزن خشک ریشه

بین تراکم‌های مختلف در تولید وزن خشک ریشه در واحد سطح اثر معنی‌داری وجود داشت ($p\leq0.05$) (جدول ۱). با افزایش تراکم از ۲۰ بوته به ۳۰ بوته در مترمربع وزن خشک ریشه ۲۴ در صد افزایش یافت. وزن خشک ریشه در تیمارهای مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری داشت. با افزایش سطح آبیاری بر مقدار وزن خشک ریشه افزوده شد. بالاترین مقدار وزن خشک ریشه در واحد سطح مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک، و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۲۰۰

میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک بود (جدول ۱). افزایش رطوبت باعث کاهش مقاومت مکانیکی خاک و افزایش رشد ریشه می‌شود (Pol Shekane Pahlavan et al., 2008) عمق ریشه دوانی و توسعه ریشه‌ها در صورتی که توسط عوامل دیگر محدود نشود، به‌وسیله رطوبت خاک کنترل می‌شود (Laboski et al., 1998) . آدیکو و همکاران (Adiku et al., 2001) گزارش کردند که در شرایط آبیاری خوب رشد و انشعاب ریشه‌ها بهتر صورت می‌گیرد و ریشه‌ها حجم بیشتری از خاک را اشغال می‌کنند. در آزمایشی که روی گندم با دو سطح آبیاری بعد از ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A انجام شد، مشخص گردید که بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به سطح آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر است (Pol Shekane Pahlavan et al., 2008).

نتیجه‌گیری

گیاه دارویی سرخارگل از جمله گونه‌های غیربومی حائز اهمیت در ایران با دامنه وسیعی از خصوصیات دارویی بوده که قابلیت اهلی شدن کشت گسترده و بهره‌برداری ازمواد موثره آن وجود دارد. نتایج این مطالعه روی تأثیر تراکم و آبیاری بر شاخص‌های رشدی و عملکرد این گیاه دارویی نشان داد که تمام صفات مورد بررسی و شاخص‌های رشدی چون شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گل در بوته، میانگین وزن هر گل، تعداد و وزن خشک گل در بوته، تعداد گل در واحد سطح، وزن تر و خشک گل در واحد سطح و وزن خشک ریشه تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت؛ به طوری‌که با افزایش سطوح آبیاری رشد بوته‌های سرخارگل افزایش یافت. به‌طور کلی، بیشترین عملکرد گل در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع و سطح اول آبیاری به‌میزان ۳۰۸ گرم در مترمربع و کمترین عملکرد گل در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و سطح چهارم آبیاری به‌میزان ۸۷ گرم در مترمربع به‌دست آمد. با توجه به نتایج آزمایش، زمان آبیاری بین ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع، مناسب‌ترین ترکیب جهت تولید حداکثر عملکرد گل در شرایط آب و هوایی مشهد باشد که البته با توجه به مطالعات اندک روی این گیاه، انجام آزمایشات تکمیلی توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل طرح شماره ۲۳ پ مصوب ۱۳۸۹/۰۱/۲۱ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

Adiku, G.K.S., Ozier-Lafontaine, H., and Bajazet, T., 2001. Patterns of root growth and water uptake of a maize-cowpea mixture grown under greenhouse conditions. Plant and Soil 235: 85–94.

Birt, D.F., Widrlechner, M.P., Hammer, K.D.P., Hillwig, M.L., Wei, J.Q., Kraus, G.A., Murphy, P.A., McCoy, J.A., Wurtele, E.S., Neighbors, J.D., Wiemer, D.F., Maury, W.J., and Pric, J.P., 2009. Hypericum in infection: Identification of anti-viral and anti-inflammatory constituents. Pharmaceutical Biology. New York: Informa Healthcare 47(8): 774-782.

Birt, D.F., Widrlechner, M.P., LaLone, C.A., Wu, L.K., Bae, J.H., Solco, A.K.S., Kraus, G.A., Murphy, P.A., Wurtele, E.S., Leng, Q.A., Hebert, S.C., Maury, W.J., and Price, J.P., 2008. Echinacea in infection. American Journal of Clinical Nutrition 87 (2) Bethesda: American Society for Clinical Nutrition 488S-492S.

Brevedan, R.E., and Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. Crop Science 43: 2083-2088.

Callan, N.W., Yokelson, T., Wall-MacLane, S., Westcott, M.P., Miller, J.B., and Ponder, G., 2005. Seasonal trends and plant density effects on cichoric acid in *Echinacea purpurea* (L.) Moench. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plant 11(3) Binghamton: Haworth Herbal Press 35-46.

Cosculleola, F., and Fact, J.M., 1992. Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield functions in respect to water using a line source sprinkler. Field Crops Abstract 93: 5611.

Debaeke, P., and Aboudrare, A., 2004. Adaptation of crop management to waterlimited environments. Europ. Journal of Agronomy 21: 433-466.

Foster, S., 1991. Echinacea: Nature's Immune Enhancer, Healing Arts Press, Rochester, VT.

Frank, R., Schenk, R., and Nagell, A., 1999. *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt. - yield and ecidnacoside content. Acta Horticulture 502: 163-166.

Gray, D.E., Pallardy, S.G., Garrett, H.E., and Rottinghaus, G.E., 2003. Acute drought stress and plant age effects on alkamide and phenolic acid content in purple coneflower roots. Planta Medica 69(1) Stuttgart: Georg Thieme Verlag 50-55.

Hobbs, C.B., 1994. Echinacea, a literature review. Herbalgram 30: 33-47.

Javadi, H., 2008. Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6(1): 59-66. (In Persian with English Summary)

Kafi, M., Zand, E., Kamkar, B., Sharifi, R., and Goldani, M., 2000. Plant Physiology. Mashhad Jihad University Press, Iran. 379 pp. (In Persian)

Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 1993. Soil and water relations in plants. Mashhad Jihad University Press, Iran. 560 pp. (In Persian)

Laboski, C.A.M., Dowdy, R.H., Allmars, R.R., and Lamb, J.A., 1998. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. Plant and Soil 203: 239-247.

Martin, R.J., and Deo, B., 2000. Effect of plant population on *Calendula officinalis* flower production. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 28(1): 37-44.

Nesmith, D.S., and Ritchie, J.T., 1992. Short - and long - term responses of corn to a pre - anthesis soil water deficit. Agronomy Journal 84: 107-113.

Norozpoor, G., and Rezvani Moghaddam, P., 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella sativa*). Pajouhesh & Sazandegi. 73: 133-138. (In Persian with English Summary)

Omidbeigi, R., 1995. Approach to Production and Processing of Medicinal Plants. Rahan Nashr Prss, Iran. 424 pp. (In Persian)

Omidbeigi, R., 2001. Investigation and adaptablity cultivation of purple coneflower (*Echinacea purpurea*) in northern of Tehran. Journal of Agriculture Science. Natur. Resour. 6(2): 231-240. (In Persian with English Summary)

Parmenter, G.A., and Littlejohn, R.P., 1997. Planting density effects on root yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Moench). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 25 (2): 169-175.

Pol Shekan-e Pahlavan, M.R., Movahedi Naeini, S.A.R., Eatesam, G.R., and Keykha, G., 2008. Wheat plant growth and yield with different planting systems and irrigation frequency 2-soil and plant nutrients. Journal of Agriculture Science Nature Resour 14(5): 51-63. (In Persian with English Summary)

Sarmadnia, G., and Koocheki, A., 1991. Crop Physiology. Mashhad Jihad University Press, Iran. (In Persian)

Sepehri, A., Modares-Sani, S.A., Ghareyazi, B., and Yamini, Y., 2002. The effect of water stress and different levels of nitrogen on the growth, yield and yield components of maize. Iranian Crop Sciences 4: 184-201. (In Persian with English Summary)

Shalaby, A.S., El-Gengaihi, S.E., Agina, E.A., El-Khayat, A.S., and Hendawy, S.F., 1997. Growth and yield of *Echinacea purpurea* L. as influenced by planting density and fertilization. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants 5(1): 69-76.

Sirousmehr Member, A., Shakiba, M.R., Aliyari, H., Toorchi, M., and Dabbagh Mohammadinasab. M., 2008. Effects of water deficit stress and plant density on yield and some morphological traits of Autumn-sown safflower cultivars. Pajouhesh and Sazandegi 78: 80-87. (In Persian with English Summary)

Watson, R.R., and Preedy, V.R., 2008. Herbs and infectious diseases. Botanical medicine in clinical practice Wallingford: CAB International 222-227.