

شاخص کارایی عملکرد دانه، معیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر لوبیا در شرایط تنش خشکی

علی اکبر قنبری

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۶)

چکیده

در توسعه برنامه اصلاحی تولید ارقام کارآمد از نظر مصرف آب در شرایط کمبود آب، شناسایی ژنوتیپ‌های لوبیا اهمیت دارد. برای شناخت بهتر واکنش ارقام به کمبود آب، از شاخص‌های مختلف استفاده می‌شود. یکی از شاخص‌هایی که می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش به برنامه اصلاحی کمک کند، شاخص کارایی عملکرد است. بنابراین، برای تعیین عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص کارایی عملکرد لوبیا در شرایط تنش کمبود آب، این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. شرایط آبیاری (نرمال و تنش) در کرت‌های اصلی و هشت ژنوتیپ لوبیا در کرت‌های فرعی بررسی شدند. تجزیه واریانس صفات نشان داد که دوره رشد، عملکرد و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌دار داشتند. تنش کمبود آب باعث کاهش ۴۷ درصدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شد. ژنوتیپ‌های AND1007 و COS16 به ترتیب بیشترین شاخص کارایی عملکرد دانه را داشتند. این دو ژنوتیپ به همراه WA4502-1 و MCD4011 به عنوان مصرف کنندگان کارآمد آب گروه‌بندی شدند. بر اساس شاخص‌های حساسیت و مقاومت به خشکی، بهترین ژنوتیپ‌ها AND1007، COS16 و MCD4011 بودند. با توجه به نتایج این آزمایش، شاخص کارایی عملکرد دانه، معیار مناسبی برای تعیین واکنش ژنوتیپ‌های لوبیا به تنش کمبود آب است. ارقامی که در شرایط تنش، عملکرد بیشتری تولید می‌کنند و به آبیاری مطلوب واکنش خوبی نشان می‌دهند، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند، زیرا قادر به حفظ پتانسیل عملکرد بالای خود در طیف گسترده‌ای از آب قابل دسترس می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ژنوتیپ، شاخص کارایی عملکرد، عملکرد، کمبود آب، لوبیا معمولی.

Grain yield efficiency index, a criterion for selecting the best bean genotypes in drought stress conditions

Ali Akbar Ghanbari

Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: May 15, 2020 - Accepted: October 27, 2020)

ABSTRACT

Identification of bean genotypes in terms of water use efficiency is important in developing a breeding program to improve cultivars efficient in water use under water deficit conditions. Different indicators are used to better understand the response of cultivars to water scarcity. One of the indicators that can help in selecting the best genotypes under stress conditions is the yield efficiency index. Therefore, to determine the yield, yield components and efficiency index of beans under water deficit condition, this experiment was performed as split plots in a randomized complete block design with four replications. Irrigation conditions (normal and stress) in the main plots and eight bean genotypes in the sub-plots were investigated. Analysis of variance of traits showed that growth period, yield and yield components were significantly different in the evaluated genotypes. Water deficit stress reduced grain yield of genotypes by 47%. AND1007 and COS16 genotypes had the highest grain yield efficiency index, respectively. These two genotypes, along with MCD4011 and WA4502-1, were classified as efficient water consumers. Based on susceptibility and resistance indices, the best genotypes were AND1007, COS16 and MCD4011. In general, the grain yield efficiency index is a good criterion for determining the response of bean genotypes to water deficit stress. Cultivars that produce higher yields under stress conditions and respond well to optimal irrigation are the most desirable genotypes because they are able to maintain their high yield potential over a wide range of available water.

Keywords: Common bean, genotype, GYEI, yield, water deficit.

مقدمه

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) یکی از مهم‌ترین گونه‌های حبوبات است که در ایران جایگاه ویژه‌ای دارد. در سال ۲۰۱۸، سطح زیر کشت انواع لوبیا خشک در جهان ۳۴/۵ میلیون هکتار با میانگین عملکرد ۸۸۲ کیلوگرم در هکتار بوده است. در همین سال، سطح زیر کشت این گیاه در ایران، ۱۰۵۱۱۳ هکتار با میانگین عملکرد ۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (FAO, 2018). عوامل مختلفی در افزایش یا کاهش عملکرد لوبیا مؤثر هستند و موجب تغییرات رشد و عملکرد شوند می‌شوند. شرایط محیطی و مدیریت مزرعه و گیاه ممکن است بر خصوصیات از رشد و نمو این گیاه اثر مثبت گذارد و در نتیجه منجر به افزایش عملکرد و یا با تأثیر منفی بر آن موجب کاهش عملکرد شوند.

از عوامل مهم در تغییرات و افزایش عملکرد لوبیا، انتخاب رقم متحمل به عوامل نامساعد مانند تنش‌های محیطی از جمله خشکی می‌باشد (Ghanbari & Taheri Mazandarani, 2003). در توسعه برنامه اصلاحی تولید ارقام برتر و کارآمد از نظر مصرف آب در شرایط کمبود آب، شناسایی ژنوتیپ‌های لوبیا از لحاظ کارایی مصرف آب اهمیت دارد. توسعه ارقام جدید با راندمان مصرف آب بالاتر، به همراه مدیریت زراعی بهینه، به توسعه نظام‌های کشاورزی پایدار کمک قابل توجهی خواهد کرد. کاشت ارقام با راندمان بالای استفاده از آب، راهبرد مهمی در بهبود عملکرد دانه لوبیا است و استفاده از ارقام کارآمد از نظر مصرف آب، باعث کاهش هزینه تولید از طریق کاهش آب مصرفی خواهد شد؛ همچنین، روش مدیریتی مهم برای تولید پایدار محصول در مناطق کم آب است.

تقریباً دو سوم تولید لوبیا در جهان در شرایط تنش خشکی انجام می‌شود (Serraj & Sinclair, 1998; Beebe et al., 2008). گزارش شده است که تنش خشکی خفیف تا زیاد، باعث کاهش رشد گیاه، عملکرد دانه و کیفیت لوبیا می‌شود (Frahm et al., 2004). شاخص کارایی عملکرد دانه (GYEI) در ارقام گیاهان

زراعی، تحت تأثیر ژنوتیپ و عوامل محیطی قرار دارد و به‌نظر می‌رسد که شاخص خوبی در شناسایی ارقام لوبیا خشک از نظر قابلیت تولید عملکرد دانه و شاخص کارایی آن‌ها در استفاده از منابع و نهاده‌ها باشد. شاخص GYEI برای شناسایی ارقام برنج (Fageria & Nouredin et al., 2013; Solomon & Anjulo, 2017)، لوبیا (Fageria et al., 2010; Fageria et al., 2017) و سایر گیاهان زراعی از نظر کارآمدی و یا ناکارآمدی در بهره برداری از عناصر غذایی (K, P, N)، عناصر کم مصرف) مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی سه نوع لوبیا (چیتی، قرمز و سفید) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص کارایی عملکرد دانه براساس مصرف آب بود.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی دوره رشد، عملکرد و اجزای عملکرد و تعیین شاخص عملکرد دانه لوبیا معمولی در شرایط تنش کمبود آب و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های لوبیا بر اساس این شاخص، این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت دو سال (۱۳۸۹-۱۳۸۸) در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اجرا شد. شرایط آبیاری (نرمال و تنش خشکی) در کرت‌های اصلی و هشت ژنوتیپ لوبیا (لوبیا چیتی MCD4011، COS16 و KS21486، لوبیا قرمز AND1007، اختر و افق و لوبیا سفید WA4502-1 و WA4531-1) در کرت‌های فرعی بررسی شدند.

در شرایط آبیاری نرمال، آبیاری بر اساس ۶۰-۵۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر انجام شد. اعمال تنش آبی پس از استقرار کامل گیاهچه و از زمان ظهور سومین سه برگچه لوبیا تا مرحله رسیدگی بر اساس ۱۱۰-۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق پائیزه، شخم سطحی بهاره، دیسک و لولر و

مصرف آب گروه‌بندی شدند.

شاخص‌های شدت خشکی (DII)^۳، حساسیت به خشکی (DSI)^۴ تحمل خشکی (DTI)^۵، تحمل (TOL)^۶ میانگین هندسی تولید (GMP)^۸ و بهره‌وری متوسط (MP)^۷ از جمله شاخص‌هایی هستند که مورد ارزیابی قرار گرفتند. این شاخص‌ها که بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها استوار هستند، طبق روابط پیشنهادی محققین مربوطه (Fischer & Maurer, 1978; Rosielle & Hamblin, 1981; Fernandez, 1992; Porch, 2006) محاسبه شدند.

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از لحاظ کارایی آبیاری، از نمودار دو طرفه GYEI و عملکرد دانه در شرایط تنش استفاده شد. این نوع گروه‌بندی برای کارایی مصرف عناصر غذایی ارقام گیاهان زراعی پیشنهاد شده است (Fageria *et al.*, 2008).

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS 9.1، SPSS 16 و Excel انجام شد. برای تجزیه واریانس، اثر سال، تصادفی و اثرات آبیاری و ژنوتیپ، ثابت در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

محاسبه پارامترهای آماری شامل میانگین، بیشترین، کمترین، انحراف استاندارد و ضریب تغییرات برای صفات مورد بررسی (جدول ۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از تنوع بالایی برخوردار بودند و از این تنوع می‌توان به عنوان ذخیره ژنتیکی مناسب، در اصلاح ارقام جدید استفاده کرد.

تحت هر دو شرایط نرمال و تنش، تفاوت ژنوتیپی قابل توجهی از نظر دوره رشد، اجزای عملکرد، عملکرد دانه در بوته و عملکرد در واحد سطح مشاهده شد (جدول ۲). میانگین کاهش صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد

توزیع کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک انجام شد. قبل از کاشت، ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفوره (P2O5) از منبع فسفات آمونیوم و ۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره در سطح مزرعه توزیع شد. هم‌زمان با آغاز گلدهی، ۱۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره به‌صورت سرک و قبل از آبیاری به خاک مزرعه افزوده شد. برای کنترل علف‌های هرز، از علف‌کش پیش کاشت تریفلورالین به میزان دو لیتر در هکتار استفاده شد و طی دو مرحله در مدت اجرای آزمایش، وجین دستی نیز انجام شد.

بذرهای هر یک از ژنوتیپ‌ها بر روی شش خط به طول پنج متر و با فواصل ردیف ۵۰ سانتی‌متر کشت شد و فواصل بوته‌ها در روی ردیف، پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در زمان رسیدن کامل دانه‌ها، پنج بوته از خطوط میانی هر کرت به‌طور تصادفی برداشت شد و عملکرد بوته و اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه) هر تیمار تعیین شد. برای تعیین عملکرد هر تیمار، تمام کرت برداشت شد و پس از جداکردن دانه‌ها از غلاف‌ها، وزن دانه‌ها ثبت شد.

شاخص کارایی عملکرد دانه (GYEI) برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر راندمان مصرف آب آن‌ها، بر اساس روش استفاده شده برای تعیین کارایی مصرف فسفر (Fageria & Barbosa Filho, 1981) و طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$GYEI = \frac{Y_S}{Y_N} \times \frac{Y_N}{Y_S}$$

در این رابطه، Y_S و Y_N : عملکرد دانه در شرایط تنش و عادی، و \bar{Y}_S و \bar{Y}_N : میانگین عملکرد دانه هشت ژنوتیپ در شرایط تنش و نرمال است. ژنوتیپ‌های دارای مقادیر GYEI بزرگ‌تر از یک به‌عنوان مصرف‌کنندگان کارآمد (E)، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر GYEI بین ۰/۵ تا یک به‌عنوان مصرف‌کنندگان نسبتاً کارآمد (ME) و ژنوتیپ‌های با مقادیر GYEI کمتر از ۰/۵ به‌عنوان مصرف‌کنندگان ناکارآمد (IE) از نظر

³ Drought intensity index

⁴ Drought susceptibility index

⁵ Drought tolerance index

⁶ Tolerance

⁷ Geometric mean productivity

⁸ Mean productivity

¹ Efficient

² Moderately efficient

³ Inefficient

دانه در غلاف و وزن صد دانه متأثر از تنش آبی، بیشترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و به ترتیب ۲۱/۲، ۱۲/۱ و ۶/۵ درصد بود. در شرایط نرمال، ژنوتیپ‌های WA4502-1 و AND1007 و در شرایط تنش، ژنوتیپ‌های COS16 و AND1007،

جدول ۱- پارامترهای آماری صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های لوبیا

Table 1. Statistical parameters of studied traits in bean genotypes

Trait	Range	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation	Variance
R9 (days to maturity)	47.00	61.00	108.00	95.57	1.13	29.94
Pods per plant	16.30	3.20	19.50	10.15	3.24	10.54
Seeds per pod	3.22	1.90	5.12	3.43	0.67	0.45
100 seed weight	25.85	26.85	52.70	38.77	5.82	33.98
Yield (g per plant)	21	0.15	21.15	10.6	6.58	43.29
Yield (g m ⁻²)	361	63	424	243.5	1.74	3.05

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط مختلف آبیاری

Table 2. Variance analysis of studied traits in bean genotypes under different irrigation conditions

S.O.V.	df	Mean of squares					
		R9 (days to maturity)	Pods per plant	Seeds per pod	100 seed weight	Yield (g per plant)	Yield (g m ⁻²)
Year (Y)	1	273.19 **	82.72 **	2.27 **	1132.88 **	35.91 **	36.57 **
Rep (year)	6	2.65	1.10	0.14	15.12	0.21	0.31
Irrigation (I)	1	1.32 ns	130.81 **	6.28 **	231.98 *	95.46 **	229.05 **
Y*I	1	106.94 **	3.95 *	0.03 ns	76.13 **	6.38 *	11.1 **
Error a	42	1.19	1.45	0.30	4.31	2.42	1.12
Genotype (G)	7	2015.25 **	70.64 *	4.34 **	298.91 **	14.77 **	9.36 **
Y*G	7	218.25 **	34.96 **	0.12 ns	24.71 **	4.70 **	1.66 **
I*G	7	28.41 ns	9.90 ns	0.37 *	9.61 ns	1.07 **	1.61 **
Y*I*G	7	28.11 **	9.51 **	0.18 ns	9.57 *	0.35 ns	0.25 ns
Error b	84	0.77	2.68	0.14	3.41	0.27	0.22
CV (%)		0.92	16.14	10.98	5.41	10.18	11.72

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively based on DMRT (P≤0.05).

در این مطالعه، کاهش عملکرد دانه در بوته در مقایسه با عملکرد دانه در واحد سطح در اثر تنش خشکی، کمتر بود (جدول ۴). محققین معتقدند که مقاومت ارقام گیاهان زراعی به خشکی، به مکانیزم‌های مختلفی بستگی دارد که به واکنش‌های متفاوتی منجر می‌شود (Chaves *et al.*, 2002).

جدول ۳- میانگین دوره رشد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط نرمال و تنش آبی

Table 3. Mean growth period and yield components of bean genotypes under normal (N) and water stress (S) conditions

Genotype	Bean type	R9 (days to maturity)		Pods per plant		Seeds per pod		100 seed weight (g)	
		N	S	N	S	N	S	N	S
COS16	Chitti	104.6 a	103.0 b	13.62 b	11.15 a	3.55 bc	3.44 bc	35.75 d	32.78 e
KS21486	Chitti	72.0 e	72.1 g	9.54 def	7.47 c	3.22 cd	3.08 c	35.49 d	31.17 e
MCD4011	Chitti	96.1 c	94.1 e	10.18 de	9.43 ab	2.92 d	2.34 d	43.51 b	42.31 a
WA4502-1	White	105.5 a	105.3 a	15.60 a	10.36 a	4.38 a	3.31 bc	36.55 d	35.57 d
WA4531-17	White	103.5 b	103.5 ab	12.79 bc	10.66 a	3.72 b	3.42 bc	39.58 c	38.38 bc
AND1007	Red	103.0 b	101.1 c	11.23 cd	9.82 a	4.27 a	3.89 a	47.14 a	43.55 a
Ofogh	Red	88.0 d	86.5 f	7.80 f	7.95 bc	3.10 d	2.58 d	43.83 b	39.22 b
Akhtar	Red	98.0 c	98.8 d	8.59 f	6.33 c	4.11 a	3.67 ab	38.55 c	36.48 cd
Mean		96.4	95.1	11.16	9.14	3.65	3.21	40.05	37.43

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، با هم اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند. Means with the same letters in the same column are not significantly different based on DMRT (P≤0.05).

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه در شرایط نرمال (N) و تنش آبی (S)، درصد کاهش عملکرد (PR) و شاخص کارایی عملکرد دانه (GYEI) ژنوتیپ‌های لوبیا

Table 4. Mean seed yield under normal (N) and water stress (S) conditions, percentage reduction (PR), and grain yield efficiency index (GYEI) of bean genotypes

Genotype	Bean type	Grain yield (g per plant)			Grain yield (g m ⁻²)			GYEI
		N	S	PR (%)	N	S	PR (%)	
COS16	Chitti	13.1 cd	9.7 b	25.5	389 a	227 a	41.6	1.64
KS21486	Chitti	5.8 f	3.2 f	43.9	151 c	73 c	51.7	0.21
MCD4011	Chitti	9.1 e	7.0 d	22.3	299 b	213 b	28.8	1.19
WA4502-1	White	17.1 b	11.7 a	31.8	365 b	223 b	38.9	1.52
WA4531-17	White	15.0 c	8.8 c	41.3	273 b	133 b	51.3	0.68
AND1007	Red	21.1 a	11.7 a	44.5	408 a	247 a	39.5	1.88
Ofogh	Red	8.0 e	5.7 e	28.1	368 a	114 bc	69.0	0.78
Akhtar	Red	12.3 d	5.3 e	56.6	290 b	121 b	58.3	0.65
Mean		12.6	8.7	30.9	318	169	47.4	1.07

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، با هم اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند. Means with the same letters in the same column are not significantly different based on DMRT ($P \leq 0.05$).

افق) و ۲۸/۸٪ (MCD4011) کاهش داد (جدول ۴). برخی دیگر از محققین، کاهش عملکرد ۵۲ تا ۶۲ درصدی را در ارقام مختلف لوبیا خشک تحت تنش کمبود آب گزارش کرده‌اند (Teran & Singh, 2002; Singh, 2007).

در یک آزمایش، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در دو شرایط آبیاری بررسی و مشاهده شد که تنش خشکی باعث کاهش طول دوره رشد زایشی لوبیا می‌شود. ارقامی که بیشترین عملکرد را در شرایط تنش داشتند، دارای بیشترین تعداد غلاف و دانه در بوته بودند. علت تفاوت عملکرد دانه ارقام تحت شرایط تنش، عمدتاً ناشی از تفاوت در توزیع ماده خشک در شرایط تنش بیان شد (Acosta *et al.*, 2004). در بررسی دیگری که عملکرد و برخی صفات مؤثر بر آن در شرایط تنش خشکی بررسی شد، تنش سبب بروز خسارت زیادی به عملکرد، تعداد غلاف و دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک شد (Habibi & Bihamta, 2007).

اثر خشکی روی اجزای عملکرد (تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف و وزن صد دانه) ژنوتیپ‌های لوبیا در رومانی در دو شرایط نرمال و تنش کمبود آب بررسی شد و نتایج آن نشان داد که تنش خشکی، تعداد غلاف هر بوته را تا ۶۰٪، تعداد دانه‌های هر غلاف را تا ۲۶٪، وزن صد دانه را تا ۱۳٪ و عملکرد دانه را تا ۸۰٪ کاهش می‌دهد (Szilagy, 2003). در مطالعه دیگری مشخص شد که کمبود آب، باعث

عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین صفت در لوبیا، از نظر ژنتیکی تحت تنش آبی تفاوت نشان می‌دهد (Teran & Singh, 2002). در آزمایش حاضر، کمبود آب، میانگین عملکرد دانه را بیش از ۴۷٪ کاهش داد (جدول ۴). محققان دیگر، کاهش ۴۷ تا ۶۹ درصدی عملکرد لوبیا را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Munoz-Perea *et al.*, 2006; Singh, 2007; Urrea *et al.*, 2009). در مطالعه حاضر، کاهش عملکرد بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بود که نشان دهنده واکنش متفاوت آن‌ها به شرایط خشکی و حساسیت آن‌ها به کمبود آب بود. کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها به دلیل کمبود آب، ۲۸ تا ۶۹ درصد بود. بیشترین تأثیر تنش آبی بر کاهش عملکرد در بوته، به لوبیا قرمز اختر تعلق داشت، درحالی‌که لوبیا قرمز افق، بیشترین کاهش عملکرد در متر مربع را داشت. لوبیا چیتی MCD4011، مقاومت بیشتری نسبت به کمبود آب با کمترین درصد کاهش در عملکرد دانه نشان داد (جدول ۴).

بر اساس افت عملکرد، ارقام AND1007، COS16 و MCD4011 نسبت به ارقام دیگر، متحمل‌تر به خشکی بودند. لوبیا چیتی KS21486 کمترین عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری را نشان داد و لوبیا قرمز AND1007 بیشترین عملکرد تک بوته را در شرایط آبیاری مناسب داشت، اما در شرایط تنش، WA4502-1 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها عملکرد بوته بیشتری تولید کرد. کمبود آب، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها را بین ۶۹٪

مقادیر کوچک این شاخص، نشانه تحمل بیشتر نسبت به تنش است. شاخص DTI، ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو شرایط، عملکرد بالایی دارند. مقادیر بالای DTI نشانه تحمل تنش و عملکرد بالا است. ارقامی که مقدار TOL کمتری دارند، تفاوت عملکرد دانه آن‌ها در محیط‌های تنش‌زا و عادی کمتر است. مقادیر بالای این شاخص، نشانه حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است؛ بنابراین مقادیر کوچک آن مطلوب است. شاخص GM، برای مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به کار می‌رود؛ این شاخص معیار انتخاب مؤثر برای مقاومت به خشکی در لوبیا گزارش شده است (Samper, 1984; Abebe *et al.*, 1998). کمترین مقادیر شاخص‌های MP، GMP و TOL، در لاین KS21486 مشاهده شد (جدول ۵) و لاین‌های AND1007 و COS16، بیشترین میزان MP، GMP و DTI را داشتند. بیشترین میزان TOL و DSI به لاین افق تعلق داشت و کمترین میزان شاخص DSI از لاین MCD4011 به دست آمد.

کاهش ۱۴ درصدی وزن دانه لوبیا می‌شود (Singh, 2007). بر اساس نتایج یک تحقیق، تنش آبی تأثیر معنی‌داری روی وزن دانه نداشت، اما اثر آن بر روی تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی دار بود و باعث کاهش این صفات شد (Lizana *et al.*, 2006). علت اصلی کاهش تعداد غلاف در بوته، ریزش زیاد گل‌ها و غلاف‌ها تحت تنش کمبود آبی بود که برخی محققان (Castaneda-Saucedo *et al.*, 2009) نیز این امر را تأیید کرده‌اند. این کاهش در رقم حساس نسبت به رقم مقاوم، بیشتر بود. شاخص‌های حساسیت و مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌ها که بر مبنای عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری محاسبه می‌شوند، متفاوت بودند. شاخص DSI، برآوردی از پایداری عملکرد است؛ ژنوتیپ‌هایی که مقادیر DSI کمتری دارند را می‌توان مقاوم به خشکی در نظر گرفت (Ahmad *et al.*, 2003). این شاخص نشان‌دهنده ژنوتیپ‌هایی است که عملکرد بالقوه کمی دارند، اما در شرایط تنش، عملکرد آن‌ها زیاد است.

جدول ۵- میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا و شاخص‌های حساسیت و مقاومت به خشکی

Table 4. Mean grain yield of bean genotypes and drought resistance and susceptibility indices

Genotype	Y_N	Y_S	MP	GMP	TOL	DSI	DTI	GYEI
COS16	389	227	308	297	162	0.89	0.87	1.64
KS21486	151	73	112	105	78	1.10	0.11	0.21
MCD4011	299	213	256	252	86	0.61	0.63	1.19
WA4502-1	365	223	294	285	142	0.83	0.80	1.52
WA4531-17	273	133	203	190	140	1.09	0.36	0.68
AND1007	408	247	327	317	161	0.83	0.99	1.88
Ofogh	368	114	241	205	254	1.47	0.41	0.78
Akhtar	290	121	205	187	169	1.24	0.35	0.65

DII=0.47; \bar{Y}_N =318; \bar{Y}_S = 169.

نرمال و تنش خشکی (جدول ۶)، بهترین شاخص‌ها با توجه به ضرایب همبستگی آن‌ها انتخاب شدند.

بر اساس نتایج همبستگی بین شاخص‌های حساسیت و مقاومت به خشکی و عملکرد در شرایط آبیاری

جدول ۶- همبستگی ساده بین عملکرد دانه، شاخص کارایی عملکرد و شاخص‌های حساسیت و مقاومت به خشکی

Table 6. Correlations between grain yield, GYEI and drought resistance and susceptibility indices

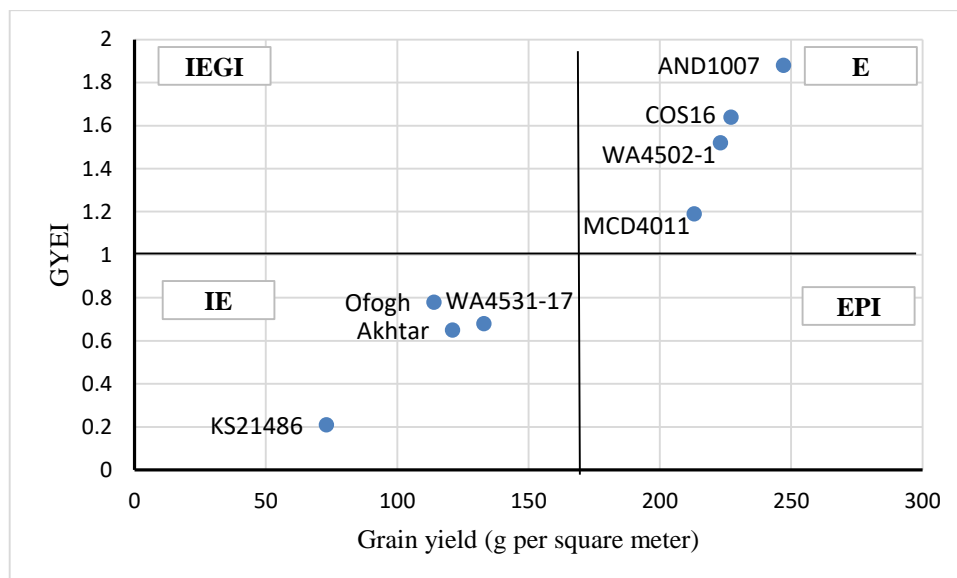
Index	Y_N	Y_S	MP	GMP	TOL	DSI	DTI
Y_S	0.76 *						
MP	0.95 **	0.92 **					
GMP	0.90 **	0.96 **	0.99 **				
TOL	0.62	-0.04	0.35	0.21			
DSI	-0.17	-0.77 *	-0.46	-0.57	0.65		
DTI	0.85 **	0.97 **	0.96 **	0.98 **	0.14	-0.61	
GYEI	0.86 **	0.97 **	0.97 **	0.98 **	0.14	-0.61	0.99 **

* و **: معنی‌داری همبستگی در سطوح پنج و یک درصد.

* and **: Correlation is significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

شاخص کارایی عملکرد، نسبت به گزینش ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش خشکی اقدام نمود. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از لحاظ کارایی آبیاری، بر اساس GYEI و عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد که ژنوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفتند (شکل ۱).

بر اساس شاخص‌های GMP، MP و DTI، بهترین ژنوتیپ‌ها شامل AND1007 و COS16 بود. نتایج همبستگی صفات نشان داد که بین GYEI و شاخص‌های حساسیت و مقاومت به خشکی، همبستگی معنی‌دار وجود داشت؛ در نتیجه می‌توان با استفاده از



شکل ۱- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های لوبیا از نظر کارایی آبیاری (E: کارآمد، EPI: کارآمد با شاخص کارایی عملکرد ضعیف، IEGI: ناکارآمد با شاخص کارایی عملکرد خوب، IE: ناکارآمد)

Figure 1. Bean genotypes classification based on irrigation efficiency (E: efficient, EPI: efficient and poor GYEI, IEGI: inefficient and good GYEI, IE: inefficient).

با شاخص کارایی عملکرد خوب (IEGI)^۴ بودند. ژنوتیپ‌های متعلق به گروه EPI، عملکرد بیشتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش تولید می‌کنند، اما واکنش آن‌ها (شاخص کارایی عملکرد) به آبیاری کمتر از متوسط است. ژنوتیپ‌هایی که عملکرد کمتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش تولید می‌کنند، اما واکنش آن‌ها به آبیاری بالاتر از متوسط است، در گروه IEGI قرار می‌گیرند. به‌طور کلی، ژنوتیپ‌هایی که در گروه E قرار می‌گیرند، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند، چرا که این ارقام می‌توانند در شرایط تنش، عملکرد بیشتری تولید کنند و به آبیاری نیز به‌خوبی واکنش معنی‌دار نشان دهند. دومین گروه مطلوب، ژنوتیپ‌های EPI هستند. این نوع ژنوتیپ‌ها را می‌توان در شرایط آبیاری کم کاشت

گروه اول شامل ژنوتیپ‌های کارآمد (E)^۱ بود؛ ژنوتیپ‌هایی AND1007، COS16، WA4502-1 و MCD4011 که عملکرد بیشتر از میانگین عملکرد در شرایط تنش تولید کردند و شاخص کارایی عملکرد بالاتر از متوسط داشتند، در این گروه قرار گرفتند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌هایی WA4531-17 افق، اختر و KS21486 بود که عملکرد کمتر از میانگین عملکرد در شرایط تنش و شاخص کارایی عملکرد کمتر از متوسط داشتند. این نوع ژنوتیپ‌ها در گروه ناکارآمد (IE)^۲ گروه‌بندی شدند. دو گروه دیگر که در مطالعه حاضر هیچ عضوی نداشتند، شامل گروه کارآمد با شاخص کارایی عملکرد ضعیف (EPI)^۳ و گروه ناکارآمد

^۴ Inefficient and good grain yield efficiency index

^۱ Efficient

^۲ Inefficient

^۳ Efficient and poor grain yield efficiency index

بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر تولید دانه در شرایط تنش خشکی بودند. این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان مصرف‌کنندگان کارآمد آب بر اساس GYEI گروه‌بندی شدند.

سپاسگزاری

این مقاله از پروژه پژوهشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به شماره ۸۸۰۶۷-۰۳-۰۳-۲ استخراج شده است. از تمامی کسانی که در تصویب و اجرای پروژه تحقیقاتی همکاری داشته‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

و عملکرد بیش از میانگین عملکرد تولید کرد. از ژنوتیپ‌های IEGI گاهی می‌توان در برنامه اصلاحی جهت بهره‌برداری از ویژگی شاخص کارایی عملکرد آن‌ها استفاده کرد. نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها انواع IE هستند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که، برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش خشکی، شاخص کارایی عملکرد دانه، شاخص مناسبی است. به‌طورکلی، لوبیا قرمز AND1007، لوبیا چیتی COS16 و MCD4011 و لوبیا سفید WA4502-1 بیشترین GYEI را داشتند و

REFERENCES

1. Abebe, A., Brick, M. A. & Kirkby, R. A. (1998). Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. *Field Crops Research*, 58, 15-23.
2. Acosta-Diaz, E., Lopez, T. C., Posadas R. & Ramirez, P. (2004). Adaptation of common bean to drought stress during the reproductive stage. *Terra*, 22, 49-58.
3. Ahmad, R., Qader, S., Ahmad, N. & Shah, K.H. (2003). Yield potential and stability of nine wheat varieties under water stress conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 5, 7-9.
4. Beebe, S. E., Rao, I. M., Cajiao C. & Grajales, M. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Science*, 48, 582-592.
5. Castaneda-Saucedo, M. C., Cordova-Tellez, L., Gonzalez-Hernandez, V. A., Delgado-Alvarado, A., Santacruz-Varela, A. & Garcia-de los Santos, G. (2009). Physiological performance, yield, and quality of dry bean seeds under drought stress. *Interciencia*, 34, 748-754.
6. Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osorio, M. L., Carvalho, I., Faria, T. & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89, 907-916.
7. Fageria, N. K. & Barbosa Filho, M. P. (1981). Screening rice cultivars for higher efficiency of phosphorous absorption. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 16, 777-782.
8. Fageria, N. K. (2001). Screening method of lowland rice genotypes for zinc uptake efficiency. *Scientia Agricola*, 58(3), 623-626.
9. Fageria, N. K., Baligar, V. C. & Li, Y. C. (2008). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the Twenty First Century. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 1121-1157.
10. Fageria, N. K., Baligar, V. C., Moreira, A. & Portes, T. A. (2010). Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 2167-2181.
11. Fageria, N. K., Melo, L. C. & Carvalho, M. C. S. (2015). Influence of nitrogen on growth, yield, and yield components and nitrogen uptake and use efficiency in dry bean genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46, 2395-2410.

12. Fernandez, C. G. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on adaptation of food crops in temperature and water stress. 13-18 Agu., AVRDC, Shanhua, Taiwan, pp. 257-270.
13. Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
14. Food and Agriculture Organization. (2018). *Crops*. Retrieved May 8, 2020, from <http://www.fao.org/faostat>.
15. Frahm, M. A., Rosas, J. C., Mayek-Pérez, N., Lopez-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J. A. & Kelly, J. D. (2004). Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136, 223-232.
16. Ghanbari, A.A. & Taheri Mazandarani, M. (2003). Effects of planting arrangement and weed control on yield and yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Akhtar. *Seed and Plant Journal*, 19, 37-47. (In Persian)
17. Habibi, G. R. & Bihanta, M. R. (2007). Study of seed yield and some associate characteristics in pinto bean under reduced irrigation. *Pajouhesh & Sazandegi*, 74, 34-46. (In Persian)
18. Lizana, C., Wentworth, M., Martinez, J. P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E. H., Pastenes, C., Lercari, B., Vernieri, P., Horton, P. & Pinto, M. (2006). Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I: Effects of drought on yield and photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 57, 685-697.
19. Munoz-Perea, C. G., Teran, H., Allen, R. G., Wright, J. L., Westermann D. T. & Singh, S. P. (2006). Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science*, 46, 2111-2120.
20. Noureldin, N. A., Saady, H. S., Ashmawy, F. & Saed, H. M. (2013). Grain yield response index of bread wheat cultivars as influenced by nitrogen levels. *Annals of Agricultural Science*, 58(2), 147-152.
21. Porch, T. G. (2006). Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192, 390-394.
22. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943-946.
23. Samper, C. (1984). Effects of water stress imposed at mid-pod filling upon yield and dry matter partitioning in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). M.Sc. Thesis. Michigan State University, East Lansing.
24. Serraj, R. & Sinclair, T. R. (1998). N₂ fixation response to drought in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany*, 82, 229-234.
25. Singh, S.P. (2007). Drought resistance in the race Durango dry bean landraces and cultivars. *Agronomy Journal*, 99, 1219-1225.
26. Solomon, W. & Anjulo, A. (2017). Response of bread wheat varieties to different levels of nitrogen at Doyogena, Southern Ethiopia. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 7 (2), 452-459.
27. Szilagy, L. (2003). Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issue*, 320-330. Teran, H. & Singh, S. P. (2002). Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Science*, 42, 64-70.
28. Urrea, C. A., Yonts, C. D., Lyon D. J. & Koehler, A. E. (2009). Selection for drought tolerance in dry bean derived from the Mesoamerican gene pool in western Nebraska. *Crop Science*, 49, 1-6.