University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 3, pp. 835-851 (Fall 2023)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.4928.2107

Original article

The influence of terminal heat stress on physiological and yield characteristics of promising sunflower cultivars in Ahvaz climate condition

B. Sheikh Mamo[1], A. Rahnama[2*], P. Hassibi[2]

1. MSc student, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2. Associate Professors, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Received 30 January 2022; Accepted 7 June 2022

Extended abstract

Introduction

Climate change and global warming which are the consequences of rising temperatures, can affect agriculture in various ways. Heat stress is a serious threat to crop production in the world. Higher mean temperatures generally result in increased heat stress. This abiotic stress can adversely affect crop productivity and quality and weaken global food security. With current increased average temperatures, the occurrence of heat stress could become more intense. Terminal heat stress is the most widespread heat stress, limiting crop yields. Terminal heat stress during the reproductive stages will have a negative influence on grain yield and oil quality traits of oil seed crops. Sunflower is an annual oilseed crop with adaptation to dry land or irrigated cropping systems. It is suited to both spring and summer planting in most regions and it will be exposed to major climate change and potentially impacted by high mean temperatures. Therefore, climate change and heat stress is a major production constraint for sunflower worldwide and it may be severely damaged when exposed to stresses above its tolerance threshold.

Materials and methods

In order to study of agronomic and physiological traits of sunflower cultivars under terminal heat stress, a field experiment was carried out during 2017-2018 growing season in Ahvaz conditions in a split plot arrangement in randomized complete blocks design with three replications. Main plots consisted of three sowing date including; 11th Nov, 11th Dec and 11th Jan, and sub plots consisted of five sunflower cultivars including; Qasem, Fantasia, Shams, Lakomka and Progress. Sowing date with desired temperature was considered as control, delayed and late sowing dates were considered as heat stress so that the flowering and grain filling periods of cultivars exposed to normal condition, moderate and severe terminal heat stress, respectively. Sunflower cultivars were evaluated under the optimum temperature (sown in the 11 November) and terminal heat stress condition (sown in 11 December and 11 January to expose the sunflower to higher temperatures than the optimum at the grain filling stage).

Results and discussion

Terminal heat stress in delayed and late sowing date caused a decrease in biological yield, grain yield, number of seeds per head, 1000-seed weight, head weight, oil yield, chlorophyll index, relative water content, chlorophyll content and stomatal conductance. There was a significant difference between cultivars in terms of all traits. Lakomka and Progress had the highest values of grain and oil yield under

* Corresponding author: Afrasyab Rahnama; E-Mail: a.rahnama@scu.ac.ir

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

control conditions, respectively. Late sowing date was led to a significant reduction in grain yield of Qasem, Fantasia, Progress, Lakomka and Shams cultivars by 69, 38, 6, 31 and 14%, respectively, compared to control. It was equal to 2.2, 1.2, 0.2, 1.1 and 0.4% for each day of sowing delay, respectively.

Conclusion
Lakomka cultivar showed higher oil yield in all three sowing date compared to other cultivars. In delayed sowing date, Progress cultivar showed higher oil yield due to higher grain yield and oil percentage. Due to the reduction of grain and oil yield in delayed sowing date, the perspective of sunflower cultivation in Khuzestan is probably related to its potential adaptation to climate change.

Keywords: Chlorophyll index, Grain yield, Oil percentage, Stomatal conductance

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.4928.2107

مقاله پژوهشی

تأثیر تنش گرمای انتهای فصل بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکردی ارقام امیدبخش آفتابگردان در شرایط آب و هوایی اهواز

بهنوش شیخ‌مموا[۱]، افراسیاب راهنما[۲*]، پیمان حسیبی[۲]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
درصد روغن
شاخص کلروفیل
عملکرد دانه
هدایت روزنه‌ای

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۳/۱۷

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۲

۱۶(۳): ۸۳۵-۸۵۱

چکیده

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زراعی ارقام امیدبخش آفتابگردان در شرایط تنش گرمای انتهای فصل، پژوهشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سه تاریخ کاشت شامل: ۲۰ آبان، ۲۰ آذر و ۲۰ دی در کرت‌های اصلی و پنج رقم آفتابگردان قاسم، فانتازیا، پروگرس، لاکومکا و شمس در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تاریخ کاشت به هنگام با شرایط دمایی مطلوب به‌عنوان شاهد و تاریخ کشت‌های تأخیری و دیرهنگام به‌عنوان تنش گرمایی در نظر گرفته شد به‌گونه‌ای که دوران گلدهی و پر شدن دانه در مواجه با تنش گرمای انتهای فصل بود. نتایج آزمایش نشان داد وقوع تنش گرمای آخر فصل کشت تأخیری و دیرهنگام سبب کاهش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، وزن طبق، عملکرد روغن، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی، غلظت کلروفیل کل و هدایت روزنه‌ای شد. بین ارقام تفاوت معنی‌داری ازنظر صفات موردمطالعه وجود داشت. رقم‌های لاکومکا و پروگرس به ترتیب دارای بالاترین مقادیر عملکرد دانه و روغن در شرایط شاهد بودند. در کشت دیرهنگام، عملکرد دانه در ارقام قاسم، فانتازیا، پروگرس، لاکومکا و شمس به ترتیب به میزان ۶۹، ۳۸، ۶، ۳۱ و ۱۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. این میزان به ترتیب برابر با ۲/۲، ۱/۲، ۰/۲، ۱/۱ و ۰/۴ درصد به ازای هرروز تأخیر در کاشت بود. با توجه به کاهش درصد و عملکرد روغن در شرایط تأخیر در تاریخ کاشت، به نظر می‌رسد چشم‌انداز کشت آفتابگردان در استان خوزستان مرتبط با انطباق این گیاه با تغییر اقلیم باشد.

مقدمه

اقلیم جهان در طی قرن گذشته به‌طور قابل‌توجهی تغییر یافته است و با افزایش میانگین دمای هوا و گرمایش جهانی، پیش‌بینی می‌شود امواج گرمایی با شدت و تناوب بیشتری رخ دهد (Meehl and Tebaldi, 2004). تنش گرما به‌عنوان یکی از تنش‌های مهم غیر زیستی، تهدیدی جدی برای تولید محصولات زراعی جهان در زمان حال و آینده محسوب می شود. دماهای بالا به‌صورت موقت یا پایدار صفات مورفولوژیکی، آناتومیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بسیاری را در گیاهان زراعی تحت تأثیر قرار می‌دهند و باعث محدودیت رشد، متابولیسم و بهره‌وری گیاهان زراعی و کاهش عملکرد اقتصادی گیاه می‌شوند (Cantamutto and Poverene, 2007).

آفتابگردان به‌عنوان یکی از گیاهان دانه روغنی مهم به دلیل سازگاری بالا با شرایط اقلیمی مختلف در دامنه وسیعی از مناطق جهان جهت تولید روغن‌های خوراکی کشت‌شده و دارای ارزش کشاورزی و اقتصادی بالایی است (Cantamutto and Poverene, 2007). عملکرد پایدار این گیاه به‌عنوان یک محصول بهاره و تابستانه در معرض تغییرات

* نگارنده پاسخگو: افراسیاب راهنما. پست الکترونیک: a.rahnama@scu.ac.ir

اقلیمی به‌ویژه کمبود آب و دماهای بالا قرار دارد و وقوع امواج شدید گرما در طی دوره رشد آن تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد دانه و کیفیت روغن خواهد داشت.

آستانه دمایی برای آفتابگردان ۲۶ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد است و دماهای بالاتر از این سطح آستانه، تنش گرمایی محسوب می‌شود. (Rondanini et al., 2006). آستانه دمایی در مراحل مختلف رشدی آفتابگردان متفاوت است و این گیاه در مرحله گرده‌افشانی نسبت به سایر مراحل رشدی به تنش گرمایی حساس‌تر است (Moriondo et al., 2011). تنش گرما در طی دوران زایشی آفتابگردان عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان را به‌شدت کاهش می‌دهد به‌طوری‌که مواجه بوته های آفتابگردان در طی دوره پر شدن دانه به مدت ۷ روز متوالی در دماهای ۳۵، ۳۷ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش وزن دانه و محتوای روغن، افزایش درصد پریکارپ و تغییر ترکیب اسیدهای چرب می‌شود. بیشترین حساسیت وزن دانه به تنش گرما، ۱۲ تا ۱۹ روز پس از گلدهی و بیشترین حساسیت اجزای کیفیت روغن به تنش گرما، ۱۹ تا ۲۶ روز پس از گلدهی است (Rondanini et al., 2003). تنش گرمایی در طی مراحل زایشی آفتابگردان از طریق عقیم شدن دانه گرده و تخمک اثرات نامطلوبی بر لقاح، تعداد دانه، میزان و مدت‌زمان پر شدن دانه و رشد جنین، وزن دانه و ویژگی‌های روغن دانه خواهد داشت (Chimenti et al., 2001; Prasad and Staggenborg, 2008) و این امر بیانگر پایین بودن آستانه تحمل دمایی اندام‌های زایشی است. اثرات تنش گرما در طول دوره پر شدن دانه آفتابگردان بر وزن نهایی دانه و کیفیت روغن قابل‌توجه است به‌گونه‌ای که در طی این دوره افزایش دما بالاتر از حد مطلوب سبب کاهش وزن نهایی دانه (Chimenti et al., 2001; Rondanini et al., 2003) و کیفیت روغن می‌شود (Rondanini et al., 2003). به نظر می‌رسد این امر به دلیل کاهش سرعت و طول دوره رشد جنین و کاهش تعداد دانه در طبق، کاهش سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی باشد (Chimenti and Hall, 2001).

کاهش رشد برگ، میزان فتوسنتز خالص، محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای و افزایش محتوای پروتئین محلول برگ بوته‌های آفتابگردان در مواجه با دماهای بالاتر از ۳۳ درجه سانتی‌گراد گزارش‌شده است (Dekov et al., 2001; Haba et al., 2014). تنش گرما در طی دوره رشد دانه، کیفیت روغن و ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان را تغییر می‌دهد به‌گونه‌ای که علاوه بر کاهش عملکرد روغن از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های غیراشباع کننده اسیدهای چرب سبب کاهش درصد اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش کیفیت روغن می‌شود (Leon et al., 2003; Werteker et al., 2010). در مطالعات پیشین تأثیر تنش دماهای بالا بر کاهش عملکرد دانه آفتابگردان (Rondanini et al., 2006; De la Vega and Hall, 2002) و کیفیت و محتوای روغن دانه (Haba et al., 2014; Lawlor and Cornic, 2002) گزارش‌شده است و کاهش عملکرد دانه به کاهش تعداد دانه در طبق و کاهش وزن هزار دانه نسبت داده‌شده است (Ferreira and Abreu, 2001).

با توجه به اهمیت آفتابگردان به‌عنوان یکی از دانه‌های روغنی در کشور و استان خوزستان و نیز با توجه به شرایط آب و هوایی گرم و خشک خوزستان و نیز وقوع گرمای انتهای فصل در کشت پاییزه این گیاه، این پژوهش با هدف بررسی اثر تنش گرمای انتهای فصل بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی ارقام امیدبخش آفتابگردان در شرایط اهواز و انتخاب رقم مناسب و دستیابی به تاریخ کاشت و عملکرد مطلوب آفتابگردان در این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

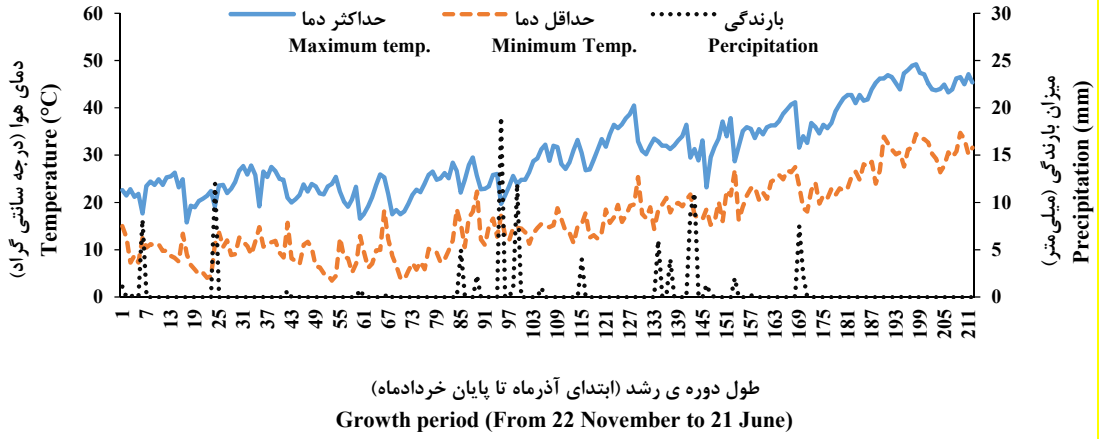
این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی سه تاریخ کاشت ۲۰ آبان ماه (کاشت به هنگام)، ۲۰ آذرماه (کاشت تأخیری) و ۲۰ دی‌ماه (کاشت دیرهنگام) در کرت‌های اصلی و فاکتور فرعی شامل پنج رقم آفتابگردان قاسم، فانتازیا، پروگرس، لاکومکا و شمس در کرت‌های فرعی قرار گرفت. برخی از مشخصات آب و هوایی منطقه آزمایش در طول سال زراعی مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج آزمون خاک مزرعه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، بافت خاک لومی شنی، میزان ماده آلی ۰/۴۳ درصد، اسیدیته ۷/۴، هدایت الکتریکی ۴/۸ دسی زیمنس بر متر و نیتروژن کل ۰/۰۹۸ درصد بود.

بذرهای آفتابگردان روی پنج ردیف سه متری با فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر در

عمق ۵ تا ۷ سانتی‌متری در تاریخ کشت‌های موردنظر کشت شد.

با توجه به نتایج آزمون خاک، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع فسفات آمونیوم در هنگام کاشت و ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان کاشت و به‌صورت سرک در مرحله ۷-۸ برگی به خاک اضافه شد. جهت تعیین ظرفیت زراعی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه به‌طور تصادفی نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. رطوبت ظرفیت زراعی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و در مکش ۳۳ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. آبیاری مزرعه بلافاصله پس از کاشت انجام شد. به‌منظور جلوگیری از آبشویی املاح و عناصر غذایی خاک و همچنین بر اساس زمان مطلوب مورد توصیه برای آبیاری آفتابگردان و در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی منطقه مورد آزمایش، آبیاری‌های بعدی با توجه به رسیدن میزان رطوبت خاک به حدود ۸۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد (Matev et al., 2012). درصد رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) (ProCheck, Decagon Devices, USA) اندازه‌گیری شد.



شکل ۱. دمای حداکثر و حداقل و میزان بارندگی منطقه آزمایش در طول سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

Fig. 1. Maximum and minimum rainfall and temperature data of the experimental area during 2016-2017

هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Delta-T AP4 Devices, UK) بین ساعت ۹/۳۰ صبح تا ۱۲ و شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Monilota SPAD-502 Chlorophyll meter, Japan)، غلظت کلروفیل کل با استفاده از روش لیختن تالر (Lichtenthaler, 1987) و محتوی نسبی آب برگ با استفاده از روش والنتوویچ و همکاران (Valentovic et al., 2006) اندازه‌گیری شد. برای این منظور اندازه‌گیری‌ها بر روی سطح برگ سوم از پنج بوته در هر واحد آزمایشی در مرحله‌ی ظهور طبق انجام شد.

در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه، با در نظر گرفتن اثر حاشیه، ۵ بوته از هر واحد آزمایشی برداشت شد و پس از جدا کردن طبق از بوته و خشکاندن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، میزان عملکرد و اجزای عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. همچنین جهت تعیین عملکرد دانه، ۱۵ بوته از هر واحد آزمایشی برداشت و پس از تفکیک دانه از بوته، میزان عملکرد دانه برحسب رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. تاریخ برداشت و نمونه‌برداری عملکرد کمی و کیفی در تاریخ کاشت به هنگام، ۲۹ فروردین با میانگین دمای ۳۲/۹ درجه سانتی‌گراد و با بیشینه دمای ۳۸/۷ درجه سانتی‌گراد در فروردین‌ماه و در تاریخ کشت‌های تأخیری و دیرهنگام به ترتیب ۱۲ و ۲۴ اردیبهشت با میانگین دمای ۳۶/۳ درجه سانتی‌گراد و با بیشینه دمای ۴۱/۲ درجه سانتی‌گراد در این ماه بود. مجموع واحدهای حرارتی دریافت شده برای تاریخ کاشت های اول، دوم و سوم به ترتیب ۲۲۶۶، ۱۷۸۸ و ۲۱۹۵ بود (جدول ۱). جهت تعیین درصد روغن دانه، پس از برداشت، جدا کردن مغز و دانه و خشک شدن در آون و پس از آسیاب کردن، درصد روغن دانه با کمک حلال اتر و با روش سوکسله تعیین گردید. عملکرد روغن در واحد سطح از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۱ انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح ۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

جدول ۱. درجه روز رشد ارقام امیدبخش آفتابگردان تا مرحله رسیدگی در تاریخ کشت‌های مختلف

Table 1. Growth degree day (GDD) of promising sunflower cultivars until maturity under different sowing dates

	Growth stages مراحل اصلی رشد									
	Germination جوانه‌زنی					Leaf development نمو برگ				
تاریخ کاشت Sowing date	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams
۲۰ آبان ماه (کاشت به هنگام) Desired sowing date	283.5	269.5	275.7	286.8	264.3	576.4	582.1	571.8	577.5	584.5
۲۰ آذرماه (کاشت تأخیری) Delayed sowing date	224.2	212.2	231.4	218.7	221.9	448.4	452.5	446.7	452.5	445.2
۲۰ دی‌ماه (کاشت دیرهنگام) Late sowing date	274.5	269.8	277.5	269.8	276.2	549.2	561.5	544.5	551.6	545.5

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

	Growth stages مراحل اصلی رشد									
	Stem elongation طویل شدن ساقه					Head emergence ظهور طبق				
تاریخ کاشت Sowing date	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams
۲۰ آبان ماه (کاشت به هنگام) Desired sowing date	858.5	851.5	864.3	849.9	856.8	1144.2	1156.5	1163.3	1148.9	1140.5
۲۰ آذرماه (کاشت تأخیری) Delayed sowing date	673.4	666.8	679.5	655.8	683.9	898.5	885.7	902.5	891.5	904.4
۲۰ دی‌ماه (کاشت دیرهنگام) Late sowing date	824.5	831.5	843.2	829.5	826.8	1097.5	1100.4	1088.6	1093.8	1103.5

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

	Growth stages مراحل اصلی رشد									
	Flowering گلدهی					Development of fruit نمو میوه				
تاریخ کاشت Sowing date	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams
۲۰ آبان ماه (کاشت به هنگام) Desired sowing date	1431.5	1439.9	1445.5	1448.9	1500.5	1721.5	1743.9	1714.5	1733.9	1709.8
۲۰ آذرماه (کاشت تأخیری) Delayed sowing date	1126.5	1132.8	1141.4	1122.1	1132.7	1349.5	1358.4	1339.9	1343.5	1354.3
۲۰ دی‌ماه (کاشت دیرهنگام) Late sowing date	1378.4	1399.1	1378.5	1394.6	1401.5	1655.5	1649.9	1652.5	1665.9	1660.1

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

	Growth stages مراحل اصلی رشد									
	Maturity رسیدگی					Senescence پیری				
تاریخ کاشت Sowing date	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams	قاسم Qasem	فانتازیا Fantasia	پروگرس Progress	لاکومکا Lakomka	شمس Shams
۲۰ آبان ماه (کاشت به هنگام) Desired sowing date	2007.5	20145.9	1997.9	2014.5	2001.9	2271.5	2256.8	2264.3	2268.4	2266.5
۲۰ آذرماه (کاشت تأخیری) Delayed sowing date	1581.5	1599.8	1574.5	1581.9	1595.8	1802.5	1795.9	1793.0	1799.9	1788.5
۲۰ دی‌ماه (کاشت دیرهنگام) Late sowing date	1928.9	1934.9	1922.8	1955.7	1941.5	2206.4	2193.0	2201.5	2188.9	2195.5

نتایج و بحث

نتایج آزمایش نشان داد، بین ارقام و سطوح تنش گرما ازنظر صفات عملکرد دانه، وزن طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ و غلظت کلروفیل کل در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت. برهم‌کنش کلیه صفات به‌جز وزن هزار دانه نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

عملکرد دانه

تأخیر در کاشت به‌طور متفاوتی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ارقام شد. بیشترین عملکرد دانه ارقام در کاشت به هنگام مشاهده شد و با تأخیر در تاریخ کاشت به دلیل هم‌زمانی دوران پر شدن دانه و رسیدگی با تنش گرمای انتهای فصل در ابتدای بهار و کوتاه شدن طول دوره رشد و پر شدن دانه، میزان عملکرد دانه همه ارقام در کاشت تأخیری و دیرهنگام به ترتیب به میزان ۳۰ درصد و ۳۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در تاریخ کاشت به هنگام، بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در رقم لاکومکا و شمس مشاهده شد. در کشت تأخیری و دیرهنگام نیز بیشترین عملکرد دانه در رقم لاکومکا و کمترین عملکرد دانه در رقم قاسم مشاهده شد (جدول ۴).

بر اساس محاسبه مجموع واحدهای حرارتی دریافت شده از زمان کاشت تا برداشت در هر تاریخ کاشت ملاحظه شد که مجموع واحد حرارتی دریافت شده در تاریخ کاشت به هنگام برابر با ۲۲۶۶ بود، درصورتی‌که در کاشت تأخیری این مقدار برابر با ۱۷۸۸ واحد حرارتی بود، به عبارتی در کاشت تأخیری علیرغم ۱۴ روز تأخیر در برداشت، مجموع واحدهای حرارتی کمتری دریافت شده بود و به دلیل برخورد مرحله پر شدن دانه با دماهای بالا، طول دوره رشد نسبت به کاشت به هنگام حدود ۱۸ روز کوتاه‌تر شد، همچنین مجموع واحدهای حرارتی در کاشت دیرهنگام نیز برابر با ۲۱۹۵ درجه روزرشد بود و علیرغم دریافت واحدهای حرارتی مشابه با کاشت به هنگام، به لحاظ تسریع در سپری شدن مراحل فنولوژیکی گلدهی، تلقیح و پر شدن دانه و کوتاه شدن مدت‌زمان پر شدن دانه ازیک‌طرف و کوتاهی دوره گرده‌افشانی و تلقیح از طرف دیگر، رشد و عملکرد محصول به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر گرمای آخر فصل قرار گرفت. به عبارتی طول دوره رشد در کاشت دیرهنگام نسبت به تاریخ کاشت به هنگام ۳۶ روز کوتاه‌تر بود (جدول ۱).

تنش گرمای ناشی از کاشت دیرهنگام منجر به کاهش ۶۹، ۳۸، ۶، ۳۱ و ۱۴ درصدی عملکرد دانه ارقام قاسم، فانتازیا، پروگرس، لاکومکا و شمس در مقایسه با کاشت به هنگام شد و این میزان به ترتیب برابر با ۲/۲، ۱/۲، ۰/۲، ۱/۱ و ۰/۴ درصد کاهش به ازای هر روز تأخیر در کاشت و هم‌زمانی دوران پر شدن دانه با گرمای انتهای فصل بود. به عبارتی با تأخیر در کاشت، به دلیل برخورد دوران رشد زایشی گیاه با تنش گرما و کاهش دوره‌ی رشد رویشی کوتاه و ورود سریع به مرحله زایشی، اجزای عملکرد دانه مانند تعداد دانه و وزن هزار دانه و به دنبال آن عملکرد دانه کاهش یافت. آفتابگردان در مرحله زایشی به تنش گرما حساس است و بیشترین کاهش عملکرد نیز در زمان وقوع تنش گرمایی در مرحله پر شدن دانه گزارش شده است (Kalyar et al., 2014). تغییر در سرعت و مدت‌زمان پر شدن دانه آفتابگردان با تغییر نفوذ نور در کانوپی گیاه و کارایی استفاده از نور ارتباط دارد و این ویژگی تحت تأثیر تاریخ کاشت و دوره رشد گیاه قرار می‌گیرد و موجب تغییرات چشمگیر در عملکرد دانه می‌گردد (De la Vega and Hall, 2002).

تعداد دانه در طبق

تعداد دانه در طبق به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد آفتابگردان با تأخیر در تاریخ کاشت در همه ارقام به‌جز فانتازیا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در طبق در کاشت به هنگام و کمترین تعداد مربوط به کاشت دیرهنگام بود (جدول ۳).

منطبق با نتایج عملکرد دانه، تأخیر در تاریخ کاشت به دلیل هم‌زمانی دوران گلدهی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهای فصل و ایجاد اختلال در عمل گرده‌افشانی و فعالیت حشرات گرده‌افشان سبب کاهش تعداد دانه در طبق و درنتیجه عملکرد دانه گردید. نکته قابل‌توجه این‌که میانگین تعداد دانه در طبق همه ارقام در کاشت تأخیری و دیرهنگام به ترتیب به میزان ۳۱ و ۳۹ درصد کاهش یافت و میزان سهم کاهش عملکرد دانه در کاشت دیرهنگام به مقدار بیشتری بستگی به کاهش تعداد دانه در طبق داشت (جدول ۳). کاهش قابل‌توجه تعداد دانه در طبق در اثر تأخیر در کاشت در مطالعات پیشین نیز گزارش‌شده است (Chimenti and Hall, 2001; Barros et al., 2004).

جدول ۲. میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام امیدبخش آفتابگردان در شرایط تنش گرمای انتهای فصل

Table 2. Mean square in agronomic and physiological traits of promising sunflower cultivars under terminal heat stress condition

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در طبق Grain number per head	وزن هزار دانه 1000 grain weight	وزن طبق Head weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک Block	2	7435^{ns}	38678^{ns}	71^{ns}	209^{ns}	17148^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date (SD)	2	899457**	915927*	966**	1155**	10993218**
خطای اصلی Ea	4	12382	19091	55	191	146772
رقم Cultivar (C)	4	1454621**	726655**	5187**	10154**	27977745**
تاریخ کاشت×رقم C × SD	8	154486**	104783**	76^{ns}	1051**	624189**
خطای فرعی Eb	24	12360	9855	41	85	165507
ضریب تغییرات C.V (%)		*10.2*	*10.9*	*8.7*	*8.4*	*8.9*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوی نسبی آب برگ RWC	غلظت کلروفیل Total chlorophyll concentration
بلوک Block	2	74.3**	2892^{ns}	0.375^{ns}	0.0004^{ns}	2.3^{ns}	0.034^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date(SD)	2	75.1**	67844**	53.7**	0.067**	269.4**	0.422**
خطای اصلی Ea	4	16.7	5909	0.168	0.0009	48.3	0.03
رقم Cultivar (C)	4	38.3 **	206824**	5.2**	0.015**	738.2**	0.501 **
تاریخ‌کاشت×رقم C × SD	8	61.5**	30952**	5.1**	0.009**	130.9 **	0.13**
خطای فرعی Eb	24	9.5	1770	0.75	0.0012	40.9	0.012
ضریب تغییرات C.V (%)		*8.1*	*10.2*	*6.2*	*12.7*	*8.2*	*6.4*

:**معنی دار در سطح ۱٪، *: معنی دار در سطح ۵٪، ns: غیرمعنی دار

ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

افزایش دمای مرتبط با تغییرات اقلیمی می‌تواند فعالیت گرده‌افشان‌ها را تغییر دهد، اگرچه حشرات گرده‌افشان‌ها و گیاهان ممکن است به‌طور متفاوتی به دمای محیط واکنش نشان دهند (Scaven and Rafferty, 2013). بااین‌حال، باروری دانه گرده ممکن است به میزان بسیار زیادی در دماهای بالا کاهش یابد (Astiz and Hernández, 2013). دماهای بالاتر از ۳۱ درجه سانتی‌گراد در مرحله گرده‌افشانی به دلیل اثرات نامطلوب آن بر باروری گل‌ها و تولید دانه گرده، سبب کاهش عملکرد دانه آفتابگردان می‌گردد (Chimenti and Hall, 2001). اگرچه اخیراً گزارش شده که دماهای بالاتر از ۲۶ درجه سانتی‌گراد برای تولید دانه گرده آفتابگردان علیرغم شرایط مطلوب آبیاری، نامطلوب خواهد بود (Astiz and Hernández, 2013).

جدول ۳. تأثیر تنش گرمای انتهای فصل بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام امیدبخش آفتابگردان

Table 3. Effect of terminal heat stress on some agronomic and physiological traits of promising sunflower cultivars

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در طبق Grain number per head	وزن هزار دانه 1000 grain weight	وزن طبق Head weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تاریخ کاشت Sowing date	kg ha^{-1}		g	g	kg ha^{-1}
کاشت به هنگام Desired sowing date	1372 ^{a}	1194 ^{a}	82.62 ^{a}	141.9 ^{a}	5503 ^{a}
کاشت تأخیری Delayed sowing date	963 ^{b}	821 ^{b}	72.14 ^{a}	99.4 ^{b}	4304 ^{b}
کاشت دیرهنگام Late sowing date	933 ^{b}	782 ^{c}	66.86^{b}	89.7 ^{b}	3845 ^{c}
ارقام cultivars					
قاسم Qasem	535.5 ^{e}	524 ^{d}	56.32 ^{d}	59.3 ^{d}	2012 ^{c}
فانتازیا Fantasia	1308 ^{b}	1267 ^{a}	56.16 ^{d}	118 ^{b}	5726 ^{a}
پروگرس Progres	1150 ^{c}	1100 ^{b}	67.85 ^{c}	138 ^{a}	5856 ^{a}
لاکومکا Lakomka	1579 ^{a}	848 ^{c}	114.45 ^{a}	140 ^{a}	5784 ^{a}
شمس Shams	871 ^{d}	831 ^{c}	74.59 ^{b}	96 ^{c}	3374 ^{b}

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

تیمارها Treatments	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration
تاریخ کاشت Sowing date	%	kg ha^{-1}		mol m^{-2}s^{-1}	%	mg g^{-1} FW
کاشت به هنگام Desired sowing date	35.7 ^{b}	483 ^{a}	12.2 ^{c}	0.327 ^{a}	82 ^{a}	1.7 ^{b}
کاشت تأخیری Delayed sowing date	40.2 ^{a}	398 ^{b}	13.7 ^{b}	0.294 ^{b}	74 ^{b}	1.7 ^{b}
کاشت دیرهنگام Late sowing date	38.2 ^{ab}	350 ^{b}	15.9 ^{a}	0.198 ^{c}	75 ^{ab}	1.91 ^{a}
ارقام cultivars						
قاسم Qasem	38.44 ^{a}	206 ^{d}	13.7 ^{b}	0.269 ^{b}	61.6 ^{b}	1.7 ^{c}
فانتازیا Fantasia	34.77^{b}	441 ^{b}	14.8 ^{a}	0.29 ^{ab}	83.8 ^{a}	2.1 ^{a}
پروگرس Progres	40.44 ^{a}	468 ^{b}	14.3 ^{ab}	0.317 ^{a}	78.5 ^{a}	1.5 ^{d}
لاکومکا Lakomka	38.66 ^{a}	608 ^{a}	12.8 ^{c}	0.282 ^{b}	83.2 ^{a}	1.9 ^{b}
شمس Shams	37.88 ^{a}	329 ^{c}	14.1 ^{ab}	0.207 ^{c}	79.2 ^{a}	1.6 ^{d}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون و هر فاکتور آزمایشی با آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters for each trait in each column and each experimental factor using LSD test at 5% probability level did not differ significantly.

در این پژوهش نیز ظهور مراحل گلدهی و گرده‌افشانی در کاشت تأخیری و دیرهنگام مصادف با افزایش دما در فروردین‌ماه با میانگین دمای ۳۲/۹ درجه سانتی‌گراد و با بیشینه دمای ۳۸/۷ درجه سانتی‌گراد بود که به‌طور قابل‌توجهی سبب کاهش تعداد دانه در طبق به‌ویژه در کاشت دیرهنگام شد. در تاریخ کاشت به هنگام، بیشترین و کمترین تعداد دانه در طبق علیرغم نتایج عملکرد دانه به ترتیب در رقم فانتازیا و شمس مشاهده شد. در کشت دیرهنگام نیز بیشترین تعداد دانه در طبق در رقم فانتازیا و کمترین تعداد در رقم قاسم مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز نشان داد، تعداد دانه در طبق دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در تاریخ کاشت به هنگام (r=۰/۵۷**) و کاشت دیرهنگام (r=۰/۷۶**) بود (جدول ۵ و ۶). به نظر می‌رسد یکی از اجزای مهم و کلیدی تعیین‌کننده اجزای عملکرد، تعداد دانه در طبق باشد و تغییرات آن بایستی در شرایط تنش مدنظر قرار گیرد.

وزن هزار دانه

بیشترین وزن هزار دانه در کاشت به هنگام و کمترین مقدار در کاشت دیرهنگام مشاهده شد. رقم لاکومکا دارای بیشترین و رقم فانتازیا و قاسم دارای کمترین مقدار وزن هزار دانه بود (جدول ۳). در کاشت به هنگام، بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم لاکومکا و کمترین مقدار مربوط به رقم قاسم و فانتازیا بود. کاشت دیرهنگام سبب کاهش ۱۵ درصدی وزن هزار دانه در رقم‌های پروگرس و لاکومکا شد درحالی‌که این کاهش در رقم‌های قاسم و فانتازیا به ترتیب ۲۶ و ۲۳ درصد بود (جدول ۴).

افزایش دما به بیش از ۳۵ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد در تاریخ کاشت دیرهنگام سبب پوکی دانه آفتابگردان می‌گردد و در چنین شرایطی افزایش شدت نور و کاهش رطوبت نسبی محیط در تشدید این امر نقش بسزایی دارد (Chimenti and Hall, 2001). در کاشت دیرهنگام، کاهش طول دوره رشد و عدم وجود فرصت کافی برای تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی ازجمله عوامل کاهش وزن هزار دانه به شمار می‌روند (Killi and Altunbay, 2005). در این پژوهش نیز طول دوره رشد در کاشت تأخیری و دیرهنگام نسبت به تاریخ کاشت به هنگام به ترتیب ۱۴ و ۳۶ روز کوتاه‌تر بود.

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه (r=۰/۶۶**) در کاشت دیرهنگام و عدم وجود این همبستگی در کاشت به هنگام مشاهده شد (جدول ۵ و ۶).

جدول ۴. برهمکنش تنش گرمای انتهای فصل و ارقام امیدبخش آفتابگردان بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی

Table 4. Interactions of terminal heat stress and promising sunflower cultivars on some agronomic and physiological traits

تیمارها Treatments			تعداد دانه در				عملکرد
تاریخ کاشت Sowing date	Cultivars	ارقام	عملکرد دانه Grain yield	طبق Grain number per head	وزن هزار دانه 1000 grain weight	وزن طبق Head weight	بیولوژیک Biological yield
			kg ha^{-1}	-	g	g	kg ha^{-1}
کاشت به هنگام Desired sowing date	Qasem	قاسم	1050 ^{e}	1123 ^{bc}	71.1 $^{b-d}$	96.7 ^{fg}	3274 ^{fg}
	Fantasia	فانتازیا	1722 ^{b}	1338 ^{a}	63.1 $^{b-d}$	144 ^{c}	6734 ^{a}
	Progres	پروگرس	1102 ^{e}	1320 ^{a}	73.3 $^{b-d}$	165 ^{b}	6709 ^{a}
	Lakomka	لاکومکا	2020 ^{a}	1171 $^{a-c}$	125 ^{a}	193 ^{a}	6898 ^{a}
	Shams	شمس	961 ^{ef}	1017 ^{c}	80.6 $^{b-d}$	110 ^{df}	3897 ^{ef}
کاشت تأخیری Delayed sowing date	Qasem	قاسم	226 ^{g}	295 ^{f}	45.3 $^{c-e}$	34.1 ^{i}	1095 ^{h}
	Fantasia	فانتازیا	1132 ^{de}	1231 ^{ab}	56.8 ^{cd}	126 ^{d}	5969 ^{b}
	Progres	پروگرس	1136 ^{e}	1144 ^{bc}	67.9 $^{b-d}$	142 ^{c}	5789 ^{b}
	Lakomka	لاکومکا	1319 ^{a}	659 ^{e}	113 ^{ab}	116 ^{de}	5518 ^{bc}
	Shams	شمس	820 ^{ef}	774 ^{de}	77.8 $^{b-d}$	78.5 ^{h}	3147 ^{g}
کاشت دیرهنگام Late sowing date	Qasem	قاسم	329 ^{g}	151 ^{f}	52.5 $^{c-e}$	47.0 ^{i}	1666 ^{h}
	Fantasia	فانتازیا	1070 ^{e}	1230 ^{ab}	48.6 $^{c-e}$	86.3 ^{gh}	4473 ^{de}
	Progres	پروگرس	1034 ^{e}	1034 ^{d}	62.3 $^{b-d}$	106 ^{ef}	5069 ^{cd}
	Lakomka	لاکومکا	1398 ^{c}	715 ^{de}	106 $^{a-c}$	110 ^{df}	4935 ^{cd}
	Shams	شمس	831 ^{f}	702 ^{de}	65.3 $^{b-d}$	98.9 ^{fg}	3077 ^{g}

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

تیمارها Treatments			درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوی نسبی آب برگ RWC	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration
تاریخ کاشت Sowing date	Cultivars	ارقام	%	kg ha^{-1}	-	mol m^{-2}s^{-1}	%	mg g^{-1} FW
کاشت به هنگام Desired sowing date	Qasem	قاسم	38.3 b-e	399 ef	13.0 c-e	0.350 ab	72.7 d	1.62 d-f
	Fantasia	فانتازیا	28.0 g	481 cd	13.7 cd	0.377 a	90.7 a	2.16 a
	Progres	پروگرس	42.0 a-c	460 de	11.9 ef	0.366 a	82.6 a-d	1.45 fg
	Lakomka	لاکومکا	37.7 c-f	759 a	11.1 f	0.306 b-c	86.4 a-c	1.47 e-g
	Shams	شمس	32.7 f-g	314 g	11.2 f	0.236 e	77.7 b-d	1.40 g
کاشت تأخیری Delayed sowing date	Qasem	قاسم	36.3 d-f	82.9 h	12.4 d-f	0.293 cd	52.2 e	1.63 de
	Fantasia	فانتازیا	41.7 a-c	470 c-e	13.4 cd	0.290 d	72.1 d	2.11 ab
	Progres	پروگرس	44.7 a	588 b	15.5 b	0.385 a	78.4 b-d	1.32 g
	Lakomka	لاکومکا	40.3 ad	533 bc	13.9 c	0.345 a-c	86.7 a-c	1.72 d
	Shams	شمس	38.0 b-e	316 g	13.7 cd	0.158 f	80.5 a-d	1.31 g
کاشت دیرهنگام Late sowing date	Qasem	قاسم	40.7 a-d	133 h	15.8 b	0.165 f	59.8 e	1.79 cd
	Fantasia	فانتازیا	34.7 ef	371 fg	17.5 a	0.204 ef	88.4 ab	1.94 bc
	Progres	پروگرس	34.7 ef	356 fg	15.6 b	0.201 ef	74.3 d	1.64 de
	Lakomka	لاکومکا	38.0 b-e	531 bc	13.6 cd	0.196 ef	76.4 cd	2.25 a
	Shams	شمس	43.0 ab	357 fg	17.4 a	0.227 e	79.3 b-d	1.92 c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون و هر فاکتور آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters for each trait in each column and each experimental factor using LSD test at 5% probability level did not differ significantly.

افزایش وزن هزار دانه منجر به افزایش وزن طبق و درنهایت افزایش عملکرد دانه خواهد شد. تغییرات جزئی و غیر معنی‌دار وزن هزار دانه در کشت‌های تأخیری و دیرهنگام ارقام پروگرس، لاکومکا و شمس برخلاف کاهش معنی‌دار تعداد دانه در طبق حاکی از آن بود که وزن هزار دانه در مقایسه با تعداد دانه در طبق، نقش کمتری در تغییرات عملکرد دانه این ارقام داشته و به میزان کمتری تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفته است؛ به‌عبارت‌دیگر، بیشترین تأثیر تنش گرمای ناشی از تغییر در تاریخ کاشت مرتبط با اختلال در عمل گرده‌افشانی، تلقیح و کاهش طول دوره گرده‌افشانی و درنتیجه کاهش عملکرد دانه بوده است.

وزن طبق

بیشترین وزن طبق در تاریخ کاشت به هنگام از رقم لاکومکا و کمترین آن در کاشت تأخیری از رقم قاسم حاصل شد (جدول ۴). بیشترین درصد کاهش وزن طبق در مقایسه با کاشت به هنگام در شرایط کاشت تأخیری در رقم قاسم به میزان ۶۴ درصد مشاهده شد (جدول ۴).

وجود همبستگی بالا و معنی‌دار وزن طبق با عملکرد دانه در کاشت به هنگام (r=۰/۷۱**) و در کاشت دیرهنگام (r=۰/۸۷**) (جدول ۵ و ۶) نشان می‌دهد که در بین اجزای عملکرد وزن طبق بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داراست. وزن طبق از اهمیت بیشتری نسبت به قطر طبق برخوردار است که علت این امر وجود دانه‌های پوک موجود در طبق و تأثیر آن‌ها در وزن طبق است. به‌هرروی، اهمیت وزن دانه‌ها در وزن طبق بیشتر از قطر طبق است.

عملکرد بیولوژیک

کاشت به هنگام بیشترین و کاشت دیرهنگام کمترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد. رقم پروگرس دارای بیشترین و رقم قاسم دارای کمترین میزان عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۳). بیشترین درصد کاهش عملکرد بیولوژیک در

شرایط تنش گرمای ناشی از کاشت تأخیری و دیرهنگام در مقایسه با کاشت به هنگام مربوط به رقم قاسم به ترتیب به میزان ۶۶ و ۴۹ درصد بود (جدول ۴).

ازآنجایی‌که زراعت آفتابگردان در بسیاری از مناطق خوزستان با شرایط تنش‌های خشکی و درجه حرارت بالا روبرو می‌شود، لذا انتخاب ارقام مناسب کاشت در منطقه بر اساس عملکرد بیولوژیک از اهمیت خاصی برخوردار است و بایستی ارقامی را گزینش کرد که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بالاتری داشته باشند. نتایج حاصل از بررسی عملکرد بیولوژیک در این آزمایش حاکی از برتری ارقام پروگرس، فانتازیا و لاکومکا در شرایط تنش گرمایی آخر فصل ناشی از تغییر تاریخ کاشت در شرایط خوزستان بود (جدول ۴). این برتری با نتایج عملکرد دانه نیز انطباق داشت.

در شرایط کاشت دیرهنگام عملکرد بیولوژیک دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه (r=۰/۹۲**)، تعداد دانه در طبق (r=۰/۷۶**) و وزن طبق (r=۰/۸۲**) بود (جدول ۶). در بین اجزای عملکرد، وزن طبق دارای بالاترین همبستگی با عملکرد بیولوژیک بود و با توجه به این‌که تعداد دانه در طبق یکی از مؤلفه‌های تعیین‌کننده وزن طبق است و در تعیین عملکرد دانه نیز نقش بسزایی دارد، لذا این نکته به اهمیت وزن طبق در تولید عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تأکید دارد.

درصد روغن

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کمترین و بیشترین درصد روغن به ترتیب از تاریخ کاشت به هنگام به میزان ۳۵/۷ درصد و کاشت تأخیری به میزان ۴۰/۲ درصد حاصل شد و به عبارتی با تأخیر در کاشت درصد روغن ارقام افزایش یافت. رقم فانتازیا دارای پایین‌ترین درصد روغن بود، درحالی‌که رقم پروگرس درصد روغن بیشتری نسبت سایر ارقام دارا بود بین این رقم با سایر ارقام ازنظر درصد روغن تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در شرایط کاشت به هنگام، کمترین درصد روغن مربوط به رقم فانتازیا و بیشترین درصد مربوط به رقم پروگرس بود. بیشترین افزایش درصد روغن در کاشت تأخیری و دیرهنگام رقم فانتازیا به ترتیب به میزان ۴۸ و ۲۴ درصد و کاشت دیرهنگام رقم شمس به میزان ۳۱ درصد در مقایسه با کاشت به هنگام مشاهده شد (جدول ۴). افزایش معنی‌دار درصد روغن ارقام فانتازیا و شمس در کاشت تأخیری و دیرهنگام را می‌توان به تأثیرپذیری بیشتر ساخت کربوهیدرات‌ها از تنش گرمای آخر فصل و درنتیجه کاهش بیشتر عملکرد دانه این ارقام نسبت داد، به عبارتی سهم کاهش ساخت کربوهیدرات¬ها بیشتر از سهم ساخت روغن بوده و این امر به‌صورت افزایش درصد روغن نمایان شده و درنهایت عملکرد روغن این ارقام در شرایط تنش بدون تغییر و یا کاهش یافته است (جدول ۴).

عملکرد روغن

عملکرد روغن در تاریخ کاشت تأخیری و دیرهنگام در مقایسه با کاشت به هنگام به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۱۸ و ۲۸ درصد کاهش یافت و بین ارقام نیز تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲ و ۳). بیشترین عملکرد روغن به ترتیب در کاشت به هنگام مربوط به رقم لاکومکا و کمترین مقدار در کاشت تأخیری مربوط به رقم قاسم بود (جدول ۴). عملکرد روغن به دو عامل عملکرد دانه و درصد روغن بستگی دارد و کاهش عملکرد روغن در کاشت تأخیری و دیرهنگام علی‌رغم افزایش درصد روغن به دلیل شرایط دمایی نامناسب در کاشت‌های تأخیری و دیرهنگام و کاهش عملکرد دانه بود؛ بنابراین علی‌رغم افزایش درصد روغن، عملکرد روغن کاهش یافت (Kittock et al., 2005). کاهش وزن دانه و عملکرد روغن آفتابگردان در شرایط دمای بالا در مطالعات پیشین نیز تأیید شده است (Kalyar et al., 2014; Rondanini et al., 2003). به‌طورکلی، در کاشت تأخیری رقم پروگرس و در کاشت دیرهنگام رقم شمس، به دلیل کاهش ناچیز عملکرد دانه و افزایش درصد روغن، میزان عملکرد روغن افزایش یافته است (جدول ۴).

در کاشت به هنگام، بالاتر بودن عملکرد روغن رقم لاکومکا علیرغم درصد متوسط روغن آن را می‌توان به پتانسیل بالای عملکرد دانه آن نسبت داد. در شرایط کاشت دیرهنگام، همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد روغن با عملکرد دانه (r=۰/۹۶**) به وابستگی بالای عملکرد روغن به عملکرد دانه تأکید دارد (جدول ۶).

شاخص کلروفیل

کاشت دیرهنگام، بیشترین و کاشت به هنگام کمترین میزان کلروفیل و در بین ارقام نیز رقم فانتازیا بیشترین و رقم لاکومکا کمترین میزان شاخص کلروفیل را دارا بود (جدول ۳). در کاشت تأخیری تغییر تاریخ کاشت به‌جز رقم قاسم و فانتازیا، در سایر ارقام باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل

در مقایسه با کاشت به هنگام شد، درحالی‌که کاشت دیرهنگام در همه ارقام باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل شد و میزان افزایش شاخص کلروفیل در کاشت دیرهنگام در رقم های فانتازیا (۳۱ درصد) و شمس (۵۴ درصد) دارای بیشترین مقدار بود و تفاوت آماری معنی‌داری با سایر ارقام داشتند (جدول ۴).

یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان، حفظ میزان کلروفیل است. مشخص شده که در شرایط تنش شدید گرمایی، مقادیر کلروفیل به دلیل پراکسیداسیون لیپیدهای کلروپلاست و غشاهای تیلاکوئیدی کاهش می‌یابد (Mohammed and Tarpley, 2010). در پژوهش حاضر، دلیل افزایش مقادیر شاخص کلروفیل در کاشت تأخیری و دیرهنگام را با توجه به نتایج جدول مجموع درجه روز رشد ارقام موردمطالعه می‌توان به عدم برخورد مراحل اندازه‌گیری شاخص کلروفیل (ظهور طبق) با تنش گرمای شدید انتهای فصل نسبت داد (جدول ۱). از طرف دیگر، مشخص‌شده که در شرایط تنش ملایم گرمایی به دلیل کاهش سطح برگ و افزایش وزن خشک در واحد سطح برگ، مقادیر شاخص کلروفیل افزایش می‌یابد (Lee et al, 2004).

هدایت روزنه‌ای

مقادیر هدایت روزنه‌ای بیشتر ارقام در اثر تأخیر در کاشت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و بین ارقام تفاوت چشمگیری ازنظر هدایت روزنه‌ای مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را رقم‌های پروگرس (۰/۳۱۷ مول بر مترمربع بر ثانیه) و شمس (۰/۲۰۷ مول بر مترمربع بر ثانیه) به خود اختصاص دادند (جدول ۲ و ۳). در کاشت دیرهنگام بیشترین میزان کاهش مربوط به رقم قاسم (۵۳ درصد) و کمترین میزان مربوط به رقم شمس (۴ درصد) بود، اگرچه در کاشت تأخیری میزان هدایت روزنه‌ای در رقم لاکومکا و پروگرس در مقایسه با کاشت به هنگام تغییر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). به نظر می‌رسد در کاشت دیرهنگام عوامل روزنه‌ای عامل تعیین‌کننده‌ای در کاهش فتوسنتز باشد.

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات فیزیولوژیکی و زراعی آفتابگردان در کاشت به هنگام

Table 5. Correlation coefficient between physiological and agronomical traits of sunflower in desired sowing date

	صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	عملکرد بیولوژیک Biological yield	1										
2	عملکرد دانه Grain yield	0.693**	1									
3	تعداد دانه در طبق Grain number per head	0.566*	-0.212ns	1								
4	وزن هزار دانه 1000 grain weight	0.271ns	0.509ns	-0.357ns	1							
5	وزن طبق Head weight	0.874**	0.705**	0.29ns	0.634*	1						
6	درصد روغن Oil percentage	-0.039ns	-0.29ns	-0.077ns	0.229ns	0.223ns	1					
7	عملکرد روغن Oil yield	0.65**	0.865**	0.301ns	0.693**	0.823**	0.207ns	1				
8	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	-0.02ns	0.04ns	0.253ns	-0.515*	-0.311ns	-0.367s	-0.196ns	1			
9	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	0.342**	0.162*	0.493*	0.329**	0.202ns	0.255*	0.207*	0.15*	1		
10	محتوای نسبی آب Relative water content	0.656**	0.543*	0.153ns	0.178ns	0.602*	-0.244ns	0.396ns	0.123ns	0.241ns	1	
11	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration	0.257ns	0.352ns	0.347ns	-0.456ns	-0.706ns	-0.559*	-0.03ns	0.594*	0.524ns	0.438ns	1

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین صفات فیزیولوژیکی و زراعی آفتابگردان در تاریخ کاشت دیرهنگام

Table 6. Correlation coefficient between physiological and agronomical traits of sunflower in late sowing date

	صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	عملکرد بیولوژیک Biological yield	1										
2	عملکرد دانه Grain yield	0.917**	1									
3	تعداد دانه در طبق Grain number per head	0.754*	0.687**	1								
4	وزن هزار دانه 1000 grain weight	0.436ns	0.659**	-0.058ns	1							
5	وزن طبق Head weight	0.817**	0.864**	0.599*	0.566*	1						
6	درصد روغن Oil percentage	-0.568*	-0.39ns	-0.51ns	0.068ns	-0.33ns	1					
7	عملکرد روغن Oil yield	0	0.96**	0.583*	0.744**	0.81**	0.487ns	1				
8	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	-0.35ns	-0.49ns	0.149ns	-0.861**	-0.34ns	0.05s	-0.51*	1			
9	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	0.292*	0.346**	0.457*	0.071**	0.401**	0.143*	0.473**	0.22**	1		
10	محتوای نسبی آب Relative water content	0.617*	0.658**	0.855**	0.032ns	0.56*	-0.341ns	0.609*	0.18ns	0.415*	1	
11	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration	0.247**	0.576*	0.137ns	0.727**	0.31ns	0.1ns	0.65**	-0.57*	0.077ns	0.34ns	1

در پژوهش حاضر، عدم کاهش مقادیر هدایت روزنه‌ای در کاشت تأخیری ارقام لاکومکا و پروگرس را می‌توان به تنوع ژنتیکی بین ارقام نسبت داد به‌گونه‌ای که تنش گرما به‌تنهایی در شرایط فراهمی آب، تأثیر فراوانی بر هدایت روزنه‌ای ارقام موردنظر نداشته است. هدایت روزنه‌ای یکی از پارامترهایی است که در شرایط تنش اطلاعات کافی برای ارزیابی تفاوت‌های ژنوتیپی را فراهم می‌آورد (Rahnama et al., 2010). کاهش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای ارقام حساس به خشکی آفتابگردان در مقایسه با ارقام متحمل پس از مواجه با دماهای بالا (۳۵ درجه سانتی‌گراد) مؤید تشدید اثر تنش خشکی در آفتابگردان همراه با تفاوت‌های ژنوتیپی است (Killi et al., 2016).

اثرات تنش گرما بر مقادیر هدایت روزنه‌ای بسته به‌شدت تنش گرما، شرایط محیطی و ژنوتیپ‌های موردبررسی به‌طور متفاوتی گزارش شده است. در برخی مطالعات، افزایش دمای محیط منجر به افزایش (Dias et al., 2011) و کاهش (Haba et al., 2014) هدایت روزنه‌ای شده است. به‌طورکلی، اثرات نامطلوب دمای بالا بر فتوسنتز به کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و بسته شدن جزئی روزنه‌ها نسبت داده شده است (Haba et al., 2014). در تاریخ کاشت دیرهنگام، ارتباط معنی‌داری بین عملکرد دانه و هدایت روزنه‌ای (r=۰/۳۵**) مشاهده شد که به نظر می‌رسد شرایط دمایی نامطلوب از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای به‌عنوان عاملی تعیین‌کننده برای عملکرد دانه به شمار می‌رود.

محتوای نسبی آب برگ

تفاوت‌های معنی‌داری بین ارقام، تاریخ کاشت و برهم‌کنش تاریخ کاشت و رقم ازنظر محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (جدول ۲) و در تاریخ کاشت تأخیری، محتوای رطوبت نسبی تنها در رقم قاسم و فانتازیا سیر نزولی داشت (جدول ۳). بیشترین مقدار این پارامتر در کاشت به هنگام و بیشترین کاهش در کاشت تأخیری رخ داد. بیشترین میزان کاهش این پارامتر در شرایط کاشت تأخیری در مقایسه با کاشت به هنگام مربوط به رقم قاسم (۲۸ درصد) و فانتازیا (۲۰ درصد)

بود (جدول ۴). ارقام پروگرس، لاکومکا و شمس، تفاوت معنی‌داری ازنظر محتوای نسبی آب در تاریخ کاشت‌های مختلف نشان ندادند (جدول ۳).

محتوای نسبی آب برگ در کاشت دیرهنگام دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک (r=۰/۶۲*) و عملکرد دانه (r=۰/۶۶**) بود (جدول ۶) که این همبستگی‌ها بیانگر این است که حفظ محتوای آب سلول در شرایط تنش به‌ویژه تنش گرمایی آخر فصل می‌تواند منجر به حفظ رشد سلول و درنتیجه حفظ عملکرد بیولوژیک و درنهایت عملکرد دانه گردد. وجود همبستگی بالا بین محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای (r=۰/۴۲*) در کاشت دیرهنگام نشان می‌دهد جذب آب کافی و افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌تواند منجر به حفظ هدایت روزنه‌ای و افزایش سرعت رشد محصول در شرایط تنش گرمایی شود. به هر جهت، محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای، همبستگی بیشتری با عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نشان داد (جدول ۵ و ۶).

غلظت کلروفیل کل

تاریخ کاشت تأخیری با اختلاف معنی‌داری دارای بیشترین غلظت کلروفیل بود. در بین ارقام نیز رقم فانتازیا دارای بیشترین و رقم پروگرس دارای کمترین میزان کلروفیل کل بود (جدول ۳). اعمال تنش گرما در کاشت دیرهنگام به‌جز در رقم قاسم و فانتازیا در سایر ارقام باعث افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل کل در مقایسه با تاریخ کاشت به هنگام شد (جدول ۴). بیشترین درصد افزایش میزان کلروفیل کل در شرایط تنش گرمای حاصل از تاریخ کاشت دیرهنگام مربوط به رقم لاکومکا (۵۳ درصد) و شمس (۳۷ درصد) و بیشترین کاهش مربوط به رقم فانتازیا (۱۰ درصد) بود (جدول ۴).

مقادیر بالای غلظت کلروفیل برگ به‌جز در رقم فانتازیا و شمس به‌ویژه در شرایط کاشت دیرهنگام را می‌توان به کاهش سطح برگ و افزایش وزن خشک در واحد سطح برگ و وجود برگ‌های ضخیم‌تر و درنتیجه افزایش میزان تجمع کلروفیل در واحد سطح برگ نسبت داد (Lee et al., 2004). همچنین در آزمایش حاضر، عدم برخورد مرحله نمونه‌برداری و سنجش غلظت کلروفیل (ظهور طبق) با تنش گرمای شدید آخر فصل از دیگر دلایل احتمالی افزایش غلظت کلروفیل این ارقام در تاریخ کاشت دیرهنگام است (جدول ۱). همچنان که کاهش مقادیر کلروفیل به دلیل پراکسیداسیون لیپیدهای کلروپلاست و غشاهای تیلاکوئیدی ناشی از تنش گرمای شدید در مطالعات پیشین گزارش شده است (Mohammed and Tarpley, 2010).

در شرایط کاشت دیرهنگام غلظت کلروفیل کل همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک (r=۰/۲۵**)، عملکرد دانه (r=۰/۵۶*) و عملکرد روغن (r=۰/۶۵**) نشان داد (جدول ۶)؛ که این همبستگی نشان‌دهنده نقش مهم کلروفیل در روند افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن است.

به‌طورمعمول، در شرایط تنش خفیف به دلیل کوچک‌تر شدن اندازه سلول‌ها و درنتیجه اندازه برگ، تراکم کلروپلاست در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد. اگرچه با افزایش شدت تنش به دلیل تجزیه کلروفیل مقادیر آن کاهش می‌یابد و این امر به افزایش القای بیان و فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (Ranjan et al., 2001).

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی در کاشت به هنگام آفتابگردان در آبان ماه، مراحل اصلی رشد به‌ویژه مرحله ظهور طبق و پر شدن دانه با دمای مطلوب رشد مواجه شده و گیاه فرصت بیشتری برای رشد اندام هوایی و پر شدن دانه داشت و در این شرایط رقم لاکومکا و فانتازیا عملکرد دانه بالاتری از خود نشان دادند، درحالی‌که با تأخیر در کاشت به‌ویژه در کشت دیرهنگام و افزایش دمای محیط به‌ویژه در مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه و کوتاه شدن دوره رشد و پر شدن دانه، عملکرد دانه و تولید ماده خشک کاهش یافت. در این شرایط، رقم شمس و قاسم بیشترین درصد روغن را به خود اختصاص دادند، ولی به دلیل پایین بودن عملکرد دانه این دو رقم، دارای کمترین عملکرد روغن بودند. به‌طورکلی رقم لاکومکا به دلیل بالا بودن عملکرد روغن در هر سه تاریخ کاشت جهت کاشت به هنگام و رقم پروگرس به دلیل عملکرد دانه و درصد روغن بالا و درنتیجه میزان عملکرد روغن بیشتر در تاریخ کاشت سوم جهت کشت تأخیری در این منطقه توصیه می‌شود.

منابع

Astiz, V., Hernandez, L.F., 2013. Pollen production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) is affected by air temperature and relative humidity during early reproductive growth. Phyton. 82, 297-302.

Barros, J.F.C., Carvalho, M., Basch, G., 2004. Response of sunflower (*Helianthus annus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy. 21, 347-356.

Cantamutto, M., Poverene, M., 2007. Genetically modified sunflower release: opportunities and risks. Field Crop Research. 101, 133-144.

Chimenti, C.A., Hall, A.J., 2001. Grain number responds to temperature during floret differentiation in sunflower. Field Crop Research. 72, 177-184.

Chimenti, C.A., Hall, A.J., Sol Lopez, M., 2001. Embryo-growth rate and duration in sunflower as affected by temperature. Field Crops Research. 69(1), 81-88.

De la Vega, A.J., Hall, A.J., 2002. Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield. Crop Science. 42, 1191-1201.

Dekov, I., Tsonev, T., Yordanov, I., 2001. Effects of water stress and high-temperature stress on the structure and activity of photosynthetic apparatus of *Zea mays* and *Helianthus annuus*. Photosynthetica. 38, 361-366.

Dias, A.S., Semedo, J., Ramalho, J.C., Lidon, F.C., 2011. Bread and durum wheat under heat stress: Acomparative study on the photosynthetic performance. Journal of Agronomy and Crop Science. 197, 50-56.

Ferreira, A.M., Abreu, F.G., 2001. Description of development, light interception and growth of sunflower at two sowing dates and two densities. Mathematics and Computers in Simulation. 56, 369-384.

Haba, P.D., Mata, D.L., Molina, E., Aguera, E., 2014. High temperature promotes early senescence in primary leaves of sunflower (*Helianthus annus* L.) plants. Canadian Journal of Plant Science. 94, 659-669.

Kalyar, T., Rauf, S., Teixeira Da Silva, J.A., Shahzad, M., 2014. Handling Sunflower (*Helianthus annus* L.) populations under heat stress. Archives of Agronomy and Soil Science. 60, 655-672.

Killi, D., Bussotti, F., Raschi, A., Haworth, M., 2016. Adaptation to high temperature mitigates the impact of water deficit during combined heat and drought stress in C_3 sunflower and C_4 maize varieties with contrasting drought tolerance. Physiologia Plantarum. 159, 130-147.

Killi, F., Altunbay, S.G., 2005. Seed yield, oil content and yield components of confection and oilseed sunflower cultivars planted in different dates. International Journal of Agriculture and Biological. 1, 21-24.

Kittock, D.L., Williams, J.H., Hanway, D.G, 2005. Castor bean yield and quality as influenced by irrigation schedules and fertilization rates. Agronomy Journal. 59, 463-467.

Lee, D.G., Ahsan, N., Lee, S.H., Kang, K.Y., 2004. A proteomic approach in analyzing heat-responsive proteins in rice leaves. Proteomics. 7, 3369-3383.

Leon, A.J., Andrade, F.H., Lee, M., 2003. Genetic analysis of seed-oil concentration across generations and environments in sunflower. Crop Science. 43, 135-140.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. 148, 350-382.

Matev, A., Petrova, R., Kirchev, H., 2012. Evapotranspiration of sunflower crops depending on irrigation. Agricultural Science and Technology. 4, 417- 426.

Meehl, G.A., Tebaldi, C., 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. Science. 305, 994-997.

Mohammed, A.R., Tarpley, L., 2010. Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. European Journal of Agronomy. 33, 117-123.

Moriondo, M., Giannakopoulos, C., Bindi, M., 2011. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. Climate Change. 104, 79-701.

Prasad, P.V.V., Staggenborg, S.A., 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth and yield processes of crop plants. In: Ahuja, L.R., Reddy, V.R., Saseendran, S.A., Qiang, Yu. (eds.), Response of crops to limited water:

understanding and modelling water stress effects on plant growth processes. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America pp 301-355.

Rahnama, A., Poustini, K., Munns, R., R.A. James., 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. Functional Plant Biology. 37, 255-263

Ranjan, R., Bohra, S.P., Jeet, A.M., 2001. Book of plant senescence. Agrrobios New York, 18-42.

Rondanini, D., Savin, R., Hall, A.J., 2003. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. Field Crops Research. 83, 79-90.

Rondanini, D., Mantese, A., Savin, R., Hall, A.J., 2006. Responses of sunflower yield and grain quality to alternating day/night high temperature regimes during grain filling: effects of timing, duration and intensity of exposure to stress. Field Crops Research. 96, 48-62.

Scaven, V.L., Rafferty, N.E., 2013. Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions. Current Zoology. 59, 418-426.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., Gasparikova, O., 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant Soil and Environment. 52. p. 184.

Werteker, M., Lorenz, A., Johannes, H., Berghofer, E., Findlay, C.S., 2010. Environmental and varietal influences on the fatty acid composition of rapeseed, soybeans and sunflowers. Journal of Agronomy and Crop Science. 196, 20-27.