



اثر دما، تشعشع و سرعت رشد جامعه گیاهی بر وزن دانه کلزا (*B. napus*)

ابوالفضل فرجی^{۱*}، ناصر لطیفی^۲

^۱دانشیار بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران،
^۲آستاد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

چکیده

وزن دانه کلزا تابعی از عوامل محیطی مانند دما و نسبت فتوترمال طی دوره پر شدن دانه، طول دوره و سرعت پر شدن دانه است. هدف این آزمایش تعیین عوامل محیطی موثر بر وزن دانه، طی دوره پر شدن دانه، بود. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد انجام شد. پنج تاریخ کاشت با فاصله ۳۰ روز بین آن‌ها در کرت‌های اصلی و دو رقم کلزا (هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرچی اس ۰۰۳) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. به ازای افزایش هر درجه سانتی‌گراد میانگین دمای هوا طی دوره پر شدن دانه، وزن هزار دانه در هایولا ۴۰۱ و آرچی اس ۰۰۳ به ترتیب ۰/۱۷۱ و ۰/۱۴۴ گرم کاهش یافت. بین وزن هزار دانه با میانگین نسبت فتوترمال طی دوره پر شدن دانه یک رابطه درجه ۲ مشاهده شد. بین سرعت پر شدن دانه با وزن هزار دانه رابطه خطی وجود داشت، که به ترتیب ۶۷ و ۷۴ درصد از تغییرات در هایولا ۴۰۱ و آرچی اس ۰۰۳ را توجیه کرد. روابط قوی بین وزن دانه با دما، نسبت فتوترمال و سرعت رشد جامعه گیاهی طی دوره پر شدن دانه و طول دوره و سرعت پر شدن دانه تحت شرایط محیطی مختلف، تاریخ‌های مختلف کاشت و ارقام مختلف نشان دهنده اهمیت این صفات در تعیین وزن دانه کلزا بود.

واژه‌های کلیدی: تشعشع، دما، رقم، سرعت رشد جامعه گیاهی، وزن دانه.

*مسئول مکاتبه: abolfazlfaraji@yahoo.com

مقدمه

بخش بزرگی از تغییرات وزن دانه و در نتیجه عملکرد به شرایط آب و هوایی طی دوره حیاتی پر شدن دانه بستگی دارد (Abbate *et al.*, 1997; Andrade *et al.*, 1999 and 2000; Aguirrezabal *et al.*, 2003; Faraji, 2012). تاثیر شرایط مختلف آب و هوایی مانند دما، تشعشع و نزولات بر وزن دانه و رابطه بین وزن دانه با عملکرد در تعدادی از گونه‌های گیاهی، مانند بادام زمینی (Caliskan *et al.*, 2007; Haro *et al.*, 2008 *et al.*, 2008)، شیدر (Lannucci and Martiniello, 1998)، باقلا (Loss and Siddique, 1997)، گندم (Gonzalez *et al.*, 2005)، آفتابگردان (Ruiz and Maddonni, 2006) و لوبیا چشم بلبلی (Bagnall and King, 1987) مورد مطالعه قرار گرفته است. در سویا، تحت شرایط گلخانه ای، افزایش دمای شب/روز از ۲۰/۱۵ به ۳۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه شد، که عمدتاً ناشی از کاهش اندازه دانه بود (Heinemann *et al.*, 2006). هاکالا (Hakala, 1998) اظهار داشت که کاهش وزن هزار دانه گندم در اثر افزایش دمای هوا طی دوره پر شدن دانه به میزان تاثیر افزایش دما بر افزایش سرعت نمو گیاه طی دوره فوق بستگی دارد. ایشان مشاهده کرد که افزایش اندک سرعت نمو در بعد از مرحله گرده افشانی با افزایش دمای هوا به سه درجه سانتی‌گراد در طی سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۴ بر وزن هزار دانه تاثیری نگذاشت، اما افزایش قابل توجه سرعت نمو در سال ۱۹۹۳ با کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه همراه بود. در لوبیا، آکاستا-گالیکاس و همکاران (Acosta-Gallegos *et al.*, 1996) مشاهده کردند که وزن دانه همبستگی بالایی با طول دوره پر شدن دانه و دمای هوا طی دوره پر شدن دانه دارد. در مطالعه آن‌ها واکنش نه رقم مورد مطالعه به شرایط آب و هوایی تقریباً مشابه بود. همچنین تغییرات دما و تشعشع بخش مهمی از کاهش عملکرد دانه ناشی از تاخیر در کاشت را توجیه کرد.

آگویرزابال و همکاران (Aguirrezabal *et al.*, 2003) اظهار داشتند که یک دوره بحرانی در آفتابگردان وجود دارد که وزن دانه همبستگی بالایی با تشعشعات فعال فتوسنتزی دریافت شده توسط جامعه گیاهی طی این دوره دارد. آن‌ها پیشنهاد کردند که شناسایی این دوره بحرانی در ارقام مختلف جهت بهبود مدیریت زراعی و مدل‌سازی عملکرد بسیار مفید است. آن‌ها نشان دادند که افزایش شاخص و دوام سطح برگ طی این دوره می‌تواند سبب افزایش وزن دانه شود. رویز و مادونی (Ruiz and Maddonni, 2006) نشان دادند که در مقایسه با اندازه منابع تولید مواد فتوسنتزی در بعد از گلدهی، نسبت منبع به مقصد مواد فتوسنتزی (نسبت دوام سطح برگ به تعداد دانه در متر مربع) می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مفیدتر در توجیه وزن دانه آفتابگردان مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه آن‌ها با افزایش این نسبت تا حد معینی، وزن دانه افزایش و سپس ثابت ماند. در تعدادی از مطالعات، در گونه‌های گیاهی مختلف، برای نشان دادن اثرات دما و تشعشع بر صفات مختلف از نسبت (کسر) فتوترمال استفاده شده است (Fischer, 1985; Cantagallo *et al.*, 1997; Chimenti and Hall, 2001). به هر حال کلزا گیاهی سازگار با نواحی خنک

بوده و شرایط محیطی طی پر شدن دانه تاثیر زیادی بر وزن دانه و در نتیجه عملکرد دانه دارد (Angadi *et al.*, 1999). دمای بالا سرعت نمو گیاه را تسریع نموده، طول دوره رشد را کم می کند و سبب کاهش پتانسیل تولید عملکرد دانه می شود (Entz and Flower, 1991). تنش های خشکی و گرما می توانند از طریق تاثیر بر منابع و مقاصد مواد فتوسنتزی سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شوند (Mendham and Salsbury, 1995).

تاکنون نقش مدیریت زراعی، رقم و تنش خشکی و گرما بر عملکرد دانه و تعدادی از صفات کلزا مورد بررسی قرار گرفته است (Chongo and McVetty, 2000; Morrison and Stewart, 2002; Gan *et al.*, 2004; Faraji *et al.*, 2009)، اما مطالعات دقیق تری که اثرات تاریخ کاشت، آبیاری تکمیلی، دما، تشعشع، سرعت رشد جامعه گیاهی، طول دوره و سرعت پر شدن دانه، تعداد دانه در مترمربع و نسبت فتوترمال طی دوره حیاتی پر شدن دانه بر وزن دانه را در نظر بگیرد، انجام نشده است. به هر حال اطلاعات اندکی در ارتباط با تاثیر عوامل محیطی مانند دما و تشعشع بر وزن دانه ارقام جدید کلزا وجود دارد. بنابراین در قالب بخشی از یک مطالعه وسیع تر، تاثیر عوامل فوق بر وزن هزار دانه کلزا مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

آزمایش در دو سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ و ۸۶-۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد انجام شد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۴۵ متر و مشخصات جغرافیایی آن به ترتیب ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی است. بر طبق تقسیم بندی آب و هوایی کوپن، منطقه گنبد دارای اقلیم مدیترانه ای گرم و نیمه خشک است. این منطقه دارای زمستان های نسبتاً سرد و مرطوب و تابستان های گرم و خشک بوده و معمولاً قسمت عمده نزولات جوی به صورت باران در طی زمستان و فروردین حادث می شود. آمار هواشناسی ایستگاه گنبد طی دو سال انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم انجام شد. پنج تاریخ کاشت (جهت دستیابی به رژیم های حرارتی متفاوت طی دوره پر شدن دانه) ۱۵ آبان، ۱۵ آذر، ۱۵ دی، ۱۵ بهمن و ۱۵ اسفند در کرت های اصلی و دو رقم کلزای تیپ بهاره (هایولا ۴۰۱)، یک رقم هیبرید و آرجی اس ۰۰۳، یک رقم آزاد گرده افشان) در کرت های فرعی قرار گرفتند. برای اطمینان از دستیابی به تراکم بوته مورد نظر (یک میلیون بوته در هکتار و با الگوی کاشت ۵ × ۲۰ سانتی متر)، در موقع کاشت بیش از میزان لازم بذر مصرف کرده و بعد از استقرار بوته ها، فاصله بوته ها در هر ردیف تنظیم گردید. هر کرت شامل ۸ خط کاشت به طول ۵ متر بود. فاصله بین تکرارها ۳ متر، فاصله بین کرت های اصلی ۲ متر و فاصله بین کرت های

فرعی یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. عملیات وجین علف‌های هرز به صورت دستی به وسیله کارگر صورت گرفت.

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد طی دو سال انجام آزمایش.

ماه	میانگین دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	میانگین دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	ساعات آفتابی	تبخیر پتانسیل (میلی‌متر)
۱۳۸۴-۸۵					
آبان	۹/۲	۲۱/۲	۱۲۰/۲	۱۷۹/۳	۶۰/۳
آذر	۷/۱	۱۸/۷	۲۲/۰	۱۴۶/۹	۴۴/۰
دی	۱/۳	۱۱/۲	۵۹/۹	۱۶۱/۷	۲۱/۴
بهمن	۳/۳	۱۳/۹	۵۵/۴	۱۳۴/۷	۴۲/۵
اسفند	۵/۶	۱۹/۲	۱۵/۶	۱۹۰/۶	۶۲/۴
فروردین	۹/۸	۲۱/۴	۴۸/۹	۱۶۷/۹	۷۸/۴
اردیبهشت	۱۴/۷	۲۵/۸	۳۳/۵	۱۵۲/۰	۹۵/۹
خرداد	۱۹/۰	۳۶/۳	۶/۹	۳۱۳/۵	۲۱۷/۳
۱۳۸۵-۸۶					
آبان	۱۲/۰	۲۴/۳	۵۴/۶	۱۸۱/۵	۶۵/۴
آذر	۴/۳	۱۲/۷	۶۳/۵	۱۲۳/۴	۲۳/۶
دی	۲/۹	۱۲/۹	۴۱/۴	۱۶۸/۰	۴۱/۷
بهمن	۵/۱	۱۷/۱	۳۵/۸	۱۶۱/۲	۴۹/۵
اسفند	۳/۳	۱۵/۹	۹۵/۸	۱۷۲/۲	۴۹/۰
فروردین	۸/۸	۱۸/۱	۹۳/۴	۱۰۳/۷	۴۳/۰
اردیبهشت	۱۲/۸	۲۳/۹	۴۰/۱	۱۷۸/۰	۸۴/۳
خرداد	۱۸/۹	۳۵/۳	۸/۰	۳۰۹/۸	۲۰۳/۵

بر اساس نتایج تجزیه خاک، مقادیر کودهای فسفر و پتاس به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر و اکسید پتاس (به ترتیب از منابع کودی سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم) قبل از کاشت به زمین داده شد. مقدار کود نیتروژن لازم به مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (از منبع اوره)، به مقدار یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در مرحله شروع ساقه‌دهی و یک سوم در مرحله شروع گلدهی به زمین داده شد. بافت خاک محل انجام آزمایش سیلتی لوم، اسیدیته ۸/۱ و هدایت الکتریکی ۰/۷۳ دسی‌زیمنس بر متر بود. برای تامین آب مورد نیاز گیاه در شرایط آبیاری تکمیلی، مقدار رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه برای قطعه کاشت قبلاً تعیین شد و در طول اجرای طرح کمبود آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک به حالت ظرفیت مزرعه محاسبه و سپس از طریق آبیاری و با استفاده از کنتور در شروع ساقه‌دهی، شروع گلدهی و شروع پرشدن دانه به کرت‌های آزمایشی داده شد (Zhang *et al.*, 1999). برای محاسبه ماده خشک اندام‌های هوایی، شاخص سطح برگ و سرعت رشد جامعه

گیاهی ۱۰ بوته از ردیف‌های ۲ و ۳ گرفته شد. تعداد روز تا یک مرحله فنولوژیکی معین بر اساس تعداد روز تا زمانی که ۵۰ درصد از گیاهان هر کرت به آن مرحله معین برسند، محاسبه شد (Harper and Berkenkamp, 1975).

شاخص سطح برگ با محاسبه سطح یک طرف برگ‌های سبز ۱۰ بوته با دستگاه سطح برگ سنج DELTA-T تعیین شد. پس از برداشت، وزن دانه با محاسبه وزن ۱۰۰۰ دانه از هر تیمار و با رطوبت هشت درصد تعیین شد. سرعت رشد جامعه گیاهی از طریق تقسیم ماده خشک اندام‌های هوایی تولید شده طی دوره پر شدن دانه (دوره بین شروع پر شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیکی) بر طول دوره فوق محاسبه شد. میزان تشعشع رسیده به بالای سطح زمین از طریق محاسبه و تبدیل تعداد ساعات آفتابی تعیین شد. نسبت فتوترمال از تقسیم میانگین تشعشع رسیده به بالای سطح زمین طی دوره پر شدن دانه بر میانگین دمای هوا (بالتر از صفر درجه سانتی‌گراد) طی دوره فوق محاسبه شد (Adamsen and Coffelt, 2005; Poggio et al., 2005). در پایان داده‌های به‌دست آمده توسط نرم افزار آماری (SAS, 1996) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای هر رقم، روابط رگرسیونی بین تاریخ کاشت، سرعت رشد جامعه گیاهی، دما، تشعشع، نسبت فتوترمال، تعداد دانه در متر مربع، سرعت و طول دوره پر شدن دانه با وزن هزار دانه با استفاده از برنامه EXCEL ترسیم شد.

نتایج و بحث

جدول تجزیه مرکب دو سال و دو مکان (شرایط آبیاری تکمیلی و دیم) نشان داد که اثر شرایط آب و هوایی طی دو سال انجام آزمایش بر وزن هزار دانه کلزا معنی دار بود (جدول ۲)، بنابراین با معنی دار شدن اثر سال بر وزن هزار دانه، تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر وزن هزار دانه در هر سال و هر مکان به‌طور جداگانه تجزیه شد.

تاریخ کاشت و دما: در هر دو سال انجام آزمایش و هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم، وزن هزار دانه کلزا تحت تاثیر تاریخ کاشت قرار گرفت (جدول ۳). در هر دو سال و هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم، تاریخ کاشت ۱۵ آبان بیشترین و تاریخ کاشت ۱۵ اسفند کمترین وزن هزار دانه را داشت (جدول ۳). دامنه تغییرات وزن هزار دانه از ۲/۴ تا ۳/۲ گرم در سال اول، ۳/۰ تا ۴/۳ گرم در سال دوم، ۳/۰ تا ۴/۰ گرم در شرایط آبیاری تکمیلی و ۲/۴ تا ۳/۵ گرم در شرایط دیم متفاوت بود (جدول ۳). بین تاخیر در کاشت با وزن هزار دانه یک رابطه خطی منفی صادق بود، که به ترتیب ۶۷ و ۶۳ درصد از تغییرات در هیبرید هایولا ۴۰۱ رقم آرچی اس ۰۰۳ را توجیه کرد (شکل ۱). این رابطه خطی نشان داد که به ازای هر روز تاخیر در کاشت از ۱۵ آبان، وزن هزار دانه هیبرید هایولا ۴۰۱ رقم آرچی اس ۰۰۳ به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۱۶ گرم کاهش یافت (شکل ۱). مشاهده می‌شود که با تاخیر در کاشت، کاهش وزن هزار دانه در

هیبرید هایولا ۴۰۱ بیشتر از رقم آرجی اس ۰۰۳ بود، که نشان دهنده حساسیت بیشتر وزن هزار دانه هیبرید هایولا ۴۰۱ به تاخیر در کاشت بود.

جدول ۲- مجموع مربعات وزن هزار دانه کلزا در تجزیه مرکب دو سال و دو مکان^۱.

منبع تغییر	درجه آزادی	وزن هزار دانه (گرم)
سال	۱	۲۸/۶۳**
آبیاری (مکان)	۱	۶/۹۹ ^{ns}
سال×آبیاری	۱	۰/۱۶ ^{ns}
خطا ۱	۸	۲/۴۱
تاریخ کاشت	۴	۱۶/۲۸*
سال×تاریخ کاشت	۴	۲/۰۲**
آبیاری×تاریخ کاشت	۴	۰/۷۶ ^{ns}
سال×آبیاری×تاریخ کاشت	۴	۱/۳۰*
خطا ۲	۳۲	۳/۳۸
رقم	۱	۴/۳۸ ^{ns}
سال×رقم	۱	۰/۷۸**
آبیاری×رقم	۱	۰/۰۲ ^{ns}
تاریخ کاشت×رقم	۴	۰/۱۹ ^{ns}
سال×آبیاری×رقم	۱	۰/۰۷ ^{ns}
سال×تاریخ کاشت×رقم	۴	۰/۱۰ ^{ns}
آبیاری×تاریخ کاشت×رقم	۴	۰/۱۶ ^{ns}
سال×آبیاری×تاریخ کاشت×رقم	۴	۰/۰۶ ^{ns}
خطا ۳	۴۰	۲/۴۹

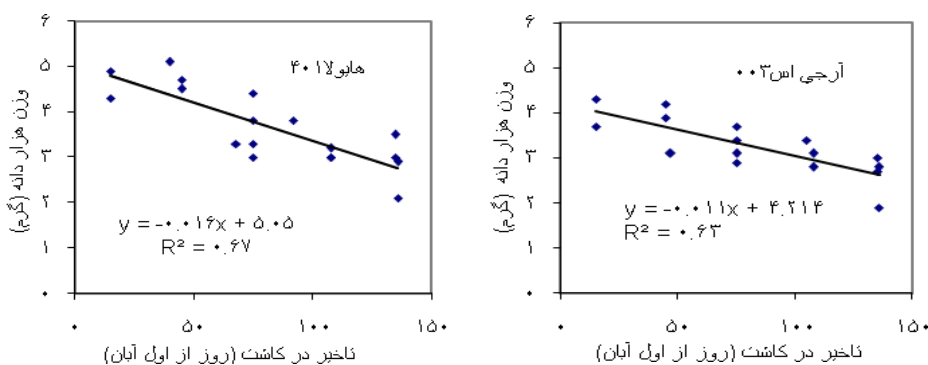
۱- ns غیر معنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد بر اساس آزمون F.

جدول ۳- میانگین های وزن هزار دانه در دو سال و دو شرایط مختلف^۱.

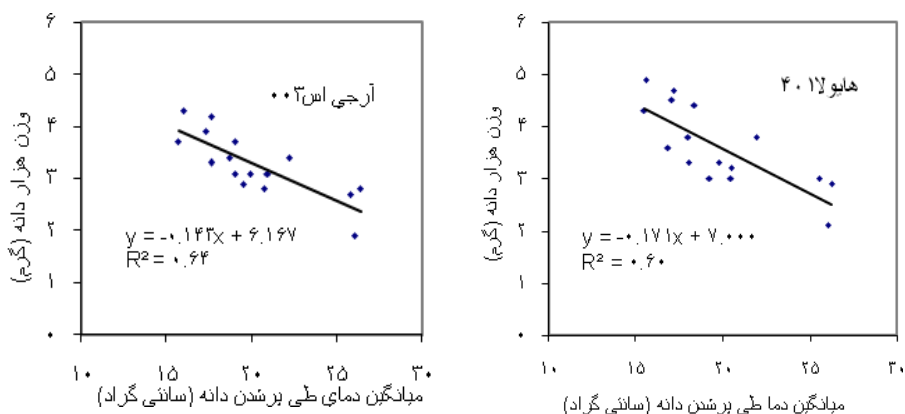
تیمار	سال		شرایط آبیاری
	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۵-۸۶	
تاریخ کاشت			شرایط دیم
۱۵ آبان	۳/۲ ^a	۴/۳ ^a	۳/۵ ^a
۱۵ آذر	۳/۰ ^b	۴/۳ ^a	۳/۵ ^a
۱۵ دی	۳/۱ ^b	۳/۸ ^b	۳/۳ ^b
۱۵ بهمن	۳/۰ ^b	۴/۲ ^a	۳/۲ ^b
۱۵ اسفند	۲/۴ ^c	۳/۰ ^c	۲/۴ ^c
رقم			
هایولا ۴۰۱	۳/۱ ^a	۴/۲ ^a	۳/۴ ^a
آرجی اس ۰۰۳	۲/۸ ^b	۳/۷ ^b	۳/۰ ^b

۱- اعداد هر گروه در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD هستند.

به نظر می‌رسد افزایش دمای هوا طی دوره پر شدن دانه، یکی از دلایل اصلی کاهش وزن هزار دانه با تاخیر در کاشت باشد. رابطه خطی منفی بین میانگین دمای هوا طی دوره پر شدن دانه با وزن هزار دانه در هر دو رقم مورد مطالعه نیز موید این مساله است (شکل ۲). این رابطه خطی به ترتیب ۶۰ و ۶۴ درصد از تغییرات در هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرجی اس ۰۰۳ را توجیه کرد (شکل ۲). این رابطه خطی منفی نشان می‌دهد که به ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش دمای هوا طی دوره پر شدن دانه، وزن هزار دانه در هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرجی اس ۰۰۳ به ترتیب ۰/۱۷۱ و ۰/۱۴۴ گرم کاهش یافت (شکل ۲)، که نشان‌دهنده کاهش بیشتر وزن هزار دانه با افزایش دمای هوا طی دوره پر شدن دانه در هیبرید هایولا ۴۰۱ بود. با توجه به این که دمای بهینه روزانه طی دوره پر شدن دانه کلزا حدود ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است (Entz and Flower, 1991; Angadi *et al.*, 2000; Morrison and Stewart, 2002)، بنابراین در این مطالعه دماهای بالا طی دوره پر شدن دانه بر وزن دانه کلزا تاثیر منفی گذاشت.



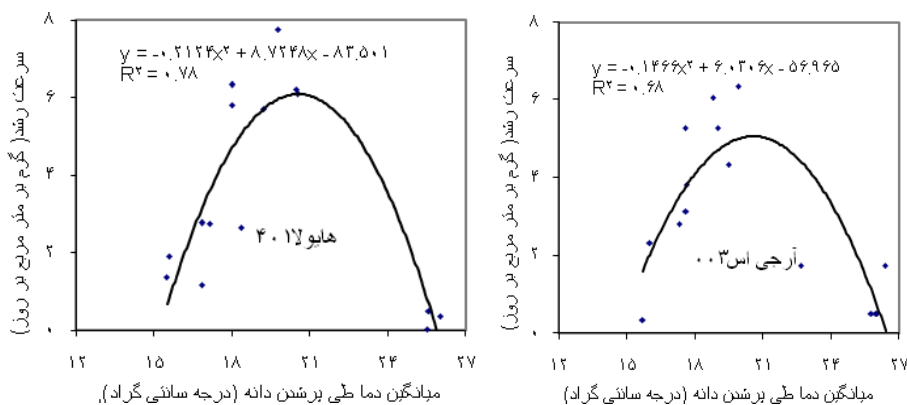
شکل ۱- رابطه بین تاخیر در کاشت و وزن هزار دانه در ارقام هایولا ۴۰۱ و آرجی اس ۰۰۳.



شکل ۲- رابطه بین میانگین دمای هوا طی دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه در ارقام هایولا ۴۰۱ و آرجی اس ۰۰۳.

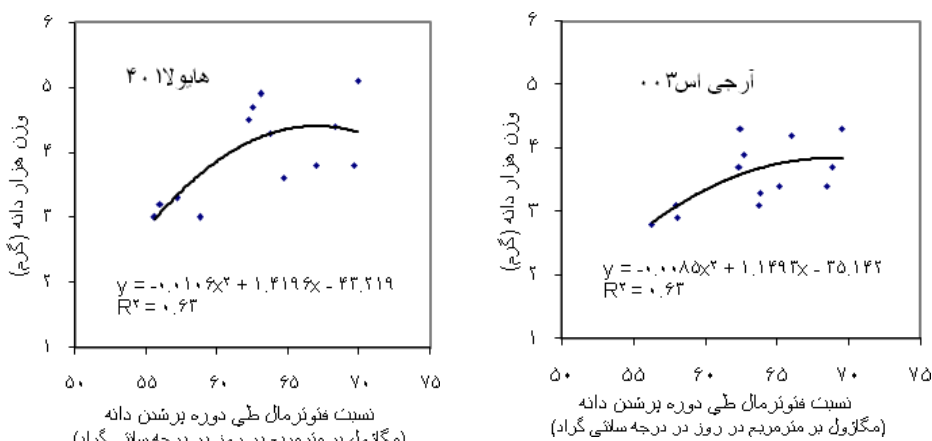
تشعشع، سرعت رشد جامعه گیاهی و نسبت فتوترمال: وقتی رابطه بین میزان تشعشع روزانه در بالای سطح زمین طی دوره پر شدن دانه با وزن هزار دانه ترسیم شد، در هیچ یک از دو رقم مورد مطالعه رابطه قوی و معنی داری بین میزان تشعشع روزانه در بالای سطح زمین و وزن هزار دانه مشاهده نشد. علی‌رغم نقش تأیید شده تشعشع دریافت شده خورشید توسط جامعه گیاهی در انجام عمل فتوسنتز و افزایش ماده خشک، به نظر می‌رسد که کلزا نتوانسته است از تشعشع خورشیدی طی دوره پر شدن دانه به خوبی استفاده کند. این مساله می‌تواند احتمالاً ناشی از افزایش دمای هوا (همراه با افزایش تشعشع) و ریزش شدید برگ‌ها طی این دوره باشد، که با کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک همراه بود. میانگین شاخص سطح برگ در مراحل شروع پر شدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک در هیبرید هایولا ۴۰۱ در سال اول به ترتیب ۳/۹ و ۰/۴ و در سال دوم به ترتیب ۴/۴ و ۰/۳ بود. همچنین میانگین شاخص سطح برگ در مراحل شروع پر شدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک در رقم آرچی اس ۰۰۳ در سال اول به ترتیب ۴/۰ و ۰/۵ و در سال دوم به ترتیب ۴/۵ و ۰/۴ بود. این مساله نشان‌دهنده کاهش شدید سطح برگ، به‌عنوان اندام اصلی دریافت تشعشع خورشید و انجام عمل فتوسنتز، طی دوره پر شدن دانه بود و می‌تواند یکی از دلایل اصلی عدم وجود رابطه مثبت بین میزان تشعشع در بالای سطح زمین طی دوره پر شدن دانه با وزن هزار دانه باشد.

زمانی که رابطه بین وزن هزار دانه با تعداد دانه در مترمربع ترسیم شد، مشاهده شد که بین وزن هزار دانه با تعداد دانه در متر مربع رابطه‌ای وجود نداشت. بنابراین همان‌طوری که در مطالعات دیگر گزارش شده است (Borras *et al.*, 2004; Gonzalez *et al.*, 2005; Ruiz and Maddonni, 2006)، در این مطالعه وزن دانه عمدتاً تحت تأثیر شرایط محیطی طی دوره پر شدن دانه، ماده خشک تولید شده طی دوره فوق و احتمالاً میزان ماده خشک منتقل شده به دانه‌های در حال پر شدن در فرایند انتقال مجدد قرار گرفته است، تا این که تحت تأثیر پتانسیل نیاز مقصد (تعداد دانه در واحد سطح) باشد. رابطه درجه ۲ و نسبتاً قوی بین سرعت رشد جامعه گیاهی با میانگین دمای هوا طی دوره پر شدن دانه نشان داد که با افزایش میانگین دمای هوا تا حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد سرعت رشد جامعه گیاهی در هر دو رقم مورد مطالعه افزایش و سپس با افزایش بیشتر دمای هوا کاهش یافت (شکل ۳). حداکثر سرعت رشد جامعه گیاهی در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد به دست آمد که برای هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرچی اس ۰۰۳ به ترتیب معادل ۶ و ۵ گرم در مترمربع در روز بود (شکل ۳). در دمای حدود ۲۶ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد سرعت رشد جامعه گیاهی به حدود صفر نزدیک شد (شکل ۳)، که نشان‌دهنده تأثیر منفی دماهای بالا بر سرعت رشد جامعه گیاهی، تولید ماده خشک و در نتیجه وزن هزار دانه بود.



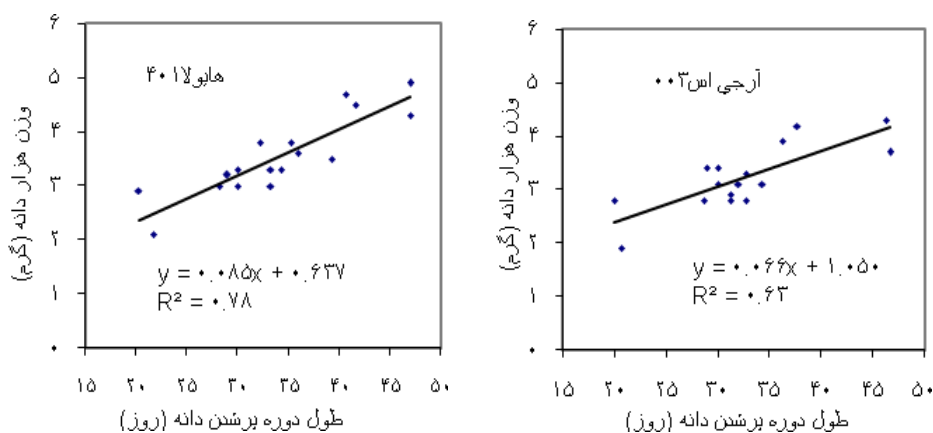
شکل ۳- رابطه بین میانگین دمای هوا طی دوره پر شدن دانه با سرعت رشد جامعه گیاهی.

به هر حال وقتی اثرات تشعشع و دما در قالب نسبت فتوترمال تلفیق شدند، یک رابطه درجه ۲ بین میانگین نسبت فتوترمال طی دوره پر شدن دانه با وزن هزار دانه مشاهده شد (شکل ۴). این رابطه ۶۳ درصد از تغییرات در هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرچی اس ۰۰۳ را توجیه کرد (شکل ۴). با افزایش نسبت فتوترمال طی دوره پر شدن دانه به حدود ۶۵ درصد وزن هزار دانه افزایش یافت و سپس با افزایش بیشتر این نسبت وزن هزار دانه تقریباً ثابت ماند (شکل ۴). بنابراین افزایش تشعشع اگر با دماهای نسبتاً خنک تا ملایم همراه باشد، می تواند سبب افزایش وزن هزار دانه کلزا شود. نقش مهم تشعشع دریافت شده طی دوره پر شدن دانه در تعیین وزن دانه در مطالعه دوپسیو و همکاران (Dosio et al., 2000) نیز گزارش شده است.

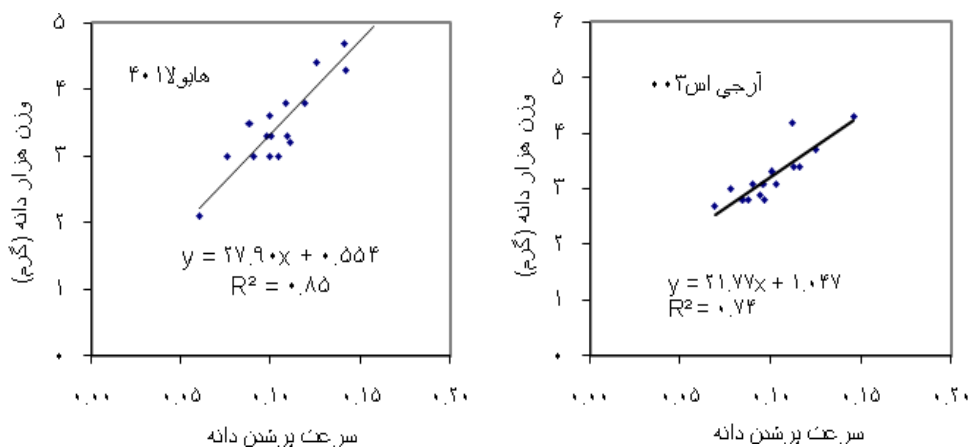


شکل ۴- رابطه بین نسبت فتوترمال طی دوره پر شدن دانه با وزن هزار دانه.

طول دوره و سرعت پر شدن دانه: وزن دانه تحت تاثیر طول دوره پر شدن دانه و سرعت پر شدن دانه قرار گرفت. بین طول دوره پر شدن دانه با وزن هزار دانه رابطه خطی مثبتی وجود داشت، که به ترتیب ۷۸ و ۶۳ درصد از تغییرات در هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرجی اس ۰۰۳ را توجیه کرد (شکل ۵). هیبرید هایولا ۴۰۱ واکنش بیشتری نسبت به افزایش طول دوره پر شدن نشان داد. میانگین افزایش وزن هزار دانه به ازای افزایش هر روز طول دوره پر شدن دانه در هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرجی اس ۰۰۳ به ترتیب ۰/۰۸۵ و ۰/۰۶۷ گرم بود. از آن جایی که طول دوره پر شدن دانه در کلزا تحت تاثیر دما است (Habekotte, 1997)، کاهش دمای هوا طی این دوره می تواند سبب افزایش طول دوره و در نتیجه افزایش وزن دانه کلزا شود. بنابراین مدیریت زراعی مانند تاریخ کاشت می تواند نقش زیادی در برخورد مرحله حساس پر شدن دانه با دماهای کم و افزایش طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه افزایش وزن دانه داشته باشد. سرعت پر شدن دانه رابطه خطی مثبتی با وزن هزار دانه داشت، که به ترتیب ۶۷ و ۷۴ درصد از تغییرات در هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرجی اس ۰۰۳ را توجیه کرد (شکل ۶). این رابطه نسبتاً قوی نشان داد که به ازای هر یک میلی گرم روز افزایش سرعت پر شدن دانه، وزن هزار دانه در هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرجی اس ۰۰۳ به ترتیب ۲۸/۴ و ۲۱/۸ گرم افزایش یافت، که موید حساسیت بیشتر وزن هزار دانه در هیبرید هایولا ۴۰۱ به افزایش سرعت پر شدن دانه بود.



شکل ۵- رابطه بین طول دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه.



شکل ۶- رابطه بین سرعت پر شدن دانه و وزن هزار دانه

به نظر می رسد بیشتر بودن طول دوره پر شدن دانه در سال دوم نسبت به سال اول، دلیل اصلی افزایش وزن دانه ارقام در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش باشد. میانگین طول دوره پر شدن دانه در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۲۹/۵ و ۳۷/۷ روز بود، که به دلیل شرایط آب و هوایی متفاوت طی دوره پر شدن دانه در دو سال انجام آزمایش بود. به عنوان مثال ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد (که تقریباً معادل دوره پر شدن دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت آزمایش بود) در سال اول دارای میانگین دمای بالاتر، میانگین تعداد ساعات آفتابی بیشتر و میانگین بارندگی کمتر بود (جدول ۱). طی این دوره (ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد) در سال اول و دوم آزمایش میانگین دمای هوا به ترتیب ۲۱/۲ و ۱۹/۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین ساعات آفتابی ماهانه ۲۱۱/۳ و ۱۹۷/۳ ساعت و میانگین بارندگی ماهانه ۲۹/۸ و ۴۷/۲ میلی‌متر بود (جدول ۱). به‌طور کلی، دوره پر شدن دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت سال دوم آزمایش با شرایط آب و هوایی مناسب‌تری مصادف شد و در نتیجه طول دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه افزایش یافت (جدول ۳).

بنابراین، مانند تعدادی از گونه‌های گیاهی دیگر (Entz and Flower, 1991; Chimenti and Hall, 2001)، در این مطالعه دماهای بالای ناشی از تاخیر در کاشت، سرعت نمو گیاه را تسریع نمود و در نتیجه طول دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه را کاهش داد (جدول ۲). همان‌طوری که به‌وسیله جانسون و همکاران (Johnston *et al.*, 2002) گزارش شده است، در این مطالعه تاریخ کاشت مناسب یک ابزار مدیریتی مهم در به حداقل رساندن جنبه‌های منفی دمای بالا و تنش رطوبت طی دوره پر شدن دانه در کلزا بود، که همراه با آبیاری تکمیلی سبب افزایش وزن هزار دانه شد. از این رو توانایی

گیاه در هماهنگ کردن مراحل حیاتی نمو آن با دوره های با تنش گرما و خشکی کمتر در طی فصل رشد و به خصوص دوره حیاتی پر شدن دانه (Ludlow and Muchow, 1990)، سبب افزایش وزن دانه و در نتیجه عملکرد دانه شد. تنش کمبود آب و دمای بالا در طی دوره پر شدن دانه می تواند سبب کاهش وزن دانه و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شود (Johnston *et al.*, 2002). تنش شدید منابع فتوسنتزی را محدود کرده (Morrison, 1993) و طول دوره رشد زایشی را کم می کند (Hall, 1992). اگرچه در هر دو سال انجام آزمایش و همچنین هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم وزن هزار دانه هیبرید هایولا ۴۰۱ نسبت به رقم آزاد گرده افشان آرچی اس ۰۰۳ برتری معنی داری داشت (جدول ۳)، ولی وزن هزار دانه هیبرید هایولا ۴۰۱ حساسیت بیشتری نیز به عوامل محیطی طی دوره پر شدن دانه داشت. میانگین وزن هزار دانه هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرچی اس ۰۰۳ در سال اول به ترتیب ۳/۱ و ۲/۸ گرم و در سال دوم به ترتیب ۴/۲ و ۳/۷ گرم بود (جدول ۳). همچنین میانگین وزن هزار دانه هیبرید هایولا ۴۰۱ و رقم آرچی اس ۰۰۳ در شرایط آبیاری تکمیلی به ترتیب ۳/۹ و ۳/۵ گرم و در شرایط دیم به ترتیب ۳/۴ و ۳/۰ گرم بود (جدول ۳).

منطقه گنبد یکی از مهمترین نواحی کشاورزی ایران بوده و در طی ۱۰ سال گذشته حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از کلزای کشور را تولید کرده است. در این منطقه، با یک تنش خشکی و گرمای انتهای فصل رشد تیپیک، انتخاب ارقام پیشرفته متحمل به تنش خشکی و گرمای انتهای فصل رشد بسیار مهم است. در این آزمایش، دوره پر شدن دانه یک دوره مهم و حیاتی در افزایش وزن دانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه بود و برخورد این دوره با دماهای خنک سبب افزایش طول دوره پر شدن دانه و افزایش وزن هزار دانه شد. روابط قوی و معنی دار بین وزن هزار دانه با دما، نسبت فتوترمال و سرعت رشد جامعه گیاهی طی دوره پر شدن دانه و طول دوره و سرعت پر شدن دانه تحت شرایط محیطی مختلف، تاریخ های مختلف کاشت و ارقام مختلف نشان دهنده اهمیت این صفات در تعیین وزن دانه در کلزا بود.

منابع

- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P., and Bindraban, P.S. 1997. Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Res.* 54: 245-257.
- Acosta-Gallegos, J.A., Vargas-Vazquez, P., and White, J.W. 1996. Effect of sowing date on the growth and seed yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in highland environments. *Field Crops Res.* 49: 1-10.
- Adamsen, F.J., and Coffelt, T.A. 2005. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. *Ind. Crops Prod.* 21: 293-307.
- Aguirrezabal, L.A.N., Lavud, Y., Dosio, G.A.A., Izquierdo, N.G., Andrade, F.H., and Gonzalez, L.M. 2003. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. *Crop Sci.* 43: 152-161.

- Andrade, F.H., Vega, C.R.C., Uhart, S.A., Cirilo, A.G., Cantarero, M., and Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39: 453-459.
- Andrade, F.H., Otegui, M.E. and Vega, C. 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agron J.* 92: 92-97.
- Angadi, S.V., McConkey, B.G., Ulrich, D., Cutforth, H.W., Miller, P.R., Entz, M.H., Brandt, S.A., and Volkmar, K. 1999. Developing viable cropping options for the semiarid prairies. Project Rep. Agric. and Agri-Food Can., Swift Current, SK.
- Angadi, S.V., Cutforth, H.W., Miller, P.R., McConkey, B.G., Entz, M.H., Brandt, A., and Olkmar, K.M. 2000. Response of three Brassica species to high temperature stress during reproductive growth. *Can. J. Plant Sci.* 80: 693-701.
- Bagnall, D.J., and King, R.W. 1987. Temperature and irradiance effects on yield in Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Field Crops Res.* 16: 217-229.
- Borras, L., Slafer, G.A., and Otegui, M.E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86: 131-146.
- Caliskan, M.E., Caliskan, M., Arslan, M., and Arioglu, H. 2008. Effects of sowing date and growth duration on growth and yield of groundnut in a Mediterranean-type environment in Turkey. *Field Crops Res.* 105: 131-140.
- Cantagallo, J.E., Chimentì, C.A. and Hall, A.J. 1997. Number of seeds per unit area in sunflower correlates well with a photothermal quotient. *Crop Sci.* 37: 1780-1786.
- Chimentì, C.A., and Hall, A.J. 2001. Grain number responses to temperature during floret differentiation in sunflower. *Field Crops Res.* 72: 177-184.
- Chongo, G. and McVetty, P.B.E. 2000. Relationship of physiological characters to yield parameters in oilseed rape (*B. napus*). *Can. J. Plant Sci.* 81: 1-6.
- Dosio, G.A.A., Aguirrezabal, L.A.N., Andrade, F.H., and Pereyra, V.R. 2000. Solar radiation intercepted during seed filling and oil production in two sunflower hybrids. *Crop Sci.* 40: 1637-1640.
- Entz, M.H., and Flower, D.B. 1991. Agronomic performance of winter versus spring wheat. *Agron. J.* 83: 527-532.
- Faraji, A. 2012. Oil concentration in canola (*Brassica napus* L.), as a function of environmental conditions during seed filling period. *Inter. J. Plant Prod.* 2: 267-277.
- Faraji A., Latifi, N., Soltani, A., and Shirani Rad, A.H. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agric. Water Manag.* 96: 132-140.
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 105: 447-461.
- Gan, Y., Angadi, S.V., Cutforth, H., Potts, D., Angadi, V.V., and McDonald, C.L. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Can. J. Plant Sci.* 84: 697-704.
- Gonzalez, F.G., Slafer, G.A., and Miralles, D.J. 2005. Floret development and survival in wheat plants exposed to contrasting photoperiod and radiation environments during stem elongation. *Funct. Plant Biol.* 32: 189-197.
- Habekotte, B. 1997. Evaluation of seed yield determining factors of winter oilseed rape (*B. napus* L.) by means of crop growth modeling. *Field Crops Research.* 54: 137-151.

- Hakala, K. 1998. Growth and yield potential of spring wheat in a simulated changed climate with increased CO₂ and higher temperature. *Eur. J. Agron.* 9: 41-52.
- Hall, A.E. 1992. Breeding for heat tolerance. *Plant Breed. Rev.* 10: 129-168.
- Haro, R.J., Otegui, M.E., Collino, D.J., and Dardanelli, J.L. 2007. Environmental effects on seed yield determination of irrigated peanut crops: Links with radiation use efficiency and crop growth rate. *Field Crops Res.* 103: 217-228.
- Harper, F.R., and Berkenkamp, B. 1975. Revised growth-stage key for *Brassica campestris* and *B. napus*. *Can. J. plant Sci.* 55: 657-658.
- Heinemann, A.B., Maia, A.H.N., Ingram, D.K.T., and Hoogenboom, G. 2006. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. *Eur. J. Agron.* 24: 52-61.
- Johnston, A.M., Tanaka, D.L., Miller, P.R., Brandt, S.A., Nielsen, D.C., Lafond, G.P., and Riveland, N.R. 2002. Oilseed crops for semiarid cropping systems in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94: 231-240.
- Lannucci, A., and Martiniello, P. 1998. Analysis of seed yield components in four Mediterranean annual clovers. *Field Crops Res.* 55: 235-243.
- Loss, S.P. and Siddique, K.H.M. 1997. Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean-type environment I. Seed yield and yield components. *Field Crops Res.* 52: 17-28.
- Ludlow, M.M., and Muchow, R.C. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limiting environments. *Adv. Agron.* 42: 107-153.
- Mendham, N.J., and Salsbury, P.A. 1995. Physiology, crop development, growth and yield. pp. 11-64. In: Kimber, D.S., and D. I. McGregor (eds.). *Brassica Oilseeds: Production and Utilization*. CAB International, London.
- Morrison, M.J. 1993. Heat stress during reproduction in summer rape. *Can. J. Bot.* 71: 303-308.
- Morrison, M.J., and Stewart, D.W. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. *Crop Sci.* 42: 797-803.
- Poggio, S.L., Satorre, E.H., Dethiou, S., and Gonzalo, G.M. 2005. Pod and seed numbers as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea (*Pisum sativum*) crops. *Eur. J. Agron.* 22: 55-69.
- Ruiz, R.A., and Maddonni, G.A. 2006. Sunflower seed weight and oil concentration under different post-flowering source-sink ratios. *Crop Sci.* 46: 671-680.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT user's guide, Version 6, 4th editions, SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Zhang, H.P., Wang, X.Y., You, M.Z., and Liu, C.M. 1999. Water-yield relations and water use efficiency of winter wheat in the North China plain. *Irrig. Sci.* 19: 37-45.