Archive of SID

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۶۶۴-۶۴۶

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 646-664

همبستگی ژنوتیپی و تجزیه مسیر صفات مرتبط با عملکرد دانه و عملکرد روغن کلزا در شرایط تنش کم‌آبی و بدون تنش

احمد اسماعیلی[1*]- سید سجاد سهرابی[2]- سیده زهرا حسینی[3]-رضا نامداریان[4]- داریوش گودرزی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱

چکیده

اصلاح و دست‌یابی به ارقامی از گیاه کلزا که دارای عملکرد قابل‌قبول بوده و بتوانند شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک کشور را تحمل نمایند، حائز اهمیت است. انتخاب بر اساس یک یا چند صفت زراعی بدون توجه به نحوه ارتباط و همبستگی بین صفات گمراه‌کننده بوده و اطمینان از نتایج مورد انتظار را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ لذا شناخت ارتباطات ویژگی‌های ژنتیکی ارقام به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از این رو به‌منظور بررسی ارتباطات و همبستگی ژنتیکی صفات و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه و روغن در ارقام مختلف کلزا، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط تنش کم‌آبیاری انتهای فصل رشد و شرایط بدون تنش اجرا گردید. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات اختلاف معنی‌داری دارند و هم‌چنین تنش خشکی باعث کاهش تظاهر در تمامی صفات گردید. ضرایب همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی بین تمامی صفات محاسبه شد و با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام مناسب‌ترین مدل در هر دو محیط ارائه شد. تجزیه مسیر روی همبستگی ژنتیکی بین عملکرد دانه و سایر صفات مرتبط نشان داد که در شرایط بدون تنش، صفات تعداد خورجین در هر بوته و طول خورجین اثر مستقیم و بالایی روی عملکرد دانه داشته در حالی‌که در شرایط تنش خشکی، طول خورجین و ارتفاع بوته بیش‌ترین اثر مستقیم را نشان دادند. هم‌چنین نتایج نشان داد که عملکرد دانه بیش‌ترین اثر مستقیم را در هر دو شرایط محیطی بر روی عملکرد روغن دارد؛ بنابراین مهم‌ترین صفات به‌عنوان شاخص گزینش برای افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب شامل طول خورجین و عملکرد دانه بود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مسیر، رگرسیون گام‌به‌گام، عملکرد روغن، همبستگی ژنتیکی

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند و علاوه بر دارا بودن اسیدهای چرب، حاوی پروتئین نیز می‌باشند (Kimber and McGregor, 1995). میزان تولید پایین دانه‌های روغنی در مقابل نیاز بالای مصرف روغن خوراکی طی سال‌های اخیر در ایران باعث شده است که توسعه کشت و افزایش تولید دانه‌های روغنی، از سوی مسئولان وزارت جهاد کشاورزی موردتوجه ویژه‌ای قرار گیرد (Honar *et al*., 2013). توانایی بذور کلزا (*Brassica napus* L.) برای جوانه زدن و رشد در دماهای پایین هم‌چنین سازگاری زراعت کلزا با اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، توسعه کشت این گیاه روغنی را در سطح وسیعی از مناطق جهان از جمله ایران امکان‌پذیر نموده است (Kar *et al*., 2007).

خشکی و تنش آب به‌همراه تغییر الگوهای بارندگی و حرارتی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی می‌باشد که گیاه را از رسیدن به حداکثر توان محصول باز می‌دارد (Marjanovic-Jeromela *et al*., 2007). متأسفانه کشور ما نیز از تأثیرات سوء این پدیده اقلیمی در امان نبوده و در نیمی از زمین‌های قابل‌کشت، محصولات از کم‌آبی رنج می‌برند. این در حالی است که بخش کشاورزی بیش از ۹۰درصد آب استحصال‌شده کشور را به‌خود اختصاص می‌دهد و راندمان آبیاری در روش‌های مورد استفاده کنونی حدود ۳۵درصد برآورد شده است (Seydan and Ghadami Firouzabadi, 2002). بنابراین استفاده بهینه از منابع آب از طریق اصلاح روش‌های آبیاری به‌همراه استفاده از ارقام متحمل به خشکی که کارایی مصرف آب بالایی داشته باشند دو امر ضروری برای افزایش بهره‌وری از منابع موجود است (Kimber and McGregor, 1995).

تحمل به خشکی صفتی کمی است و ژن‌های زیادی در بروز آن

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۲ و ۳- دانشجویان دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۴- کارشناس ارشد آموزش و پژوهش، استانداری لرستان
۵- مربی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
(* - نویسنده مسئول: (Email: ismaili.a@lu.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v14i4.41019

www.SID.ir

Archive of SID

دخیل می‌باشند و روش اندازه‌گیری مستقیمی برای ارزیابی آن وجود ندارد. بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط یکسان افت عملکرد کمتری داشته باشند، چالشی بزرگ محسوب می‌شود (Takeda and Matsuoka, 2008). انتخاب بر اساس یک یا چند صفت زراعی بدون توجه به نحوه ارتباط و همبستگی بین صفات گمراه‌کننده بوده و اطمینان از نتایج مورد انتظار را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Majidi and Mirlohi, 2009) لذا شناخت ویژگی‌های ژنتیکی ارقام متحمل به خشکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Kar *et al*., 2007).

با توجه به‌این‌که در برنامه‌های اصلاح‌نباتات، انتخاب بر اساس تعداد زیادی صفت زراعی صورت می‌گیرد که ممکن است فرآیند انتخاب را برای محقق سخت نماید، لذا یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادگران کاهش حجم اطلاعات غیرضروری در برنامه‌های اصلاحی می‌باشد. در این خصوص استفاده از همبستگی میان صفات یکی از پرکاربردترین روش‌هایی است که توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله Marjanovic-Jeromela *et al*, 2007 نشان دادند عملکرد روغن با محتوای روغن، تعداد خورجین در بوته، وزن هزاردانه و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد. با این وجود این نوع تجزیه، همبستگی معمولی رابطه علت و معلولی بین صفات را بیان نمی‌کند (Rabiee *et al*., 2011).

تجزیه ضرایب مسیر (علیت) نوعی تجزیه رگرسیون جزئی و استاندارد شده است که قادر است آثار مستقیم یک صفت را روی صفت دیگر اندازه‌گیری کند. هم‌چنین این روش امکان تفکیک ضریب همبستگی را به اثرات مستقیم و غیرمستقیم می‌دهد (Dewey and Lu, 1959). به‌نژادگران، استفاده از تجزیه مسیر را برای بهبود صفات پیچیده‌ای که انتخاب و اصلاح آن‌ها به‌طور مستقیم مشکل اما از طریق انتخاب غیرمستقیم راحت‌تر است مناسب می‌دانند (Baradaran *et al*., 2006). البته شرط اصلی استفاده از این روش آن است که انتخاب آن جزء از صفت آسان‌تر از انتخاب صفت اصلی باشد (Montgomery and Peck, 2007). استفاده از ضرایب همبستگی ژنتیکی نسبت به ضرایب فنوتیپی، در تجزیه علیت ارجح است، زیرا در همبستگی‌های ژنتیکی اثر عوامل خارجی که در ایجاد ارتباط غیرواقعی بین صفات دخالت داشته‌اند، حذف یا به حداقل مقدار خود می‌رسند (Montgomery and Peck, 2007).

نتایج مطالعاتی که به‌منظور بررسی تأثیر عوامل محیطی بر عملکرد دانه و روغن کلزا صورت گرفته نشان داد که افزایش دما و خشکی مهم‌ترین عوامل در کاهش درصد روغن بوده در حالی‌که آبیاری می‌تواند موجب افزایش میزان عملکرد دانه و روغن گردد (Kimber and McGregor, 1995). در مطالعه‌ای ۱۵رقم کلزای پاییزه به‌منظور بررسی همبستگی صفات عملکرد و اجزای عملکرد مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه ضرایب مسیر در این مطالعه نشان داد که صفت وزن هزاردانه بعد از درصد روغن دارای بالاترین اثر مستقیم نسبت به سایر صفات بر روی عملکرد دانه بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که اثر مستقیم مثبت صفت تعداد دانه در خورجین بر روی عملکرد دانه توسط اثرات غیرمستقیم منفی خنثی گردیده و باعث کاهش همبستگی این صفت با عملکرد دانه شده است (Baradaran *et al*., 2006). نتایج تحقیقی که به بررسی صفات کمی مؤثر بر عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا زمستانه صورت گرفت، مبین این موضوع بود که عملکرد دانه در تک بوته‌ها به‌طور شدیدی به تعداد خورجین در بوته وابسته است. هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان داد که رابطه مثبت و قوی بین عملکرد دانه و درصد روغن، تعیین شاخص‌های مناسبی برای بهبود عملکرد دانه و روغن را تسهیل نمود (Habekotte, 1993). در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد برخی از ژنوتیپ‌های کلزا صورت گرفت مشخص شد که توقف آبیاری در مرحله گلدهی باعث کاهش میزان عملکرد دانه و روغن و اجزای آن شد. هم‌چنین نتایج نشان داد وزن هزاردانه تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در بین تیمارهای مختلف کمترین مقدار بود (Hasanzadeh *et al*., 2005). در تحقیقی که با هدف بررسی صفات مؤثر بر عملکرد دانه و روغن برخی ژنوتیپ‌های کلزا صورت گرفت نتایج نشان داد که عملکرد روغن همبستگی مثبت معنی‌داری را با عملکرد دانه، وزن هزاردانه و درصد روغن داشت، در حالی‌که با صفت تعداد روز تا خورجین‌دهی همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. هم‌چنین در این مطالعه رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد روغن نشان داد که صفات عملکرد دانه، درصد روغن و روز تا گلدهی بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد روغن داشتند و ۹۹/۱درصد از تغییرات عملکرد روغن را توجیه کردند. بر اساس نتایج تجزیه مسیر، بیش‌ترین اثر مستقیم بر عملکرد روغن را عملکرد دانه و به‌دنبال آن درصد روغن داشتند. بر اساس نتایج حاصله عملکرد دانه و وزن هزاردانه به‌عنوان یک شاخص گزینشی برای رسیدن به عملکرد روغن بالا پیشنهاد شد (Rabiee *et al*., 2011).

با توجه به اهمیت کلزا به‌عنوان یکی از محصولات مهم تأمین‌کننده روغن خوراکی در ایران با اجرای روش کم آبیاری می‌توان در هنگام بروز خشک‌سالی با کمبود آب مقابله نمود. بنابراین با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر تنش رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا و شناخت مؤثرترین صفات بر عملکرد اجرا گردید.

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف در شرایط بدون تنش خشکی

Table 2- Analysis of variance for different traits in non-drought stress conditions

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی DF.	میانگین مربعات (Mean square)									
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield	وزن هزار دانه Thousand seed weight	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	طول خورجین Silique length	درصد روغن دانه Seed oil percent	روز تا رسیدگی Days to maturity	درصد پروتئین دانه Seed protein percent	ارتفاع بوته Plant Height
بلوک (Block)	2	13772.07	1594	0.00	0.00	63.05	0.01	0.41	1.62	0.62	1.22
ژنوتیپ (Genotype)	19	1181443.22**	269160**	0.68**	33.14**	4672.05**	0.53**	15.99**	22.27**	7.37**	65.47**
خطا (Error)	38	24468.19	3752	0.00	0.39	25.28	0.01	0.15	0.30	0.59	4.76
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		3.12	5.08	1.19	2.45	2.30	1.09	0.95	0.22	3.10	1.24

** معنی‌دار در سطح یک‌درصد

Significant at 1% probability level

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف در شرایط تنش خشکی

Table 3- Analysis of variance for different traits in drought stress conditions

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی DF.	میانگین مربعات (Mean square)									
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield	وزن هزار دانه Thousand seed weight	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	طول خورجین Silique length	درصد روغن دانه Seed oil percent	روز تا رسیدگی Days to maturity	درصد پروتئین دانه Seed protein percent	ارتفاع بوته Plant height
بلوک (Block)	2	1146.60	101	0.00	0.95	193.85	0.00	0.05	0.32	0.55	1.43
ژنوتیپ (Genotype)	19	1509993.10**	270222**	0.77**	24.19**	4322.33**	0.95**	16.07**	1.40**	6.02**	77.10**
خطا (Error)	38	4159.67	710	0.00	0.30	20.57	0.00	0.10	0.40	0.55	1.53
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		3.12	3.30	1.22	2.33	2.16	0.69	0.82	0.27	3.20	0.71

** معنی‌دار در سطح یک‌درصد

Significant at 1% probability level

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- تجزیه مرکب برای صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های کلزا

Table 4- Combined analysis for traits in canola genotypes

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی DF.	میانگین مربعات (Mean square)								
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield	وزن هزار دانه Thousand seed weight	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	طول خورجین Silique length	درصد روغن دانه Seed oil percent	روز تا رسیدگی Days to maturity	درصد پروتئین دانه Seed protein percen	ارتفاع بوته Plant height
محیط (Environment)	1	21162120.4**	4786727.9**	18.1**	108.30**	1920.00**	4.89**	224.13**	3213.68**	64.83**	111.55**
تکرار داخل محیط (Repeat / Environment)	4	7459.3	847.7	0.001	0.48	128.45	0.01	0.23	0.97	0.58	1.33
ژنوتیپ (Genotype)	19	2619580.8**	524714.3**	1.38**	55.23**	8936.33**	1.43**	30.43**	15.24**	11.96**	139.43**
ژنوتیپ × محیط (Genotype × Environment)	19	71855.51**	14668.2**	0.08**	2.11**	58.05**	0.05**	1.63**	8.43**	1.44**	3.14ns
خطا (Error)	76	14313.9	2231.3	0.001	0.34	22.92	0.00	0.13	0.35	0.57	3.14
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		4.81	4.6	1.21	2.40	2.24	0.92	0.89	0.24	3.15	1.02

ns و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و غیر معنی‌دار

ns and **: Non significant and significant at 1% probability level, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۲۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط محیطی بدون تنش به روش چنددامنه‌ای دانکن

Table 5- Compares of mean for measured traits in 20 genotypes of canola in normal condition using Duncan's multiple range test

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)		عملکرد روغن Oil yield ($kg.ha^{-1}$)		وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)		تعداد دانه درخورجین No. of seeds per silique		تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant		طول خورجین Silique length (cm)		درصد روغن دانه Seed oil percent (%)		روز تا رسیدگی Days to maturity		درصد پروتئین دانه Seed protein percent (%)		ارتفاع بوته Plant height (cm)	
ARC2	3183.3	b-f	1316	c-f	3.81	d	28.3	ab	241.3	de	7.82	ab	41.37	c	253.7	a	24.86	c-g	175.8	c-g
ARC5	3292.0	a-e	1332	c-f	3.39	c	29.3	a	235.3	ef	7.86	ab	40.47	cd	254.3	a	23.20	fg	176.5	c-g
Celecious	1978.0	gh	744.4	hi	3.04	ij	20.7	hi	196.0	h	6.65	g	37.63	f	248.7	ef	25.03	c-f	167.8	ij
Dante	3505.3	ab	1517	ab	4.21	b	29.7	a	249.7	b-d	7.99	a	43.27	b	249.7	de	25.60	b-d	180.5	abc
Geronimo	3668.0	a	1519	ab	4.46	a	25.7	c	254.0	bc	7.80	b	41.40	c	254.3	a	25.26	c-e	177.9	b-e
Licord	3486.3	ab	1552	a	3.78	d	28.7	ab	277.0	a	7.84	ab	44.53	a	253.7	a	27.20	ab	180.2	abc
Milena	1765.0	h	717.7	i	2.74	k	23.3	ef	175.3	i	6.85	f	40.67	cd	250.7	cd	23.03	g	172.0	f-j
Opera	2797.3	f	1209	fg	3.09	hi	22.7	fg	193.3	h	7.21	e	43.23	b	247.3	gh	23.96	d-g	177.0	b-f
Rainbow	2177.7	g	876.2	h	3.17	h	20.3	hi	193.0	h	6.88	f	40.23	d	246.3	hi	25.83	b-d	171.6	f-j
Sahra	2881.0	f	1121	g	3.79	d	23.7	d-f	235.3	ef	7.47	cd	38.90	e	246.3	hi	24.03	d-g	173.7	d-h
Shiralee	3534.7	ab	1447	a-c	3.62	f	25.3	c	228.7	f	7.50	c	40.97	cd	247.7	fg	26.10	a-c	175.0	c-g
SLM046	3453.3	a-c	1493	ab	4.16	b	29.7	a	251.3	b-d	7.99	a	43.23	b	249.3	e	27.86	a	182.3	ab
Sunday	1714.0	h	637.4	i	2.96	j	21.7	gh	141.3	j	6.94	f	37.20	f	251.0	c	22.96	g	172.6	e-i
Talaye	3089.0	c-f	1325	c-f	3.72	de	27.7	b	226.7	f	7.70	b	42.90	b	252.3	b	20.96	h	184.0	a
Talent	2014.7	gh	727.4	i	3.41	g	19.3	i	121.7	k	6.98	f	36.10	g	247.7	fg	24.76	c-g	176.4	c-g
Zarfam	3364.3	a-d	1425	a-d	3.92	c	28.7	ab	259.3	b	7.81	ab	42.37	b	245.7	i	7/25	b-d	177.7	b-e
Okapi	3174.7	b-f	1371	b-e	3.66	e	28.3	ab	247.0	cd	7.80	ab	43.20	b	251.7	bc	24.57	c-g	178.3	b-d
Hyola420	2932.3	ef	1270	ef	3.09	hi	24.7	c-e	214.7	g	7.38	c-e	43.30	b	249.3	e	25.53	b-e	171.3	g-j
Hyola330	3024.7	d-f	1290	d-f	3.12	hi	25.3	c	208.0	g	7.40	c-e	42.67	b	249.3	e	23.6	e-g	169.3	h-j
RGS	3086.3	c-f	1242	e-g	3.17	h	25.0	cd	215.0	g	7.28	de	40.23	d	249.7	de	24.5	c-g	167.0	j

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.05$)

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر صفات زراعی و اجزاء عملکرد کلزا، ۲۰ژنوتیپ کلزا (جدول ۱) در دو محیط تنش کم‌آبیاری و بدون تنش کم‌آبیاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (طول ۴۸درجه و ۲۲دقیقه شرقی و عرض ۳۳درجه و ۲۹دقیقه شمالی که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۲۵متر) کشت گردیدند. ۱۰متر فاصله بین دو محیط برای جلوگیری از تداخل آب و رطوبت لحاظ شد. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف به طول پنج متر با فواصل ردیف ۳۰سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها ۶۰سانتی‌متر بود. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵متر گرفته شد. خاک مزرعه به‌طور متوسط دارای هدایت الکتریکی ۰/۵۲ ($dS.m^{-1}$) و pH معادل ۷/۹ بود. عملیات کاشت در اواخر شهریورماه انجام شد. وجین علف‌های‌هرز به‌صورت دستی طی دوره رشد در سه مرحله صورت گرفت. عمل تُنُک‌کردن در مرحله روزت کامل صورت گرفت، به‌طوری‌که در نهایت تراکم ۸۰بوته در مترمربع به‌دست آمد. بعد از کشت به‌منظور رسیدن به سطح سبز یکنواخت در هر دو قطعه آبیاری انجام شد. برای تشخیص زمان صحیح آبیاری، بررسی وضعیت رطوبت خاک و تعیین زمان اعمال تیمار تنش و آبیاری، با فواصل یک روز در میان (و در برخی موارد هر روز) از خاک نمونه‌برداری صورت گرفت و رطوبت خاک به‌صورت وزنی محاسبه گردید. با توجه به‌این‌که رطوبت FC خاک مزرعه مورد آزمایش حدود ۲۵درصد وزنی بود، از این رو زمانی که رطوبت خاک به حدود ۶۰درصد FC (یعنی رطوبت خاک ۱۵درصد وزنی) می‌رسید، نشان‌دهنده نیاز به آبیاری مزرعه بود و آبیاری انجام می‌شد. در مجموع در مراحل مختلف رشد، متناسب با مرحله رشد و نیاز آبی گیاه، آبیاری در هر دو سایت به‌طور یکسان صورت گرفت و فقط در مرحله آخرین نیاز به آبیاری که گیاهان در مراحل انتهای گلدهی و شروع خورجین دهی بودند (حدود مرحله ۹۰درصد گلدهی)، در محیط تحت تنش آبیاری صورت نگرفت ولی در محیط غیر تنش آبیاری صورت گرفت. از این‌رو طول مدت تنش کم آبی (که مصادف با مرحله پُرشدن دانه‌ها و رسیدگی فیزیولوژیک بود) حدود یک ماه بود.

جهت ارزیابی صفات مورد بررسی، پس از حذف اثر حاشیه‌ای کرت‌ها اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری‌ها انجام شد.

ضرایب همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی و خطای معیار آن‌ها با استفاده از معادله های (Steel and Torrie, 1984) زیر محاسبه

www.SID.ir

Archive of SID

شدند:

(۱) ضریب همبستگی ژنتیکی $r_g = \frac{Cov_{gxy}}{\sqrt{(\sigma^2_{gx} \times \sigma^2_{gy})}}$

(۲) ضریب همبستگی فنوتیپی $r_p = \frac{Cov_{pxy}}{\sqrt{(\sigma^2_{px} \times \sigma^2_{py})}}$

(۳) خطای استاندارد ضریب همبستگی $SE(r_g)=(1-r_g^2)\sqrt{\frac{SE(h_x^2).SE(h_y^2)}{2[h_x^2.h_y^2]}}$

(۴) خطای استاندارد ضریب همبستگی فنوتیپی $SE(r_p)=\left[\frac{1-r_p^2}{n-2}\right]^{0.5}$

(۵) وراثت‌پذیری صفت x $h_x^2 = \frac{\sigma^2_{gx}}{\sigma^2_{px}}$

(۶) وراثت‌پذیری صفت y $h_y^2 = \frac{\sigma^2_{gy}}{\sigma^2_{py}}$

که در آن‌ها r_g: ضریب همبستگی ژنوتیپی، r_g: ضریب همبستگی فنوتیپی، σ^2_{gx}: واریانس ژنتیکی صفت (x)، Cov_{gxy}: کوواریانس ژنتیکی صفات (x و y)، σ^2_{Px}: واریانس فنوتیپی (x)، Cov_{Pxy}: کوواریانس فنوتیپی صفات (x و y)، $SE(r_g)$: خطای استاندارد ضریب همبستگی ژنوتیپی، $SE(r_p)$: خطای استاندارد ضریب همبستگی فنوتیپی، h_x^2: وراثت‌پذیری برای صفت x و h_y^2: وراثت‌پذیری برای صفت y می‌باشد (Steel and Torrie, 1984). تجزیه واریانس و همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی بین صفات با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2013 و SAS v9.2 (SAS Inc, 2010) محاسبه شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS v19 (SPSS Inc, 2010) تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام به‌منظور انتخاب زیرمجموعه‌ای از صفات که سهم بیش‌تری در توجیه تنوع عملکرد دانه دارند محاسبه شد (Montgomery and Peck, 2007) و سپس برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد دانه، تجزیه ضرایب مسیر با استفاده از نرم‌افزار Amos v19 (AMOS, 2010) انجام گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس ساده و مرکب پس از آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی و معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت انجام شد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌داری داشتند (جداول ۲، ۳ و ۴). اثر متقابل ژنوتیپ×محیط برای تمامی صفات به‌جزء ارتفاع بوته معنی‌دار بود، این بدین مفهوم است که ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط محیطی مختلف واکنش متفاوتی نشان داده‌اند. به‌عبارت دیگر پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف از آزمایشی به آزمایش دیگر یکسان نیست در برنامه‌های به‌نژادی به‌طور معمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد؛ از این‌رو با توجه به‌این‌که صفت عملکرد دانه از اجزای مختلفی تشکیل شده است و یا به‌عبارت دیگر به صفات متعددی بستگی دارد، ضروری است که سودمندترین اجزا برای گزینش غیرمستقیم تعیین شود (Marjanovic-Jeromela *et al*., 2007). بنابراین با توجه به غیرمعنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ×محیط برای صفت ارتفاع بوته می‌توان چنین اظهار نمود که پاسخ همه ژنوتیپ‌ها از نظر صفت ارتفاع بوته، به تنش خشکی یکسان بوده (کاهش ارتفاع) و می‌توان با اطمینان بالا از این صفت برای گزینش غیرمستقیم ارقام کلزا در محیط‌های شامل تنش خشکی بهره برد. سایر محققان نیز در تحقیقات خود کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته کلزا را در شرایط تنش رطوبتی گزارش کرده‌اند (Khan *et al*., 2010; Jabbari *et al*., 2015).

نتایج مقایسه میانگین صفات در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. در شرایط بدون تنش رقم Geronimo و Sunday به‌ترتیب با ۳۶۶۸/۰ و ۱۷۱۳/۷کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین و کمترین عملکرد را در واحد سطح را به‌خود اختصاص دادند. در شرایط تنش خشکی، بیش‌ترین عملکرد مربوط به رقم Zarfam با ۲۹۴۸/۰کیلوگرم و کمترین آن به رقم Talent با ۸۷۶/۳کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. در مجموع رقم Zarfam با میانگین کلی (شرایط عادی و تنشی)۳۱۵۶/۰کیلوگرم در هکتار و رقم Ddante با میانگین ۳۱۸۲/۶کیلوگرم از بیش‌ترین عملکرد برخوردار بودند. بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد خورجین در بوته در شرایط بدون تنش به‌ترتیب برابر با ۲۷۷/۰۰ و ۱۲۱/۷۰ عدد بود که مربوط به ارقام Licord و Talent بود. در شرایط تنش رطوبتی رقم Zarfam با ۲۵۵/۷۰ بیش‌ترین و رقم Talent با ۱۱۸/۰۰عدد، کمترین تعداد خورجین در بوته را دارا بودند (جدول ۶). تعداد خورجین در گیاه از مهم‌ترین اجزاء عملکرد در کلزا محسوب می‌شود (Angadi *et al*., 2003). در تحقیق Jabbari *et al*, 2015 بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته از تیمار شاهد، به میزان ۷۹خورجین در بوته به‌دست آمد و قطع آبیاری در مرحله گلدهی سبب کاهش ۳۹درصدی صفت مذکور در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب شد. طول خورجین برای ارقام در شرایط بدون تنش بین ۶/۶۴ تا ۷/۹۹سانتی‌متر و در شرایط تنش بین ۵/۸۹ تا ۷/۸۷سانتی‌متر متغیر بود (جدول ۵). در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی، ارقام Slm-046 و Dante از بیش‌ترین طول خورجین و رقم Celecious در هر دو محیط از کمترین طول خورجین برخوردار بودند. سطح خورجین‌ها به‌عنوان یک سطح فتوسنتزی فعال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری‌که وزن دانه‌های کلزا بیش‌تر از طریق فتوسنتز خورجین‌ها تأمین می‌گردد. نتایج مطالعه Shabani *et al*, 2013 نشان داد که اعمال تنش

www.SID.ir

Archive of SID

کم‌آبی در مرحله رسیدن دانه و تیمار دیم (کم آبیاری) سبب کاهش معنی‌دار طول خورجین در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب شده است.

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۲۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط محیطی تنش به روش چنددامنه‌ای دانکن

Table 6- Compares of mean for measured traits in 20 genotypes of canola in drought stress condition using Duncan's multiple range test

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد روغن Oil Yield ($kg.ha^{-1}$)	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	طول خورجین Silique length (cm)	درصد روغن دانه Seed oil percent (%)	روز تا رسیدگی Days to maturity	درصد پروتئین دانه Seed protein percent (%)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
ARC2	2405.3 cd	947.7 b-d	2.91 e	24.7 bc	243.0 c	7.38 b	39.40 e	240.0 a-c	23.26 b-e	174.5 cd
ARC5	2440.3 c	933 cd	3.04 d	24.3 bc	233.0 c	7.36 bc	38.23 f	240.3 ab	24.03 a-d	175.6 bc
Celecious	1043.0 hi	378.8 hi	2.27 j	19.7 e	191.3 g	5.90 i	36.33 g	239.7 a-c	23.00 b-e	165.1 g
Dante	2860.0 a	1170 a	3.68 a	27.7 a	237.3 bc	7.87 a	40.90 ab	238.7 bc	25.30 a	178.5 a
Geronimo	2558.0 bc	967.8 b-d	3.38 c	23.7 c	247.7 ab	7.32 bcd	37.83 f	240.0 a-c	22.90 c-e	178.1 ab
Licord	2439.0 c	1004 b	2.88 e	25.3 b	247.3 ab	7.42 b	41.17 a	239.7 a-c	24.43 a-d	178.9 a
Milena	879.0 j	322.7 ij	2.01 l	21.3 d	160.7 h	6.40 g	36.70 g	239.7 a-c	20.83 f	170.3 e
Opera	2107.0 f	855.5 e	2.39 i	21.3 d	188.7 g	6.83 f	40.60 a-c	239.3 bc	23.03 b-e	175.3 bc
Rainbow	1075.0 h	395.5 h	2.21 jk	19.7 e	182.0 g	6.34 gh	36.80 g	238.7 bc	23.06 b-e	169.3 ef
Sahra	2063.3 f	781.3 f	2.93 e	22.3 d	234.7 c	7.27 cd	37.87 f	239.3 bc	23.50 a-e	171.7 de
Shiralee	2643.3 b	1001 b	2.74 f	24.7 bc	221.3 d	7.33 b-d	37.78 f	239.7 a-c	24.83 ab	173.5 cd
SLM046	2833.3 a	1126 a	3.58 b	27.3 a	241.3 bc	7.82 a	39.73 de	238.3 c	25.33 a	180.1 a
Sunday	912.0 ij	306.2 j	2.18 k	19.3 ef	135.0 i	6.33 gh	33.57 h	241.0 a	21.80 ef	168.8 ef
Talaye	1877.0 g	720 g	2.60 g	24.7 bc	217.0 de	7.23 d	38.37 f	240.3 ab	20.20 f	180.9 a
Talent	876.3 j	288.9 j	2.40 i	18.3 f	118.0 j	6.28 h	32.97 h	239.0 bc	21.76 ef	173.8 cd
Zarfam	2948.0 a	1177 a	3.73 a	28.3 a	255.7 a	7.81 a	39.93 c-e	238.7 bc	24.66 a-c	179.2 a
Okapi	2157.7 ef	860.3 e	2.77 f	25.7 b	236.3 c	7.41 b	39.87 c-e	240.0 a-c	22.86 c-e	174.1 cd
Hyola420	2273.7 de	916.2 de	2.66 g	23.7 c	210.3 ef	6.96 e	40.30 b-d	240.3 ab	24.89 ab	166.8 fg
Hyola330	2426.0 c	995.5 bc	2.43 i	24.3 bc	202.7 f	6.91 ef	41.0 ab	239.3 bc	22.66 de	169.1 ef
RGS	2506.3 bc	995.9 bc	2.53 h	23.7 c	209.7 ef	6.90 ef	39.73 de	239.7 a-c	22.83 c-e	164.3 g

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.05$)

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط عادی و دارای تنش، رقم Talent با میانگین ۳۶/۱۰ و ۳۲/۹۷درصد از کمترین درصد روغن برخوردار بود و رقم Licord در هر دو محیط از بیش‌ترین درصد روغن برخوردار بود. نتایج Zhao *et al*, 1991 در مطالعه‌ای که با هدف بررسی تنش خشکی بر عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا صورت گرفت نشان داد که ارقام کلزا برای صفات عملکرد دانه و روغن، تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌داری دارند و چنین اظهار داشتند که در سالی که بارندگی بیش‌تر بوده عامل اصلی افزایش محصول، صفت تعداد خورجین در هر گیاه می‌باشد. نتایج مطالعه دیگر نشان داد که تنش خشکی در طی گرده‌افشانی و پس از آن به‌واسطه کاهش در اندازه دانه سبب کاهش درصد روغن دانه و پس از آن به‌واسطه کاهش در اندازه دانه سبب کاهش درصد و عملکرد روغن دانه می‌گردد (Zarei *et al*., 2010). Faraji and Htamzadeh, 2009 با توجه به نتایج تجزیه واریانس ساده و مرکب بیست ژنوتیپ مختلف از گونه‌های براسیکا در شرایط دیم چنین اظهار نمودند که ارقامی که عملکرد دانه بالاتری دارند از نظر اجزای عملکرد در یک حالت تعادل و موازنه هستند.

همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی صفات در شرایط بدون تنش

ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی صفات مورد مطالعه در جدول ۷ ارائه شد. در میان صفات اجزای عملکرد دانه، طول خورجین، تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه به‌ترتیب بیش‌ترین ضرایب همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی را به‌خود اختصاص دادند. Sorour and Keshta, 1994 طی پژوهشی که برای بررسی روابط بین صفات در کلزا انجام دادند، رابطه مثبت و بسیار قوی با عملکرد دانه و هر یک از صفات طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن دانه مشاهده نمودند. در این بین صفت روز تا رسیدگی و درصد پروتئین کمترین میزان همبستگی را با عملکرد دانه داشتند. ضریب همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی عملکرد روغن و دانه بیش‌ترین میزان (+۰/۹۹) بود که نشان می‌دهد بهبود عملکرد روغن با افزایش عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌داری دارد. بررسی نتایج همبستگی موجود بین عملکرد روغن با درصد روغن و عملکرد دانه در مطالعه Jabbari *et al*, 2015 نشان داد که عملکرد روغن با عملکرد دانه (r = ۰/۹۹) همبستگی بالاتری در مقایسه با درصد روغن دانه (r = ۰/۷۶) دارد که نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر در این زمینه را تأیید می‌کند.

طول خورجین، تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین در هر گیاه بیش‌ترین میزان همبستگی مثبت و روز تا رسیدگی کمترین

www.SID.ir

Archive of SID

همبستگی را با عملکرد روغن داشتند. در حقیقت می‌توان گفت که تعداد دانه زیاد در خورجین باعث افزایش در وزن دانه‌های هر خورجین که نشانگر انتقال حجم بیشتری از مواد فتوسنتزی به دانه است، شد و این مسئله نیز سبب افزایش درصد روغن در گیاه می‌شود (Hosseinzadeh *et al*., 2008). نتایج تفاوت ناچیزی بین ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی محاسبه شده در شرایط بدون تنش را نشان داد. هنگامی‌که دو صفت وراثت‌پذیری بالایی داشته باشند، در آن صورت همبستگی فنوتیپی عمدتاً به‌وسیله همبستگی ژنتیکی تعیین می‌شود. اما اگر هر دو صفت دارای وراثت‌پذیری پایینی باشند در آن صورت همبستگی به مقدار زیادی به‌علت همبستگی محیطی خواهد بود (Bernardo, 2002).

جدول ۷- ضرایب همبستگی فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط بدون تنش

Table 7- Phenotypic (above diagonal) and genotypic (blow diagonal) correlation coefficients of measured traits in canola genotypes in normal condition

صفت Traits	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield	وزن هزار دانه Thousand seed weigh	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	طول خورجین Silique length	درصد روغن دانه Seed oil percent	روز تا رسیدگی Days to maturity	درصد پروتئین دانه Seed protein percent	ارتفاع بوته Plant height
عملکرد دانه Grain yield	1.00	0.99**	0.76**	0.79**	0.85**	0.88**	0.67**	0.28ns	0.34ns	0.47**
عملکرد روغن Oil yield	0.99**	1.00	0.75**	0.86**	0.90**	0.92**	0.81**	0.29ns	0.35ns	0.51**
وزن هزار دانه Thousand seed weight	0.79**	0.73**	1.00	0.70**	0.71**	0.84**	0.34ns	0.32ns	0.32ns	0.66**
تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	0.84**	0.82**	0.70**	1.00	0.82**	0.92**	0.71**	0.47*	0.18ns	0.56**
تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	0.89**	0.87**	0.72**	0.84**	1.00	0.81**	0.72**	0.30ns	0.37ns	0.43*
طول خورجین Silique length	0.92**	0.89**	0.86**	0.94**	0.84**	1.00	0.66**	0.40*	0.26ns	0.65**
درصد روغن دانه Seed oil percent	0.71**	0.78**	0.34ns	0.73**	0.73**	0.68**	1.00	0.22ns	0.23ns	0.45*
روز تا رسیدگی Days to maturity	0.29ns	0.30ns	0.32ns	0.47*	0.30ns	0.41*	0.24ns	1.00	-0.19ns	0.28ns
درصد پروتئین دانه Seed protein percent	0.39ns	0.40ns	0.37ns	0.20ns	0.43*	0.28ns	0.27ns	-0.21ns	1.00	0.08ns
ارتفاع بوته Plant height	0.55**	0.58**	0.74**	0.64**	0.47*	0.75**	0.51*	0.31ns	0.14ns	1.00

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** : Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی صفات در شرایط تنش خشکی

تغییر ضریب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی محاسبه شده در شرایط تنش خشکی نشان داد که انحراف ایجاد شده توسط محیط تأثیر چندانی بر همبستگی بین صفات اجزای عملکرد و عملکرد دانه نداشته است (جدول ۸). تمامی صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش خشکی به‌جزء روز تا رسیدگی همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارا بودند. هدف از محاسبه ضریب همبستگی ژنوتیپی، بررسی روابط در شرایطی است که عوامل محیطی دخالتی ندارند. به این ترتیب همبستگی بین صفات مختلف و عملکرد از دیدگاه پیوستگی و پلیوتروپی بین صفات مورد بررسی قرار می‌گیرد. روز تا رسیدگی به‌ترتیب با ۰/۱۸- و ۰/۲۶- کمترین میزان همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی را با عملکرد دانه در شرایط تنش

www.SID.ir

Archive of SID

خشکی داشت. با توجه به شرایط محیطی گیاه با کوتاه نمودن فرآیند رشد و نمو از برخورد مرحله زایشی با دوره گرمای شدید جلوگیری می‌نماید در نتیجه ژنوتیپ‌های با دوره رشد کوتاه، قدرت زنده‌مانی و بهره‌وری بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. درصد پروتئین با عملکرد دانه در شرایط تنش، همبستگی فنوتیپی ۰/۶۳ و ژنوتیپی ۰/۷۳ داشت که نشان از افزایش همزمان پروتئین دانه و عملکرد دانه در شرایط خشکی دارد. نتایج متناقضی در مورد درصد پروتئین به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم کیفیت دانه، گزارش گردیده است. Gan *et al*, 2009 عدم تأثیرپذیری میزان پروتئین دانه کلزا از تنش خشکی را گزارش کردند. درحالی‌که برخی گزارش‌ها افزایش درصد پروتئین تحت شرایط تنش خشکی را اعلام داشتند (Sinaki *et al*., 2007). از بین صفات اجزای عملکرد تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و طول خورجین به‌ترتیب بیش‌ترین میزان همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی را با عملکرد دانه داشتند.

جدول ۸- ضرایب همبستگی فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش خشکی

Table 8- Phenotypic (above diagonal) and genotypic (blow diagonal) correlation coefficients of measured traits in canola genotypes in drought stress condition

صفت Traits	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield	وزن هزار دانه Thousand seed weigh	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per siliqu e	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	طول خورجین Silique length	درصد روغن دانه Seed oil percent	روز تا رسیدگی Days to maturity	درصد پروتئین دانه Seed protein percent	ارتفاع بوته Plant height
عملکرد دانه Grain yield	1.00	0.99 **	0.80 **	0.88 **	0.85 **	0.89 **	0.79 **	-0.18 ns	0.63 **	0.46 *
عملکرد روغن Oil yield	0.99 **	1.00	0.79 **	0.91 **	0.86 **	0.89 **	0.85 **	-0.19 ns	0.63 **	0.45 *
وزن هزار دانه Thousand seed weight	0.81 **	0.78 **	1.00	0.80 **	0.77 **	0.88 **	0.47 *	-0.31 ns	0.62 **	0.67 **
تعداد دانه در خورجین No. of seeds per silique	0.90 **	0.89 **	0.82 **	1.00	0.83 **	0.92 **	0.75 **	-0.20 ns	0.53 **	0.58 **
تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	0.86 **	0.85 **	0.78 **	0.86 **	1.00	0.84 **	0.75 **	-0.11 ns	0.53 **	0.49 **
طول خورجین Silique length	0.90 **	0.89 **	0.88 **	0.94 **	0.85 **	1.00	0.67 **	-0.18 ns	0.55 **	0.71 **
درصد روغن دانه Seed oil percent	0.80 **	0.84 **	0.48 *	0.78 **	0.76 **	0.68 **	1.00	-0.18 ns	0.49 **	0.28 ns
روز تا رسیدگی Days to maturity	-0.26 ns	-0.28 ns	0.79 **	0.91 **	0.86 **	0.89 **	0.85 **	1.00	-0.35 ns	-0.16 ns
درصد پروتئین دانه Seed protein percent	0.73 **	0.73 **	-0.45 ns	-0.29 ns	-0.19 ns	-0.28 ns	-0.26 ns	-0.46 *	1.00	0.18 ns
ارتفاع بوته Plant height	0.49 *	0.47 *	0.71 **	0.61 **	0.64 **	0.62 **	0.54 **	-0.33 ns	0.22 ns	1.00

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** : Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی اجزای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی

Table 9- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of yield components in non-drought stress condition

متغیر مستقل Independent variable	ضرایب رگرسیون استاندارد شده Standardized regression coefficients		عرض از مبدأ Intercept	ضریب تبیین تجمعی Cumulative R-squared
	b_2	b_1		
طول خورجین Silique length	---	0.906**	-7166.759*	0.81
تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	0.396*	0.576**	-4875.276*	0.85

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and ** : Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱۰- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی اجزای عملکرد روغن در شرایط بدون تنش خشکی

Table 10- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of oil yield components in non-drought stress condition

متغیر مستقل Independent variable	ضرایب رگرسیون استاندارد شده Standardized regression coefficients			عرض از مبدأ Intercept	ضریب تبیین تجمعی Cumulative R-squared
	b_3	b_2	b_1		
عملکرد دانه Grain yield	---	---	0.988**	-164.418**	0.978
درصد روغن دانه Seed oil percent	---	0.206**	0.844**	-1063.744**	0.998
ارتفاع بوته Plant height	0.022*	0.200**	0.837**	-1269.406**	0.999

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار.

**, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

جدول ۱۱- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی

Table 11- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of yield components in drought stress condition

متغیر مستقل Independent variable	ضرایب رگرسیون استاندارد شده Standardized regression coefficients		عرض از مبدأ Intercept	ضریب تبیین تجمعی Cumulative R-squared
	b_2	b_1		
طول خورجین Silique length	---	0.899**	-5910.870*	0.80
ارتفاع بوته Plant height	-0.356*	1.156**	441.544ns	0.86

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار.

**, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

به‌نظر می‌رسد که کمبود عرضه مواد فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، باعث عدم تلقیح گل‌ها در زمان گرده‌افشانی، عدم تأمین مواد فتوسنتزی به میزان کافی برای خورجین‌ها و ریزش آن‌ها و در نهایت کاهش تعداد خورجین و دانه می‌گردد (Shahrabi *et al*., 2013). تحقیقات نشان می‌دهد که تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در میان اجزاء عملکرد کلزا بیش‌ترین حساسیت را به تنش خشکی دارا می‌باشند و اعمال تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین دهی گیاه کلزا به واسطه ریزش شدیدتر گل و خورجین سبب کاهش قابل‌توجه در تعداد خورجین در بوته می‌گردد (Shahrabi *et al*., 2013).

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی در دو شرایط محیطی مبین این موضوع است که دو صفت درصد پروتئین و روز تا رسیدگی عامل تمایز ژنوتیپ‌ها برای دو شرایط آزمایش می‌باشند. بدین‌صورت که در شرایط تنش ژنوتیپ‌های زودرس توانایی بالاتری برای تولید دانه دارند در حالی‌که در شرایط بدون تنش به علت توازن در وجود شرایط رشد صفت روز تا رسیدگی عامل تعیین‌کننده‌ای برای عملکرد دانه به شمار نمی‌آید. با توجه به مکانیسم تولید و تجمع پروتئین در کلزا و تأثیر تنش آبی بر این مکانیسم‌ها می‌توان اظهار نمود که در شرایط تنش خشکی درصد پروتئین بر خلاف شرایط بدون تنش با افزایش عملکرد دانه افزایش یافته است. Champolivier and Merrin, 1996 گزارش نمودند که تنش خشکی به‌خصوص از مرحله گرده‌افشانی تا پُرشدن دانه میزان پروتئین را افزایش و درصد روغن را کاهش داد. در مطالعه‌ای دیگر Seyed Ahmadi *et al*, 2015 اظهار داشتند که اگرچه در اثر تنش خشکی درصد پروتئین افزایش می‌یابد، ولی کاهش عملکرد دانه آن‌قدر زیاد می‌باشد که افزایش پروتئین جبران کاهش عملکرد دانه را ننموده و در نتیجه عملکرد پروتئین دانه در واحد سطح نیز کاهش می‌یابد.

جدول ۱۲- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی اجزای عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی

Table 12- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of oil yield components in drought stress condition

متغیر مستقل Independent variable	ضرایب رگرسیون استاندارد شده Standardized regression coefficients				عرض از مبدأ Intercept	ضریب تبیین تجمعی Cumulative R-squared
	b_4	b_3	b_2	b_1		
عملکرد دانه Grain yield	---	---	---	0.996**	-63.703**	0.90
درصد روغن دانه Seed oil percent	---	---	0.125**	0.896**	-600.229**	0.93
تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	---	-0.047*	0.134**	0.929**	-595.572**	0.97
وزن هزار دانه Thousand seed weight	0.053**	-0.071**	0.164**	0.884**	-749.784**	0.99

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and * are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level, respectively.

جدول ۱۳- تجزیه ضرایب همبستگی ژنتیکی به اثر مستقیم و غیرمستقیم برای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش

Table 13- Partitioning of correlation coefficient analysis to direct and indirect effects for grain yield in normal condition

صفات Traits	اثر غیرمستقیم (Indirect effect)		اثر مستقیم Direct effect	همبستگی ژنتیکی با عملکرد دانه Genetic correlations with grain yield
	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	طول خورجین Silique length		
طول خورجین Silique length	0.334	---	0.585	0.92
تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	---	0.491	0.398	0.89
خطا (Error) =0.327				

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

در شرایط بدون تنش هنگامی‌که عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته و اجزای عملکرد و سایر صفات مهم به‌عنوان صفات ثابت در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین صفات مهم و تأثیرگذار بر عملکرد دانه نشان داد که صفات طول خورجین و تعداد خورجین با توجیه ۸۵درصد از تغییرات عملکرد دانه وارد مدل شدند (جدول ۹). صفات عملکرد دانه، درصد روغن و ارتفاع بوته هنگامی‌که عملکرد روغن به‌عنوان متغیر وابسته فرض شد وارد مدل شدند و در مجموع ۹۹درصد از تغییرات عملکرد روغن را توجیه نمودند (جدول ۱۰). یکی از مزایای استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام در نظر گرفتن همه‌جانبه (ابعاد مستقیم و غیرمستقیم) تمام متغیرهای معنی‌دار می باشد. لذا بررسی تنهای تک متغیرهایی که به ظاهر تأثیر بالایی بر متغیر وابسته دارند (مثل اجزای عملکرد) کار صحیحی نمی‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

به‌عبارتی دیگر ممکن است یک متغیر (مثل صفات مورفولوژی) به ظاهر رابطه مستقیمی با عملکرد نداشته باشد، ولیکن اثرات غیرمستقیم آن از طریق سایر صفات قابل‌توجه باشد. در این مطالعه دیده شد که با توجه به تأثیر غیر مستقیم ارتفاع بوته بر عملکرد دانه از طریق اثر بر عملکرد دانه و عملکرد روغن (جدول ۱۴)، حضور این صفت در مدل خروجی تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام توجیه لازم را دارا می‌باشد. این موضوع با بررسی مقالات مختلفی که به بررسی تجزیه مسیر و رگرسیون در مورد عملکرد دانه و روغن کلزا پرداخته‌اند نیز مشهود است. از جمله نتایج مطالعه Kakaei *et al*, 2014 نشان داد که در شرایط تنش رطوبتی صفت ارتفاع بوته با در نظر گرفتن عملکرد روغن به‌عنوان صفت وابسته، وارد مدل رگرسیونی شده و چنین اظهار داشتند که صفت مذکور اهمیت بالایی در پیش‌بینی صفت عملکرد روغن دارد.

جدول ۱۴- تجزیه ضرایب همبستگی ژنتیکی به اثر مستقیم و غیرمستقیم برای عملکرد روغن در شرایط بدون تنش

Table 14- Partitioning of correlation coefficient analysis to direct and indirect effects for oil seed in normal condition

صفات Traits	اثر غیرمستقیم (Indirect effect)			اثر مستقیم Direct effect	همبستگی ژنتیکی با عملکرد روغن Genetic correlations with oil yield
	ارتفاع بوته Plant height	درصد روغن دانه Seed oil percent	عملکرد دانه Grain yield		
عملکرد دانه Grain yield	0.007	0.150	---	0.831	0.99
درصد روغن دانه Seed oil percent	0.007	---	0.590	0.212	0.81
ارتفاع بوته Plant height	---	0.108	0.457	0.014	0.58
خطا (Error) =0.058					

جدول ۱۵- تجزیه ضرایب همبستگی ژنتیکی به اثر مستقیم و غیرمستقیم برای عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش

Table 15- Partitioning of correlation coefficient analysis to direct and indirect effects for grain yield in drought stress condition

صفات Traits	اثر غیرمستقیم (Indirect effect)		اثر مستقیم Direct effect	همبستگی ژنتیکی با عملکرد دانه Genetic correlations with grain yield
	ارتفاع بوته Plant height	طول خورجین Silique length		
طول خورجین Silique length	-0.261	---	1.16	0.90
ارتفاع بوته Plant height	---	0.847	-0.385	0.49
خطا (Error) =0.360				

در شرایط تنش خشکی صفات طول خورجین و ارتفاع بوته در حالی‌که عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته فرض شده بود، وارد مدل شدند؛ به‌طوری‌که طول خورجین به‌تنهایی ۸۰درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود (جدول ۱۱). هم‌چنین در شرایط تنش خشکی هنگامی‌که عملکرد روغن به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل شد چهار صفت عملکرد دانه، درصد روغن، تعداد خورجین در هر گیاه و وزن هزاردانه بیش‌ترین سهم را در توجیه تغییرات این صفت را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۱۲). نتایج سایر مطالعات نیز اهمیت صفات ذکر شده و نقش آن‌ها در عملکرد روغن ارقام کلزا مورد تأیید قرار گرفته است (Hosseinzadeh *et al*., 2008; Jabbari *et al*., 2015).

تجزیه ضرایب مسیر صفات مرتبط با عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی

در شرایط بدون تنش تجزیه ضرایب مسیر برای صفات مؤثر بر عملکرد دانه نشان داد که صفت طول خورجین و تعداد خورجین در بوته به‌ترتیب با ۰/۵۸۵ و ۰/۳۹۸ بیش‌ترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۱۳). در این میان اثر غیرمستقیم تعداد خورجین در بوته از طریق طول خورجین بر عملکرد دانه بیش‌تر از اثر مستقیم آن بود. مدل تجزیه مسیری که شامل این دو صفت بود توانست ۶۸درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نماید که خود تأثیر و اهمیت دو صفت مذکور بر عملکرد دانه را تأیید می‌نماید (شکل ۱).

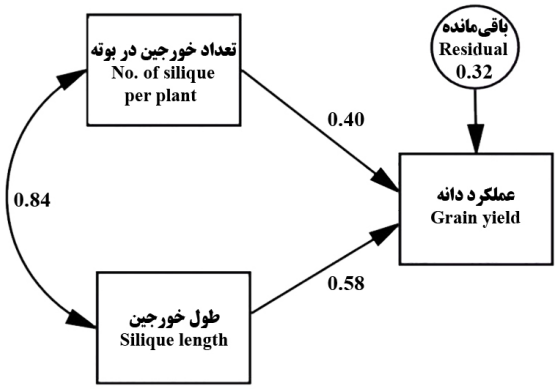
در شرایط تنش خشکی اثر مستقیم صفات طول خورجین و ارتفاع

www.SID.ir

Archive of SID

بوته به‌ترتیب ۱/۱۶ و ۰/۳۸۵- بود (جدول ۱۴). در شرایط تنش خشکی افزایش ارتفاع بوته و رشد رویشی بهره‌وری مناسب گیاه از منابع محدود آب را با مشکل مواجه ساخته در نتیجه تأثیر منفی بر تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی می‌گذارد (شکل ۲). هم‌چنین افزایش ارتفاع با تأثیر منفی (۰/۲۶-) بر طول خورجین به‌طور غیرمستقیم بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد. میزان اثرات باقی‌مانده که مدل قادر به توجیه آن نبود ۰/۳۶ می‌باشد.

مقایسه ضرایب مسیر در دو شرایط و بررسی اثرات مستقیم صفات وارد شده در مدل بر عملکرد دانه نشان داد که صفت طول خورجین در هر دو شرایط بیش‌ترین و مؤثرترین نقش را در عملکرد دانه بر عهده دارد و این اثر در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش افزایش چشم‌گیری یافته است. ارتفاع بوته با تأثیر بالا بر عملکرد دانه عامل تمایز و شاخص مهمی در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به شمار می‌رود (Hosseinzadeh *et al*., 2008). نتایج مطالعات دیگر نیز نشان داد که طول خورجین یکی از مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده میزان محصول در کلزا محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که ارقامی با خورجین‌های بلندتر به‌طور معنی‌داری محصول بیشتری نسبت به ارقام با خورجین کوتاه‌تر تولید می‌کنند (Youssefy *et al*., 2012). از این رو انتخاب ارقامی با خورجین بلندتر می‌تواند گام مهمی در جهت افزایش عملکرد کلزا باشد و به‌طور قابل‌توجهی عملکرد آن را بهبود بخشد و در مجموع اطلاع از نحوه کنترل ژنتیکی این صفت جهت انتخاب روش به‌نژادی و راهبردی مناسب آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



شکل ۱- تجزیه ضرایب مسیر برای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی
Figure 1- Path coefficient analysis for grain yield in non-drought stress conditions

جدول ۱۶- تجزیه ضرایب همبستگی ژنتیکی به اثر مستقیم و غیرمستقیم برای عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی
Table 16- Partitioning of correlation coefficient analysis to direct and indirect effects for oil yield in drought stress condition

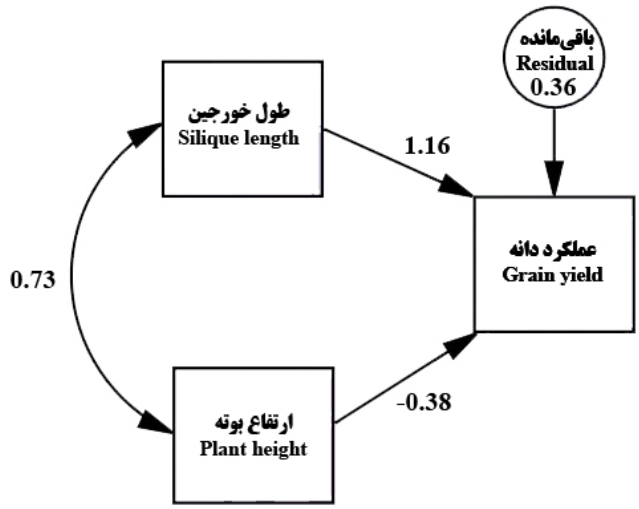
صفات Traits	اثر غیرمستقیم (Indirect effect)				اثر مستقیم Direct effect	همبستگی ژنتیکی با عملکرد روغن Genetic correlations with oil yield
	وزن هزار دانه Thousand seed Weight	تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	درصد روغن دانه Seed oil percent	عملکرد دانه Grain yield		
عملکرد دانه Grain yield	0.064	-0.043	0.166	---	0.802	0.99
درصد روغن دانه Seed oil percent	0.037	-0.038	---	0.641	0.207	0.85
تعداد خورجین در بوته No. of silique per plant	0.061	---	0.158	0.690	-0.05	0.86
وزن هزار دانه Thousand seed weight	---	-0.039	0.099	0.649	0.079	0.79
خطا (Error) =0.095						

www.SID.ir

Archive of SID

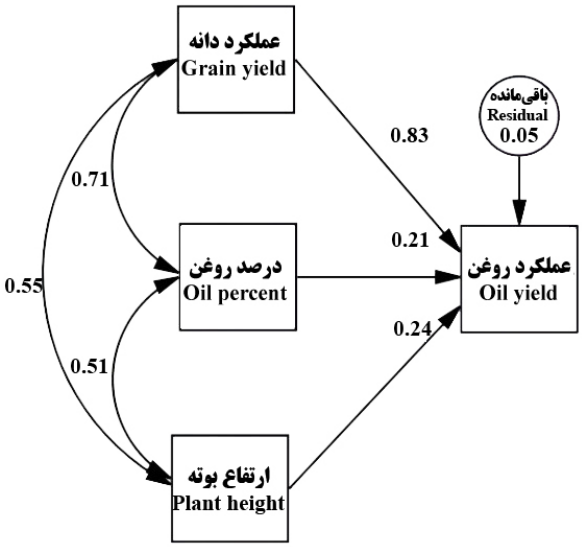
تجزیه ضرایب مسیر صفات مرتبط با عملکرد روغن در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی

با توجه به اهمیت عملکرد روغن در کشت کلزا تجزیه ضرایب مسیر صفات مؤثر بر عملکرد روغن با توجه به ضریب همبستگی ژنوتیپی صفات وارد شده در مدل رگرسیونی صورت گرفت. در شرایط بدون تنش سه صفت عملکرد دانه، درصد روغن و ارتفاع بوته به‌ترتیب با ۰/۸۳۱، ۰/۲۱۲ و ۰/۰۱۴ بیش‌ترین اثر مستقیم بر عملکرد روغن را داشتند (جدول ۱۵). همبستگی ژنتیکی بالای بین عملکرد دانه و عملکرد روغن توجیه‌کننده اثر مستقیم و بالای عملکرد روغن و دانه می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۲- تجزیه مسیر برای عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی

Figure 2- Path coefficient analysis for grain yield in drought stress conditions

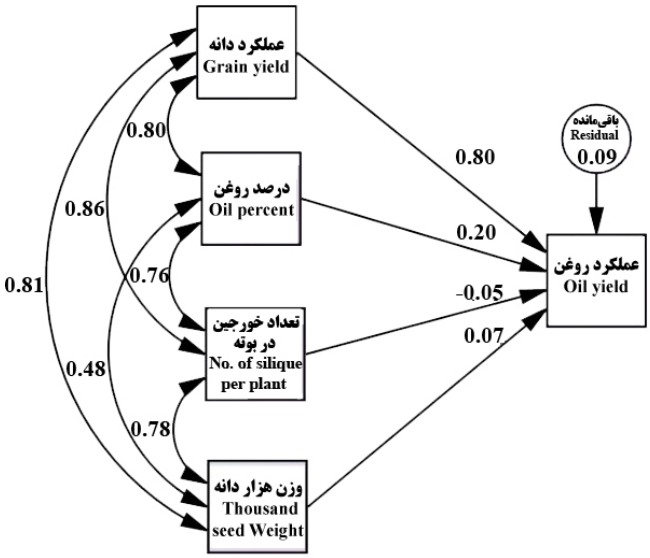


شکل ۳- تجزیه مسیر برای عملکرد روغن در شرایط بدون تنش خشکی

Figure 3- Path coefficient analysis for oil yield in non-drought stress conditions

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- تجزیه مسیر برای عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی
Figure 4- Path coefficient analysis for oil yield in drought stress conditions

در این بین اثر غیرمستقیم درصد روغن از طریق عملکرد دانه بر عملکرد روغن بیش‌ترین اثر مستقیم بود. میزان اثر باقی‌مانده مدل (۰/۰۵) نشان از توجیه بالای صفات وارد شده در مدل داشت. علاوه‌بَر دو صفت اول دو صفت تعداد خورجین در هر گیاه و وزن هزاردانه در شرایط تنش خشکی وارد مدل تجزیه ضرایب مسیر شدند (شکل ۴). عملکرد دانه با میزان ۰/۸۰۲ بیش‌ترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی داشت (جدول ۱۶). تعداد خورجین در هر گیاه اثر مستقیم منفی بر عملکرد روغن داشت اما به علت تأثیر غیرمستقیم و مثبت (۰/۶۹۰) آن بر عملکرد دانه وارد مدل شد. وزن هزاردانه نیز با اثر غیرمستقیم (۰/۶۴۹) بر عملکرد دانه بر عملکرد روغن تأثیرگذار بود.

مقایسه مدل‌های تجزیه مسیر در دو شرایط محیطی نشان داد که صفت عملکرد دانه مهم‌ترین شاخص در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد روغن بالا می‌باشد. هم‌چنین در شرایط بدون تنش ارتفاع بوته تأثیر غیرمستقیم و بالایی بر عملکرد دانه داشته (۰/۴۵۷) و از این طریق بر عملکرد روغن مؤثر بوده ولی در شرایط تنش خشکی با وجود محدودیت‌های رشد و ترجیح گیاه برای سرعت در روند تکمیل رشد رویشی و ورود به رشد زایشی صفت ارتفاع گیاه در مدل وارد نشده است. اهمیت تأثیر ارتفاع بوته بر عملکرد دانه و روغن کلزا در شرایط تنش رطوبتی، در نتایج مطالعه سایر محققین نیز گزارش شده است (Hosseinzadeh *et al*., 2008; Khan *et al*., 2010; Honar *et al*., 2013). نتایج مطالعه Honar *et al*, 2013 نشان داد که ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار تنش قرار می‌گیرد. Hosseinzadeh *et al*, 2008 کاهش ارتفاع بوته در اثر اعمال تنش خشکی را به اختلال در فتوسنتز به‌واسطه کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دست‌یابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع بوته نسبت داند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان چنین اظهار نمود که ژنوتیپ‌های Zarfam و SLM046 به‌عنوان ژنوتیپ‌های زودرس و با عملکرد بالا برای هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش مناسب می‌باشند. پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به شرایط رطوبتی از نظر صفت ارتفاع بوته، یکسان است، لذا می‌توان از این صفت برای گزینش غیرمستقیم ارقام برای اصلاح ارقام برای شرایط تنش رطوبتی بهره برد. اثرات باقی‌مانده مدل‌های تجزیه ضرایب مسیر برای هر دو صفت عملکرد دانه و روغن در هر دو شرایط محیطی می‌توان چنین اظهار نمود که نتایج گزینش ژنوتیپ‌ها برای عملکرد روغن بالا بر اساس صفات وارد شده در مدل از اطمینان بالاتری نسبت به گزینش برای صفت عملکرد دانه برخوردار می‌باشد. با توجه به نتایج تجزیه رگرسیونی و تجزیه ضرایب مسیر صفت طول خورجین با داشتن بیش‌ترین میزان اثر مستقیم بر عملکرد دانه را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین صفت برای اصلاح در شرایط بدون تنش و تنش خشکی پیشنهاد نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

References

1. AMOS, 2010. AMOS 19. Users Guide. Chicago, IL, USA.
2. Angadi, S. V., Cutforth, H. W., McConkey, B. G., and Gan, Y. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. Crop Science 43: 1358-1366.
3. Baradaran, R., Majidi, E., Darvishi, F., and Azizi, M. 2006. Study of correlation relationships and path coefficient analysis between yield and yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural Sciences 12(4): 811-819.
4. Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Stemma Press. Minnesota, USA.
5. Champolivier, L., and Merrin. A. 1996. Effects of waterstress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and, seed quality. European Journal of Agronomy 5: 153-160.
6. Dewey, D. R., and Lu, K. H. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass Seed Production. Agronomy Journal 51(9): 515-518.
7. Faraji, A., and Hatamzadeh, H. 2009. Evaluation of seed yield potential and traits in species of Brassica (*B. napus*, *B. rapa*, *B. juncea*) under rain fed conditions in Gonbad area. Journal of Water and Soil Science 13(47):587-598. (In Persian with English Abstract).
8. Gan, Y., Campbell, C. A., Liu, L., Basnyat, P., and McDonald, C. L., 2009. Water use and distribution profile under pulse and oilseed crops in semiarid northern high latitude areas. Agricultural Water Management. 96: 337- 348.
9. Habekotte, B. 1993. Quantitative analysis of pod formation, seed set and seed filling in winter oilseed rape (*B. napus* L.) under field crop conditions. Field Crops Research 35:27-33.
10. Hasanzadeh, M., Shirani-Rad, A. H., Nadery-Darbaghshahi, M. R., Majd-Nasiri B., and Madani, H. 2005. Effect of drought stress on yield and yield components of autumn rapeseed varieties. Iranian journal of Agricultural Research 7: 17-24. (In Persian with English Abstract).
11. Honar, A., Sabet-Sarvestani, S. H., Shams, A. R., Sepaskhah A. A., and Haghighi. K. 2013. Effect of drought stress in different growth stages on grain yield and yield components of rapeseed (cv. Talayeh). Iranian Journal of Crop Sciences 4(56): 320-332. (In Persian with English Abstract).
12. Hosseinzadeh, K., Hejazio, A., Irannejad, H., Akbario, G. A., and Zand, E. 2008. Correlations between traits and path coefficient analysis for seed yield of eight rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Agricultural Research 8: 195-207. (In Persian with English Abstract).
13. Jabbari, H. Akbari, G. A., Khosh Kholgh Sima, N. A., Shirani Rad, A.H., Alahdadi, I., and Tajodini, F. 2015. Study of agronomical, physiological and qualitative characteristics of Canola (*Brassica napus*) under water stress. Environmental Stresses in Crop Sciences Journal 8: 35-49. (In Persian with English Abstract).
14. Kar, G., Kumar, A., and Martha, M. 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. Agricultural Water Management 87: 73-82.
15. Kakaei, M., Zebarjadi, A. R., Mostafaie, A., and Rezaeizad, A. 2014. Genetic variation and traits interrelationship in some rapeseed genotypes using multivariate techniques under two moisture conditions. Journal of Applied Crop Breeding 2: 31-45. (In Persian with English Abstract).
16. Khan, M. A., Ashraf, M., Mujtaba, S., Shirazi, M., Khan, M., Shereen, A., Mumtaz, S., Siddiqui, M. A., and Kaleri, G. M. 2010. Evaluation of high yielding canola type Brassica genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool. Pakistan Journal of Botany 42: 3807-16.
17. Kimber, D. S., and McGregor, D. I. 1995. The Species and their Origin, Cultivation and World Production. In: Brassica Oilseeds, Production and Utilization, eds. Kimber, D. and McGregor, D.I., pp.178-295. CAB International, USA.
18. Mahagjan, S., and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochem 444: 139-158.
19. Majidi, M. M., and Mirlohi, A. F. 2009. Multivariate statistical analysis in Iranian and foreign tall fescue germplasem. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 40: 89-98. (In Persian with English Abstract).
20. Marjanovic-Jeromela, A., Marinkovic, R., Mijic, A., Jankulovska M., and Zdunic, Z. 2007. Interrelationship between oil yield and other quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Central European Agriculture 8(2): 165-170.
21. Montgomery, D. C., and Peck, E. A. 2007. Introduction to linear Regression Analysis. 5th edition. John Wiley and Sons. New York, USA.

www.SID.ir

Archive of SID

22. Rabiee, M., Rahimi, M., and Kord-Rostami, M. 2011. Study of correlation and path coefficient analysis between oil yield and agronomical characters in fourtheen cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). Sustainable Agriculture and Production Science 21(4): 18-27. (In Persian with English Abstract).
23. SAS Institute Inc. 2010. Base SAS 9.2 procedures guide: statistical procedures, 3rd edition: Cary, NC: SAS Institute Inc.
24. Seyed Ahmadi, A., Bakhshandeh, A., and Garineh, M. H. 2015. Evaluation physiological characteristics and grain yield canola cultivars under end seasonal drought stress in weather condition of Ahvaz. Iranian Journal of Field Crops Research 13: 71-80. (In Persian with English Abstract).
25. Seydan, M., and Ghadami Firouzabadi, A. 2002. Performance of irrigation systems and introducing the best option to increase irrigation efficiency. Technical Report of Agricultural Research, Extension and Education Organization 9: 90-175.
26. Sinaki, J. M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H., Noormohamadi, G., and Zarei, G., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 2: 417-422.
27. Shabani, A., Kamkar Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., Emam, Y., and Honar, T., 2010. Effect of water stress on grain yield, yield components and quality of rapeseed (*Brasica napus* L.) cv. Licord. Iranian Journal of Crop Science 12: 409-421. (In Persian with English Abstract).
28. Shahrabi, B., Farahmandfar, E., Hassanlo3, T., Shirani Rad, A. H., and Tabatabaee, S. A. 2013. Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. Electronic Journal of Crop Production 6(4): 77-97. (In Persian with English Abstract).
29. Sorour, W. and Keshta, M. M. 1994. Improvement of oilseed rape via gamma ray treatments and selection. Bulletion of Faculty of Agriculture, University of Cairo 45: 357-370.
30. SPSS Inc. 2010. IBM SPSS statistics 19 core system user's guide. USA: SPSS Inc., an IBM Company Headquarters.
31. Steel, R. G. D., and H. Torrie, J. 1984. Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach. McGraw Hill Book Co. New York, USA.
32. Takeda, S., and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. Nature Reviews Genetics 9(6): 444-457.
33. Yan, W. and. Kang, M. S. 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press, Florida, USA.
34. Youssefy, Z., Babaeian Jelodar, N., and Kazemitabar, S. K. 2012. Genetic assessment of silique length in rapeseed (Brassica napus L.) using generation mean analysis and RAPD markers. Iranian Journal of Crop Sciences 14:72-83. (In Persian with English Abstract).
35. Zarei, G., Shamsi, H., and Dehghani, S. M., 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and seed oil content of three autumnal rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Research in Agricultural Science 6: 29-37. (In Persian with English Abstract).
36. Zhao, J. Y., Chen, M. L., and Zhang, D. Q. 1991. Analysis of the growth patterns and yield components of rape (*Brassica napus* L.). Acta Agriculture Zhejiangensis 3(4): 174-180.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 646-664

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۶۶۴-۶۴۶

Genotypic Correlation and Path Analysis of Some Traits related to Oil Yield and Grain Yield in Canola (*Brassica napus* L.) under Non-stress and Water Deficit Stress Conditions

A. Ismaili[1*]- S. S. Sohrabi[2]- S. Z. Hosseini[3]- R. Namdarian[4]- D. Godarzi[5]

Received: 25-01-2015
Accepted: 11-01-2016

Introduction

Obtaining varieties with acceptable yield and tolerant to different arid and semi-arid climate condition of Iran is an important goal in canola breeding programs. Selection of genotypes base on one or more traits without regarding to correlation between them, could biases the expected results. Therefore, identifying of genetic correlation among traits especially in environmental stress condition is very important. The use of genotypic correlation helps evaluating the magnitude and direction of associations between characters facilitating the application of indirect selection, because genetic changes in a given trait may change other traits, leading to faster and larger genetic gains in plant breeding programs. Therefore, the selection for another trait may result in indirect response in the low heritable trait, provided the following conditions are satisfied: the genetic correlation between them is substantial, and the heritability of the secondary trait is greater than that of the primary trait. The purpose of this study was estimating the total genotypic variability, genotypic correlations, and path analysis among some important traits for selection criteria for improving seed and oil yield in canola under water deficit stress condition.

Materials and Methods

For evaluation of genetic correlation among traits and identifying important affecting traits on grain yield and oil yield in canola genotypes, an experiment was conducted based on a randomized complete blocks design with three replications in two different conditions of water deficit (stress and non-stress). Different traits were measured including seed yield, 1000-seed weight, number of seeds per pod, number of pods per plant, silique length, oil content, days to maturity, protein content, plant height and water use efficiency. Genotypic and phenotypic correlation coefficients were calculated for ten characters during growing seasons. The genotypic correlation coefficients between seed yield and different characters were subjected to path coefficient analysis separately for partitioning these values into direct and indirect effects. Step-wise regression technique was used to determine the best model, which accounted for variation exist in plant seed and oil yield as dependent variables in separate analysis. Direct and indirect effects of traits entered to regression model were determined by using path coefficient analysis.

Results and Discussion

Results of this study showed significant differences among all genotypes performances, and also stress condition caused a significant decrease in performance of all studied traits. The highest seed yield obtained from Geronimo and Dante (with 3668 and 3505 kg.ha^{-1}, respectively) under non stress condition, and the highest seed yield obtained from Zarfam and Dante (with 2948 and 2860 kg ha^{-1}, respectively) under drought stress condition. Genotype Licord produced the highest oil content, which was significantly higher than that produced by other genotypes in either regime. Genotypic and phenotypic correlation coefficients were estimated between all traits and using stepwise regression, best model was introduced for two conditions. Under Non-stress condition, the average of genetic correlations between grain yield and silique length was high and positive (0.92**), suggesting that the selection of prolific plants resulted in a gain of selection for yield. Under water deficit stress condition, a

1- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
2 & 3- Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
4- M.Sc. Education and Research Center, Lorestan Province Administration, Iran.
5- Lecturer, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
(*- Corresponding Author Email: ismaili.a@lu.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

negative average of genetic correlations (-0.28) was observed for grain yield and days to maturity. Path analysis based on the genotypic correlation under non-stress conditions between grain yield and other traits showed that number of pods per plant and pod length had direct effects on grain yield, while under drought conditions, pod length and plant height had important direct effects. Results of path analysis for oil yield under non-stress and stress conditions showed that grain yield had the most direct effect on oil yield.

Conclusions

Finally, the most important traits in order to select index for grain yield and oil yield improvement under stress condition were pod length and grain yield, respectively. Therefore, selection based on these traits would be more effective to improving seed yield of canola in well-watered and water-deficit stress conditions. So, the method of path coefficients proved useful in analyzing correlation coefficients in this system of interrelated variables.

Keywords: Genotypic correlation, Oil yield, Path analysis, Stepwise regression

www.SID.ir