دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی واکنش لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) در شرایط کمبود فسفر

مریم رسول زاده اقدم[1]، رضا درویش‌زاده[2,3]، ابراهیم سپهر[4] و هادی علی‌پور[5]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
2- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
3- استاد، پژوهشکده زیست فناوری، دانشگاه ارومیه
4- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
5- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: ha.alipour@urmia.ac.ir)
تاریخ دریافت: 98/9/6 تاریخ پذیرش: 98/11/8
صفحه: 202 تا 214

چکیده

فسفر یکی از عناصر پرمصرف غذایی در گیاهان است که دارای نقش‌های متعدد ساختاری در سلول و عملکرد کاتالیتیک آنزیم‌های دخیل در متابولیسم است. با توجه به فراهمی کم فسفر در خاک‌های آهکی و تفاوت ژنوتیپ‌های گیاهی در جذب فسفر خاک، شناسایی و مطالعه متفاوت ژنوتیپ‌های با کارایی زیاد جذب فسفر در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی ضروری است. بدین منظور، 76 لاین خالص آفتابگردان جمع‌آوری شده از نقاط مختلف جهان در دو شرایط بهینه و کمبود فسفر بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه طی سال زراعی 1396 مورد بررسی قرار گرفتند. در شرایط بهینه فسفر، به خاک با میزان فسفر پایین (7/24 mg/kg) به مقدار 0/4 g/kg سوپرفسفات تریپل اضافه شد. از نظر تمامی صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و درصد فسفر بین لاین‌ها در سطح احتمال 1 درصد تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد. لاین‌های آفتابگردان روغنی در هر دو شرایط بهینه و کمبود فسفر در چهار خوشه گروه‌بندی شدند. ولی توزیع لاین‌ها در خوشه‌های مشابه با توجه به شرایط محیطی بهینه و کمبود فسفر متفاوت بود. در نهایت بر اساس بای پلات حاصل از شاخص تحمل چند متغییره MFVD، تجزیه به مولفه‌های اصلی و نتایج تجزیه کلاستر، لاین‌هایی از قبیل 6، 72، 71، 19، 35 به عنوان لاین‌های مطلوب شناسایی شدند. این لاین‌ها عملکرد و اجزای عملکرد بالایی داشته و کاهش کمتری در شرایط کمبود فسفر نشان دادند که می‌توانند در معرفی ارقام هیبرید جدید مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان روغنی، شاخص تحمل چند متغیر، کمبود فسفر، عملکرد دانه

مقدمه

آفتابگردان با نام علمی *Helianthus annuus* L. از خانواده Asteraceae به عنوان پنجمین گیاه تولید کننده‌ی روغن بعد از سویا، کلزا، پنبه و بادام زمینی و تولید کننده‌ی سوخت زیستی در جهان مطرح می‌باشد (20،11). بدون شک دانه‌های روغنی از راهبردی‌ترین محصولات کشاورزی هستند که تولید آن جزء نیازهای اصلی برای امنیت غذایی هر کشور محسوب می‌شود (7). در ایران علیرغم وجود اراضی وسیع قابل کشت برای تولید دانه‌های روغنی، هنوز هم بیش از 85 درصد از روغن مورد نیاز کشور از خارج وارد می‌شود. به علت رشد جمعیت و افزایش مصرف روغن، در سال‌های آینده این مقدار به مراتب افزایش خواهد یافت (2).

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و به واسطه نقش ویژه در فرآیندهای رشد و تکامل ریشه، گلدهی، تشکیل دانه، افزایش مقاومت به تنش‌های زیستی، بعد از نیتروژن دومین عنصر کلیدی از نظر تغذیه گیاه به شمار می‌رود. قابلیت کم جذب فسفر به ویژه در خاک‌های آهکی یکی از محدودیت‌های اصلی رشد گیاه می‌باشد. شناسایی و اصلاح ژنوتیپ‌هایی با توانایی جذب فسفر بالا به عنوان یکی از اجزای مدیریت تولید پایدار مطرح است (8). راهکارهای اصلی گیاهان کارا در جذب فسفر شامل افزایش جذب فسفر از خاک و بهبود کارایی مصرف فسفر در سطح سلولی می‌باشد.

کمبود فسفر موجب اختلال در رشد گیاه شده و جنبه‌های مختلف متابولیسم آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مهمترین عوارض کمبود فسفر کاهش گسترش سلول، جلوگیری از رشد برگ‌ها و کوتاهی قد در گیاهان است (19). کمبود فسفر موجب کاهش هدایت هیدرولیک ریشه و در صورت دسترس نبودن آب کافی برای گسترش سلول‌ها، موجب کوچک ماندن برگ‌ها و جلوگیری از رشد اندام‌های هوایی می‌گردد. همچنین تثبیت دی اکسید کربن نیز به دلایل اختلال عمومی در متابولیسم انرژی، در صورت کمبود فسفر کاهش می‌یابد (6). البته تنش فسفر به دلیل نقش آن در تغییر و تبدیلات انرژی، هم‌زمان موجب کاهش مصرف قندها شده و بنابراین علیرغم افت فتوسنتز، انباشتگی فرآورده‌های فتوسنتزی از دیگر عوارض تنش فسفر در گیاهان است (6).

گیاهان برای افزایش سازگاری با شرایط تنش فسفر طیف گسترده‌ای از تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی را متحمل می‌شوند (12)، که از جمله آنها می‌توان به تغییرات گسترده در نمو ریشه و اندام هوایی، افزایش ترشح اسید فسفاتازها و همزیستی با قارچ میکوریزا، آنیون‌های آلی و همچنین افزایش بیان و فعالیت ناقلین فسفر اشاره کرد (15). با توجه به اهمیت آفتابگردان روغنی در تولید روغن گیاهی در کشور و کمبود فسفر در خاک‌های آهکی و کاربرد بیش از نیاز کودهای فسفره در این خاک‌ها، پژوهش حاضر به منظور شناسایی لاین‌های مطلوب و متحمل به کمبود فسفر برای استفاده در تولید ارقام هیبرید جدید در برنامه‌های به‌نژادی

انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی در شرایط کمبود و بهینه فسفر قابل جذب، تعداد ۷۶ لاین خالص آفتابگردان روغنی از چندین مرکز تحقیقاتی جهان شامل مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه‌ی نهال و بذر ایران، وزارت کشاورزی آمریکا و چندین مرکز تحقیقاتی وابسته به دانشگاه‌ها در اروپا، جمع‌آوری شدند (جدول ۱). آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلدانی در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. بدین منظور بعد از انجام تجزیه خاک، خاک با میزان فسفر پایین (۷/۲۴ mg/kg) انتخاب شد (جدول ۲). تعداد ۴۵۶ گلدان ۱۵ کیلوگرمی به دو دسته ۲۲۸ تایی تقسیم شد. در هر دو دسته، گلدان‌ها با خاک و ماسه به نسبت دو به یک، همراه با کودهای سولفات پتاسیم به مقدار g/kg ۰/۹، سکوسترین آهن به مقدار g/kg ۰/۱، سولفات منگنز به مقدار g/kg ۰/۰۱۵، سولفات روی به مقدار g/kg ۰/۰۶۶، سولفات مس به مقدار g/kg ۰/۰۲و اسیدبوریک به مقدار g/kg ۰/۰۱۴، پر شدند. در دسته اول علاوه بر کودهای مذکور، کود فسفر نیز به صورت سوپرفسفات تریپل به مقدار g/kg ۰/۴ به هر گلدان اضافه شد.

آبیاری گلدان‌ها با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای انجام گرفت. از شروع مرحله گلدهی تا رسیدگی کامل، اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری از صفات عملکرد دانه در بوته، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق انجام گرفت. اندازه‌گیری میزان فسفر گیاه به روش اولسن و سومرز (۱۴) انجام شد. پس از آزمون مفروضات تجزیه واریانس شامل آزمون همگنی واریانس ها و نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس صفات با رویه مدل خطی عمومی در نرم افزار SAS 9.4 انجام گرفت. میانگین حسابی و درصد کاهش صفات در شرایط کمبود فسفر نسبت به شرایط بهینه فسفر (میانگین صفت در شرایط بهینه فسفر/[میانگین صفت در شرایط کمبود فسفر-میانگین صفت در شرایط بهینه فسفر]) برای هر یک از لاین‌ها محاسبه گردید. واریانس محیطی و ژنتیکی براساس امید ریاضی میانگین مربعات برآورد شدند. سپس ضریب تنوع فنوتیپی، ضریب تنوع ژنتیکی و توارث‌پذیری عمومی هر صفت از روابط زیر محاسبه شد:

درصد ضریب تغییرات فنوتیپی:

$$\%PCV = \frac{\sqrt{V_p}}{\bar{X}_{..}} \times ۱۰۰$$

درصد ضریب تغییرات ژنتیکی:

$$\%GCV = \frac{\sqrt{V_G}}{\bar{X}_{..}} \times ۱۰۰$$

درصد توارث‌پذیری عمومی:

$$\%h_b^۲ = \frac{V_G}{V_G + \frac{\sigma_e^۲}{r}} \times ۱۰۰$$

در روابط بالا V_P واریانس فنوتیپی، V_G واریانس ژنتیکی، $\sigma_e^۲$ واریانس اشتباه آزمایشی و r تعداد تکرار را نشان می‌دهد.

تجزیه خوشه‌ای با استفاده از میانگین داده‌ها بعد از استاندارد کردن، براساس الگوریتم وارد در نرم افزار Minitab 17 و سپس برای تعیین تعداد گروه‌ها، تجزیه واریانس چند متغیره با استفاده نرم‌افزار SPSS 24 انجام شد. در این مطالعه برای تفکیک چهار گروه ارائه شده توسط فرناندز (۵) از شاخص تحمل چند متغیره MFVD (۴) استفاده شد. بدین صورت که ابتدا برای تفکیک ژنوتیپ‌های گروه‌های B و D مقدار عددی ضریب تحمل تنش (DC) براساس تقسیم مقدار عددی صفت در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال برای ژنوتیپ‌های مختلف محاسبه شد ($DC_{ij} = \frac{X_{ijws}}{X_{ijww}}$). سپس برای تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A و C مقدار عملکردی هر یک از صفات (YPr) براساس حاصل‌ضرب مقدار عددی صفت در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال برای ژنوتیپ‌های مختلف محاسبه شد ($YPr_{ij} = X_{ijws} \times X_{ijww}$). سپس برای مقادیر محاسبه شده برای ضریب تحمل تنش و مقادیر عملکرد صفات به صورت جداگانه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شده و مؤلفه‌هایی که مقادیر ویژه بالاتر از یک داشتند به عنوان مؤلفه‌های اصلی انتخاب شدند. در نهایت برای تشکلیل ناحیه‌های A، B، C و D نمودار بای‌پلات با $X_{axis} = \sum_{i=۱}^{n} DC_{PCS_i}$ و $Y_{axis} = \sum_{i=۱}^{n} YPr_{PCS_i}$ ترسیم گردید که در آنها $\sum_{i=۱}^{n} DC_{PCS_i}$ و $\sum_{i=۱}^{n} YPr_{PCS_i}$ به ترتیب مجموع مؤلفه‌های معنی‌دار برای مقادیر DC و YPr را نشان می‌دهند.

جدول 1- لاین‌های آفتابگردان روغنی مورد مطالعه و منشا آنها

Table 1. Investigated Oilseed sunflower lines and their origin

کد	نام لاین	نام کشور	نام مرکز تحقیقاتی	کد	نام لاین	نام کشور	نام مرکز تحقیقاتی
1	H209A/LC1064	فرانسه	ASGROW	39	HA337B	امریکا	USDA
2	AS5306	فرانسه	ENSAT	40	H100B	فرانسه	ASGROW
3	RHA858	امریکا	USDA	41	B454/03	مجارستان	-
4	H209A/83HR4	فرانسه	ASGROW	42	HA304	امریکا	USDA
5	AS3211	فرانسه	ENSAT	43	RT931	فرانسه	RUSTICA
6	ENSAT-254	فرانسه	ENSAT	44	HA335B	امریکا	USDA
7	AS5304	فرانسه	ASGROW	45	NS_B5	فرانسه	NOVARTIS
8	(K100)1009329.2	فرانسه	ENSAT	46	NS-R5	فرانسه	NOVARTIS
9	ENSAT-270	فرانسه	ENSAT	47	DM-2	امریکا	USDA
10	AS613	فرانسه	ASGROW	48	H156A/RHA274	فرانسه	ASGROW
11	H100A/LC1064	فرانسه	ASGROW	49	SDB1	امریکا	USDA
12	RHA266	امریکا	USDA	50	HAR-4	امریکا	USDA
13	PAC2	فرانسه	ENSAT	51	AS5305	فرانسه	ASGROW
14	H157A/LC1064	فرانسه	ASGROW	52	RHA274	امریکا	USDA
15	DES20QR5	فرانسه	BRN	53	H158A/H543R-B	فرانسه	ASGROW
16	(K100)1009337	فرانسه	ENSAT	54	H100A/RHA274	فرانسه	ASGROW
17	AS3232	فرانسه	ENSAT	55	H209A/H566R	فرانسه	ASGROW
18	ASB28	فرانسه	ASGROW	56	ASO-1-POP-A	فرانسه	ENSAT
19	SSD-580	فرانسه	ASGROW	57	B-F1POPB	فرانسه	NOVARTIS
20	ENSAT699	فرانسه	ENSAT	58	D34	امریکا	USDA
21	SSD-581	فرانسه	ASGROW	59	CAY	فرانسه	ENSAT
22	Oct-59	ایران	SPII	60	R5*A5-NS-F1	فرانسه	NOVARTIS
23	H603R	فرانسه	INRAMONT	61	36	ایران	SPII
24	4	ایران	SPII	62	38	ایران	SPII
25	CHLORINA-703	فرانسه	ENSAT	63	SDB2	فرانسه	INRAMONT
26	R5*A4-NSF1	فرانسه	NOVARTIS	64	H158A/LC1064	-	-
27	28	ایران	SPII	65	H543R/H543R	فرانسه	ASGROW
28	30	ایران	SPII	66	H543R	فرانسه	-
29	1-803	صربستان	IFVC	67	15038	فرانسه	ASGROW
30	(K100)1-1009370	فرانسه	ENSAT	68	SF076	فرانسه	ENSAT
31	CSWW2X	فرانسه	Caussade semences	69	A*LC1064C8	-	-
32	H158A/H543R-A	فرانسه	ASGROW	70	SF085	فرانسه	ENSAT
33	H100A	فرانسه	ASGROW	71	SF092	-	-
34	H205A/83HR4	فرانسه	ASGROW	72	HC91	ایران	SPII
35	PM1-3	امریکا	USDA	73	Oct-59	ایران	SPII
36	RT948	فرانسه	RUSTICA	74	H-100A-90RL8	ایران	SPII
37	QHP-1	فرانسه	INRAMONT	75	SF105	فرانسه	ENSAT
38	SDR19	امریکا	USDA	76	SF-023	-	-

جدول 2- نتایج تجزیه‌ی خاک در ارزیابی لاین‌های آفتابگردان روغنی در شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب

Table 2. Results of soil analysis in evaluation of oilseed sunflower lines under optimal and phosphorus deficiency conditions

مورد	کربن آلی (%)	نوع بافت	رس (%)	سیلت(%)	شن (%)	آهک(%)	عصارهpH	هدایت عصاره (ds/m)
میزان	0/74	لومی-رسی	50	30	30	31/5	7/92	0/78

مورد	ماده آلی (mg/kg)	روی(mg/kg)	آهن (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	مس (mg/kg)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)
میزان	1/28	0/11	11	10/3	1/3	7/24	102

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ساده، حاکی از وجود اختلاف آماری معنی‌دار برای همه‌ی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد، در هر دو شرایط بهینه و کمبود فسفر می‌باشد (جدول ۳). سلیمانی قزلجه و همکاران (۲۱) نیز در مطالعه‌ی خود بر روی آفتابگردان روغنی برای تمامی صفات مورد مطالعه به غیر از محتوای نسبی رطوبت برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده کردند. همچنین برای تعیین دقیق‌تر میزان تنوع موجود در درون صفات، ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی نیز محاسبه شد (جدول ۳). صفت عملکرد دانه بیشترین درصد تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی را در شرایط کمبود فسفر نشان داد. البته به غیر از عملکرد دانه، صفات وزن هزار دانه و درصد فسفر نیز در هر دو شرایط بهینه و کمبود فسفر ضریب تغییرات ژنتیکی بالایی را نشان دادند. بالا بودن ضریب تغییرات ژنوتیپی صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه و درصد فسفر حاکی از وجود تنوع بالا در این صفات است. مسلماً هر چه تنوع موجود در صفات بیشتر باشد انتخاب مؤثرتر خواهد بود. از طرف دیگر صفات عملکرد دانه در شرایط بهینه و درصد فسفر در شرایط کمبود فسفر به ترتیب با ۳۰/۴۷ و ۴۹/۲۲ درصد کمترین توارث‌پذیری و صفات ارتفاع بوته در شرایط بهینه و کمبود فسفر به ترتیب با ۸۳/۴۷ و ۷۶/۳۲ درصد و صفت وزن هزار دانه در شرایط بهینه با ۷۷/۳۱ درصد بالاترین میزان توارث‌پذیری را نشان دادند (جدول ۳). کمتر بودن مقدار قابلیت توارث‌پذیری صفاتی مثل عملکرد دانه حاکی از این است که این صفات توسط تعداد زیادی ژن کوچک اثر کنترل می‌شوند و در نتیجه اثرات محیطی قسمت اعظم تغییرات فنوتیپی این صفات را توجیه می‌کنند. بنابراین انتخاب ژنوتیپ برتر فقط براساس عملکرد دانه نمی‌تواند چندان مؤثر باشد.

در شرایط کمبود فسفر میانگین همه صفات در مقایسه با شرایط بهینه فسفر کاهش نشان داد. بیشترین کاهش به ترتیب با ۴۳/۵۶ و ۳۹/۹۵ درصد در صفات درصد فسفر و عملکرد دانه و کمترین میزان کاهش به ترتیب با ۴/۴۷ و ۶/۹۲ درصد در صفات قطر ساقه و وزن هزار دانه مشاهده شد (جدول ۴).

صفت ارتفاع بوته در شرایط بهینه فسفر بین ۶۴ تا ۱۸۴/۷ و در شرایط کمبود فسفر بین ۵۷/۳۳ تا ۱۶۹ سانتی‌متر متغییر بود، که در شرایط بهینه فسفر لاین‌های ۲۷، ۵۱، ۷۲، ۷۱ و ۴۱ دارای بیشترین و لاین‌های ۱، ۲۲، ۴، ۷۶ و ۴۷ به ترتیب دارای کمترین ارتفاع بوته بودند. همچنین در شرایط کمبود فسفر لاین‌های ۷۲، ۵۱، ۵۰، ۷ و ۷۱ دارای بیشترین و لاین‌های ۷۶، ۵۸، ۱، ۲۳ و ۴ به ترتیب دارای کمترین ارتفاع بوته بودند. همچنین مشاهده شده که مصرف فسفر (در خاکی با میزان فسفر قابل استفاده پایین، پنج تا هفت میلی گرم بر کیلوگرم)، به ویژه در صورتی که تأخیر در کشت رخ داده باشد مصرف فسفر توام با بذر در هنگام کاشت منجر به افزایش عملکرد دانه در گیاه گندم می‌شود (۱۷). مانسک و همکاران (۱۳) در مطالعات خود نتیجه گرفتند که مصرف ۳۵ کیلوگرم کود فسفر در هکتار در گیاه گندم نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف فسفر) در یک خاک آهکی عملکرد دانه را بیش از یک تن در هکتار افزایش داد.

متوسط قطر ساقه در شرایط بهینه فسفر بین ۸/۹۶ تا ۳۵/۱۱ و در شرایط کمبود فسفر بین ۵/۹۷ تا ۲۷/۳ متغییر بود. همچنین میانگین قطر ساقه در شرایط بهینه برابر با ۱۷/۰۱ و در شرایط کمبود فسفر به ۱۵/۱۶ کاهش پیدا کرد. دلیل افزایش قطر ساقه را می‌توان به تجمع مواد زیست توده بالاتر گیاه نسبت داد. از طرف دیگر، افزایش میزان فسفر خاک باعث افزایش قطر طبق نیز شد. به طوری که متوسط قطر طبق در شرایط کمبود فسفر برابر با ۱۰/۲۷ و در شرایط بهینه فسفر برابر ۱۲/۰۸ سانتی‌متر مشاهده شد.

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در لاین‌های آفتابگردان روغنی در شرایط نرمال و تنش فسفر

Table 3. Results of analysis of variance of traits studied in oilseed sunflower lines under optimal and phosphorus deficiency conditions

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		PH		SD		TD		TGW		DY		%P	
		Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal
لاین	75	1560/75**	1977/21**	70/28**	61/66**	20/32**	16/38**	855/61**	1090/04**	517/29**	381/63**	0/0010**	0/0029**
خطا	152	369/54	326/91	23/06	21/26	7/47	7/15	286/61	247/35	167/28	265/36	0/0005	0/0011
ضریب تغییرات (%)	-	18/28	15/29	31/67	27/10	26/62	22/15	32/86	28/63	71/01	67/85	47/72	39/00
ضریب تغییرات فنوتیپی (%)	-	21/69	21/71	31/92	26/65	25/35	19/35	32/78	34/69	72/09	46/98	38/67	35/72
ضریب تغییرات ژنتیکی (%)	-	18/95	19/84	26/17	21/57	20/16	14/52	26/73	30/51	59/30	25/93	27/13	27/73
توارث‌پذیری عمومی (%)	-	76/32	83/47	67/20	65/52	63/25	56/33	66/50	77/31	67/66	30/47	49/22	60/26

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال 5 درصد و 1 درصد.

PH: ارتفاع بوته (سانتی متر)؛ SD: قطر ساقه؛ TD: قطر طبق (سانتی متر)؛ TGW: وزن هزار دانه (گرم)؛ GY: عملکرد دانه (گرم بر بوته)؛ P%: درصد فسفر.

جدول 4- آماره‌های توصیفی در لاین‌های آفتابگردان روغنی تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر

Table 4. Descriptive statistics in oilseed sunflower lines under optimal and phosphorus deficiency conditions

Reduction (%)	%P		Reduction (%)	GY		Reduction (%)	TGW		Reduction (%)	TD		Reduction (%)	SD		Reduction (%)	PH		کد
	Stress	Normal		Stress	Normal		Stress	Normal		Stress	Normal		Stress	Normal		Stress	Normal	
40/98	0/08	0/14	17/19	9/63	11/63	47/08	48	90	20/28	8/5	10/67	22/27	8/86	11/41	-3/83	65/67	64	1
57/85	0/03	0/06	65/91	10/03	29/43	53/08	30	64	39/2	8/17	13/5	27/85	10/11	14/32	12/56	92	109	2
65/50	0/03	0/09	25/34	23/97	32/10	-8/20	80	75/33	31/1	10/33	14/67	63/72	6/37	18/25	12	92/67	107/7	3
39/55	0/04	0/07	57/19	8/23	19/23	40/58	34/67	66	18/16	7/5	12/33	48/4	5/97	12/03	-0/14	74/33	74/33	4
38/23	0/08	0/14	18/77	10/10	12/43	37/79	43/33	70/67	17/95	6/67	8/58	47/09	8/02	15/24	-4/93	84	84/67	5
3/74	0/10	0/11	63/89	14/47	40/07	-8/25	94/67	90/67	15/32	14	16/67	-20/2	24/45	20/65	6/22	140	151/7	6
24/39	0/04	0/06	4/38	37/80	39/53	-27/9	61/33	52	14/47	11/92	14/58	12/6	18/3	21/72	-1/98	145	146/3	7
37/01	0/05	0/08	55/03	2/23	4/97	-46/00	39/33	26/67	22/86	5/67	7/33	0/18	9/31	9/43	-6/14	88/67	83/67	8
80/15	0/02	0/10	47/58	24/17	46/10	14/42	70	84/67	44/1	7/17	12/83	31/01	16/45	23/32	16/58	131/7	158/7	9
27/63	0/04	0/05	42/67	10/17	17/73	29/11	37/33	52/67	28/65	9/67	13/5	41/86	10/22	17/64	2/36	126	131/7	10
57/29	0/07	0/16	13/03	21/37	24/57	-29/7	45/33	33/33	9/01	11/75	12/92	2/07	21/04	22/01	-20/9	118/3	97/67	11
67/16	0/02	0/07	67/91	4/60	14/33	-257	38/67	31/33	34/47	7/33	11/33	36/66	9/91	16/45	21/29	96	121/7	12
45/85	0/05	0/09	31/31	15/87	23/10	11/43	45/33	58/67	24/07	9/08	12/17	-18/6	13/52	12/26	-25/7	118/7	103	13
24/44	0/03	0/04	39/79	13/57	22/53	18/01	60	69/33	18/83	9/67	12/08	-4/47	17	16/85	13/25	101/7	119/7	14
22/36	0/04	0/06	3/24	19/90	20/57	-9/93	45/33	44	-11/9	11/67	11/58	-5/44	18/21	17/06	14/47	109	143/3	15
37/87	0/07	0/12	63/16	10/97	29/77	31/11	36/67	52/67	29/25	9/42	13/33	28/11	15/49	21/13	28/52	110/3	154/3	16
50/65	0/04	0/08	14/72	15/07	17/67	-62/4	40	26/67	20/59	8/5	11	44/09	8/34	15/57	23/37	102/7	134/7	17
61/48	0/05	0/14	8/82	22/07	24/20	5/94	57/33	64/67	4/53	11/33	12	-27/1	20/29	17/09	0/95	118	122/3	18
28/17	0/06	0/08	32/25	36/07	53/23	-4/24	51/33	49/33	1/13	13/92	14/08	-20	27/3	22/99	-2/34	131/3	128/7	19
46/26	0/05	0/09	43/79	9/80	17/43	42/05	47/33	82	16/79	11/33	13/75	16/26	12/39	14/88	7/19	88	95	20
54/42	0/05	0/11	26/42	41/77	56/77	1/05	43/20	38/67	-14/7	14/25	12/42	-42/6	16/88	16/7	13/27	81/67	102	21
43/09	0/07	0/15	13/66	14/53	16/83	0/03	54	56	3/01	9/5	9/83	24/26	12/39	16/86	-19/1	83	70/33	22
68/14	0/04	0/14	80/16	5/03	25/37	39/25	30	50	48/99	6/08	12/25	58/81	7/82	19/29	21/01	70	88	23
50/95	0/04	0/09	72/48	5/10	18/53	19/61	37/33	49/33	25/42	7/25	10/17	39/72	9/99	16/8	18/61	78/67	98	24
27/86	0/06	0/08	49/91	9/35	18/67	36/14	26/67	42/67	40/49	6/58	11	15/41	14/26	17/52	-10/8	93	87/67	25
42/25	0/05	0/08	69/75	7/53	24/90	56/45	20	44	8/18	9/08	11/33	20/61	12/24	17/32	6/95	99/67	108/7	26
55/98	0/04	0/10	65/95	24/37	71/57	25/63	80/67	108	31/82	14/17	21/17	38/58	20/99	35/11	28/36	130	185	27
62/06	0/03	0/09	52/03	16/50	34/40	17/55	58/67	70/67	18/78	10/42	13/5	19/51	13/11	16/81	6/69	110/7	119/7	28
47/52	0/05	0/09	18/49	12/93	15/87	-25/2	48/67	41/33	4/02	10/42	10/83	-27	17/45	13/86	5/57	101/7	108/3	29
53/73	0/04	0/08	30/33	14/70	21/10	-22/6	36/67	30/67	-21/1	11/08	10/5	-30/6	15/5	13/33	3/19	122/7	130/3	30
52/55	0/03	0/06	36/82	13/90	22	2/60	46/67	49/33	12/43	9	11/17	30/31	12/04	17/53	29/54	99	141/7	31
40/78	0/07	0/12	31/88	13/31	19/53	0/40	48/40	49/33	20/73	8	10/17	19/46	14/83	19/21	18/14	88/67	109	32
33/21	0/04	0/06	9/14	20/53	22/60	-1/19	43/33	45/33	-11/3	12/42	11/5	-13/8	18/71	16/63	4/19	104/3	109/7	33
63/30	0/04	0/10	64/49	13/77	38/77	10/1	61/33	72	28/47	10/5	15/08	-2/9	15/86	16/26	-8/66	125/7	115/3	34
9/59	0/05	0/05	46/39	9/17	17/10	2/02	55/33	55/33	25/19	8/92	11/92	-14/1	19/2	16/91	19/13	101	130/3	35
44/08	0/03	0/06	20/93	30/60	38/70	-49/8	46	48/80	-11/8	16	14/83	-15/3	20/91	18/59	13/09	121	142/3	36
49/35	0/06	0/12	22/44	12/10	15/60	-118	68/67	32	-64	15	9/33	-43/1	20/19	15/16	2/21	111	114/3	37
43/60	0/03	0/05	39/92	9/83	16/37	14/84	22/67	26/67	20/32	9/42	11/83	7	12/01	12/99	17/49	112/7	137/3	38

ادامه جدول ۴-

۳۹	۱۳۴/۷	۱۳۳	۰/۶۸	۲۱/۵۶	۲۲/۷۸	−۱۹/۶	۱۳/۴۲	۱۲	−۲۳/۳	۴۴/۶۷	۵۸/۶۷	−۶۱/۱	۵۵/۳۳	۴۶/۷۳	۱۵/۵۴	۰/۰۹	۰/۰۷	۲۳/۴۵
۴۰	۱۳۱/۷	۱۱۴	۱۲/۱	۲۴/۴۴	۲۲/۹۴	−۰/۵۷	۱۲/۵	۱۰/۸۳	۱۰/۴۴	۸۶/۶۷	۷۵/۳۳	۱۲/۶۵	۳۵/۳۳	۱۹/۵۰	۴۴/۸۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۶۱/۳۳
۴۱	۱۶۳/۷	۱۰۷/۷	۳۳/۶۴	۱۹/۶۷	۱۳/۹۵	۲۹/۳۹	۱۳/۶۷	۹/۴۲	۲۵/۴۵	۵۴/۶۷	۵۶/۶۷	−۳/۰۱	۲۷/۷۰	۱۱/۷۳	۵۷/۶۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۳۹/۹۲
۴۲	۱۳۴/۳	۱۳۲/۳	۰/۷۲	۲۴/۷۴	۲۶/۵۳	−۱۹/۲	۱۰/۶۷	۱۴/۵	−۳۵/۹	۶۹/۳۳	۹۸/۶۷	−۴۴	۲۴/۲۳	۱۶/۰۳	۳۳/۸۴	۰/۱۳	۰/۰۸	۳۸/۴۴
۴۳	۱۲۷	۱۱۳/۷	۸/۴۲	۱۴/۲۴	۱۴/۹۴	−۷/۴۲	۱۳/۵۸	۱۲/۰۸	۱۱/۰۶	۴۶	۶۵/۳۳	−۷۳/۷	۳۹/۹۳	۳۰/۱۰	۲۴/۶۲	۰/۰۹	۰/۰۴	۵۵/۸۰
۴۴	۱۲۵/۳	۱۱۵	۱۰/۳۲	۱۵/۶۴	۱۶/۹	−۲۱/۶	۱۴/۷۵	۱۵/۳۳	−۶/۱۵	۴۸	۶۴/۶۷	−۳۹/۲	۴۸/۸۰	۳۳/۴۷	۳۱/۴۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۳۵/۴۱
۴۵	۱۳۷/۷	۱۰۱	۲۵/۷۱	۱۲/۴۳	۱۰/۴۴	۱۴/۴۴	۱۴/۰۸	۱۱/۸۳	۱۴/۹۱	۵۱/۳۳	۴۰	۲۱/۹۵	۳۳/۲۰	۱۷/۷۰	۴۶/۶۹	۰/۰۷	۰/۰۴	۴۱/۶۸
۴۶	۱۱۹/۷	۱۰۰	۱۴/۵۳	۱۸/۳۲	۱۷/۳۷	۳/۷۳	۱۱/۶۷	۱۲/۳۳	−۷/۹۶	۶۰	۶۴/۶۷	−۸/۸۵	۲۷/۵۷	۲۶/۹۰	۲/۴۲	۰/۰۶	۰/۰۴	۲۷/۷۹
۴۷	۸۰/۶۷	۷۵	۷/۵۹	۱۴/۳۹	۱۰/۴	۴/۴	۱۰/۷۵	۱۰/۰۸	−۷/۵۴	۷۰	۵۹/۳۳	−۴۰/۸	۱۷/۷۷	۱۳/۱۰	۲۶/۲۷	۰/۰۶	۰/۰۴	۴۰/۰۳
۴۸	۱۰۹	۹۳/۳۳	۱۲/۹۱	۱۶/۷۳	۱۵/۱۳	۷/۱۳	۱۱/۵	۱۰/۱۷	۷/۵۸	۴۳/۳۳	۴۴/۶۷	−۵/۶۵	۱۶/۷۰	۱۵/۲۳	۸/۷۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۲۱/۹۳
۴۹	۱۰۳	۱۳۰	−۲۷/۷	۱۶/۵۶	۱۶/۵	−۲۶	۱۱/۰۸	۷/۹۲	۲۳/۳۶	۵۴/۶۷	۵۵/۳۳	−۱۲/۸	۲۸/۶۳	۸/۷۰	۶۹/۶۲	۰/۰۷	۰/۰۴	۴۴/۵۱
۵۰	۱۳۱/۷	۱۴۷/۳	−۱۶	۲۲/۴	۲۱/۲	−۴/۰۲	۱۴/۶۷	۱۵/۶۷	−۱۱/۷	۳۴	۵۷/۳۳	−۹۳/۷	۳۱/۳۰	۲۱/۲۳	۳۲/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۷	۶۵/۴۲
۵۱	۱۸۴/۷	۱۵۷	۱۳/۳۵	۲۲/۶۵	۲۱/۹۳	−۳/۴۵	۱۹/۵	۱۳	۳۲/۸۹	۱۰۵/۳	۸۰	۲۵/۸۹	۲۵/۰۰	۲۲/۲۰	۱۱/۲۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۵۲/۴۱
۵۲	۱۰۷/۷	۸۳/۶۷	۲۲/۷۸	۱۴/۸	۱۱/۶۷	۱۹/۱۲	۱۰/۶۷	۹/۶۷	۶/۳۲	۴۸/۶۷	۶۰	−۲۶/۷	۱۶/۳۰	۸/۰۳	۵۰/۷۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۵۴/۶۷
۵۳	۱۱۸/۷	۹۵/۳۳	۱۹/۲۳	۳۳/۳۸	۱۵/۲	۴۹/۷	۱۳/۳۳	۸/۶۷	۲۹/۲۹	۱۰۳/۳	۵۸	۳۷/۶۶	۲۳/۹۰	۱۴/۸۳	۳۷/۹۴	۰/۱۵	۰/۰۵	۶۵/۸۵
۵۴	۱۱۶/۳	۹۳	۱۹/۱۱	۱۸/۷۸	۱۶/۹۵	۶/۳۷	۱۳/۷۵	۱۱/۱۷	۱۹/۷۹	۴۳/۳۳	۴۴	−۱/۶۷	۳۰/۸۷	۲۲/۱۷	۲۸/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۳	۴۰/۲۸
۵۵	۹۲/۶۷	۸۵/۳۳	۶/۱۹	۱۵/۳۳	۹/۳۲	۲۹/۸	۱۰	۵/۶۷	۳۷/۴۶	۴۶/۶۷	۲۹/۳۳	۳۷/۱۴	۲۱/۵۳	۲/۴۳	۸۸/۷۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۶/۵۴
۵۶	۹۰/۳۳	۹۸	−۱۰/۲	۱۳/۸۹	۱۱/۷۵	۱۱/۳	۱۲/۶۷	۱۰/۴۲	۱۶/۵۵	۳۸/۶۷	۳۱/۳۳	۵/۴۵	۲۴/۳۷	۸/۱۳	۶۶/۶۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۳۱/۷۱
۵۷	۱۲۶	۱۱۵/۳	۴/۷۲	۱۸/۸۱	۱۸/۴۳	−۲/۳۳	۹/۷۵	۱۳/۷۵	−۵۲/۵	۶۷/۳۳	۵۱/۳۳	۲۱/۸۷	۳۲/۶۷	۱۲/۴۷	۶۱/۸۴	۰/۰۸	۰/۰۲	۶۸/۷۰
۵۸	۸۱/۶۷	۶۴	۲۱/۷۰	۱۵/۳۶	۱۳/۳۷	۱۲/۵۳	۱۱/۵	۷/۲۵	۳۶/۸۸	۵۶/۶۷	۵۶/۶۷	−۱/۱۷	۲۲/۳۰	۸/۲۳	۶۳/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۷	۳۰/۱۱
۵۹	۸۵/۶۷	۹۲/۳۳	−۱۰/۴	۱۱/۹۱	۹/۷۷	۱۶/۸۸	۹/۷۵	۶/۶۷	۳۳/۷۴	۲۷/۳۳	۲۶	۱۰/۰۱	۱۷/۱۷	۴/۲۰	۷۵/۵۳	۰/۰۷	۰/۰۵	۲۸/۷۳
۶۰	۱۰۲/۷	۸۳/۳۳	۱۸/۳۶	۱۴/۱۸	۱۱/۶۵	۱۸/۳۷	۹/۸۳	۷/۶۷	۲۱/۵۲	۳۷/۳۳	۶۷/۵۸	−۶۴/۶	۱۴/۴۷	۱۰/۳۳	۲۸/۵۷	۰/۱۰	۰/۰۷	۳۳/۹۶
۶۱	۱۳۵	۱۰۲	۲۳/۷۲	۱۳/۶۹	۱۳/۵۷	۰/۱۹	۱۱/۸۳	۸/۶۷	۲۶/۰۸	۴۲/۰۷	۴۳/۳۳	−۸/۱۲	۲۷/۷۴	۹/۱۰	۶۷/۲۰	۰/۰۶	۰/۰۴	۳۲/۴۸
۶۲	۱۳۴	۹۱/۶۷	۲۹/۲۴	۱۲/۹۴	۱۶/۴۶	−۲۹/۵	۱۱/۱۷	۷	۳۷/۶۴	۶۴	۷۴	−۲۱/۲	۲۵/۷۷	۵/۶۰	۷۸/۲۷	۰/۱۱	۰/۰۴	۶۱/۱۵
۶۳	۱۱۷	۱۰۴	۱۱/۲۱	۸/۹۶	۱۱/۸	−۳۳	۹/۰۸	۱۰/۶۷	−۱۸/۵	۳۴	۴۴	−۲۹/۴	۱۴/۷۰	۱۱/۶۳	۲۰/۸۶	۰/۰۸	۰/۰۶	۲۸/۹۶
۶۴	۱۱۴	۹۸/۶۷	۴/۴۷	۱۸/۹۸	۱۸/۸۹	−۷/۱۲	۱۴/۰۸	۱۱/۶۷	۱۳/۳۹	۷۵/۳۳	۶۲	۱۷/۸۴	۶۰/۴۷	۲۰/۲۳	۶۶/۵۴	۰/۰۶	۰/۰۳	۴۳/۱۰
۶۵	۱۱۰/۷	۸۲	۲۵/۷۶	۱۳/۶۱	۱۷/۴	−۴۶	۹/۱۷	۸/۶۷	۶/۲۱	۴۲/۶۷	۵۰	−۱۶/۷	۱۵/۷۳	۱۳/۲۷	۱۵/۶۸	۰/۱۱	۰/۰۵	۴۸/۴۴
۶۶	۱۰۱/۷	۷۵	۲۶/۱۷	۱۱/۹۲	۸/۸۴	۲۵/۱۸	۸/۸۳	۶/۴۲	۲۲/۶۴	۵۰/۶۷	۴۵/۳۳	−۱/۸۹	۲۳/۵۷	۶/۵۳	۷۲/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۵	۷۱/۴۹
۶۷	۱۱۴	۱۱۵/۷	−۲/۹۵	۱۵/۸۴	۲۱/۵۵	−۶۳/۱	۱۱/۸۳	۱۲/۳۳	−۴/۴۱	۸۸	۱۰۴/۷۰	−۲۰/۷	۳۴/۴۰	۲۵/۹۳	۲۴/۶۱	۰/۱۰	۰/۰۳	۶۹/۱۸
۶۸	۱۲۱	۱۰۹/۷	۹/۲۴	۲۲/۱۸	۱۸/۲۲	۱۸/۲۹	۱۳	۱۱/۰۸	۱۴/۷۹	۷۴	۶۱/۳۳	۱۵/۴۴	۳۱/۶۷	۱۴/۴۳	۵۴/۴۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۴۵/۶۸
۶۹	۱۲۷	۱۴۲	−۱۵/۱	۱۳/۷۲	۱۳/۹۵	−۰/۶۲	۸/۳۳	۹/۶۷	−۳۹/۵	۳۲	۳۴/۶۷	۳۹/۶	۹/۵۰	۵/۲۳	۴۴/۹۱	۰/۰۶	۰/۰۳	۴۷/۶۱
۷۰	۱۱۳/۳	۹۳/۶۷	۱۱/۸۴	۱۶/۴۳	۱۱/۵۴	۲۶/۵۴	۱۲/۵۸	۸/۴۲	۳۱/۵۹	۵۳/۳۳	۳۴/۶۷	۲۸/۰۵	۲۰/۵۳	۱۰/۲۷	۵۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۴	۶۰/۳۸
۷۱	۱۷۱/۷	۱۴۳/۷	۱۵/۰۴	۲۱/۱۱	۱۸/۶۶	۴/۶۳	۱۴/۲۵	۱۲/۳۳	۷/۶۱	۴۶	۴۸	−۱۸/۱	۴۴/۲۷	۳۴/۷۳	۲۱/۵۴	۰/۴	۰/۰۴	−۹/۵۲
۷۲	۱۷۵/۷	۱۶۹	۳/۱	۱۴/۶۷	۲۳/۰۶	−۶۰/۸	۱۲/۱۷	۱۵/۷۵	−۲۷/۵	۵۶	۷۰	−۲۵/۶	۲۵/۷۷	۱۶/۵۷	۳۵/۷۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۱۶/۷۴
۷۳	۱۴۳	۱۴۰/۷	۲/۹۷	۱۵/۵۵	۱۷/۱۱	−۹/۵۳	۱۳	۱۲/۶۷	۵/۳۹	۴۴	۴۵/۳۳	−۴/۵۷	۱۶/۰۰	۹/۶۳	۳۹/۷۹	۰/۰۶	۰/۰۳	۴۹/۶۶
۷۴	۹۸/۳۳	۹۰/۳۳	۶/۴۸	۱۲/۸۵	۱۳/۸۷	−۱۴/۷	۷/۵۸	۱۰/۵	−۶۵/۲	۶۲	۵۶/۶۷	−۴/۹۷	۲۰/۵۷	۱۶/۷۳	۱۸/۶۴	۰/۱۰	۰/۰۴	۶۱/۸۵
۷۵	۱۰۴/۷	۸۱/۶۷	۲۱/۸۹	۱۱/۳	۱۳/۶۶	−۲۰/۶	۱۰/۱۷	۸/۱۷	۲۰/۴۸	۳۵/۳۳	۳۴	۶/۰۵	۱۰/۹۳	۷/۹۰	۲۷/۷۴	۰/۱۱	۰/۰۷	۳۷/۲۶
۷۶	۷۹/۳۳	۵۷/۳۳	۲۷/۵۶	۱۰/۹۳	۸/۷۶	۱۹/۸۴	۹/۸۳	۸/۵	۱۲/۶۴	۴۴	۳۷/۳۳	۱۴/۹۳	۱۱/۸۰	۸/۸۷	۲۴/۸۶	۰/۰۹	۰/۰۵	۳۸/۷۲
میانگین	۱۱۸/۲	۱۰۵/۲	۸/۵۶	۱۷/۰۱	۱۵/۱۶	۴/۴۷	۱۲/۰۸	۱۰/۲۷	۱۰/۲۹	۵۴/۹۴	۵۱/۵۲	۶/۹۲	۲۶/۳۷	۱۵/۵۹	۳۹/۹۵	۰/۰۹	۰/۰۵	۴۳/۵۶
CV^3%	۱۵/۲۹	۱۸/۲۸	-	۲۷/۱۰	۳۱/۶۷	-	۲۲/۱۵	۲۶/۶۲	-	۲۸/۶۳	۳۲/۸۶	-	۶۷/۸۵	۷۱/۰۱	-	۳۹/۰۰	۴۷/۷۲	-

PH: ارتفاع بوته (سانتی متر)؛ SD: قطر ساقه؛ TD: قطر طبق (سانتی متر)؛ TGW: وزن هزار دانه (گرم)؛ GY: عملکرد دانه (گرم بر بوته)؛ P%: درصد فسفر.

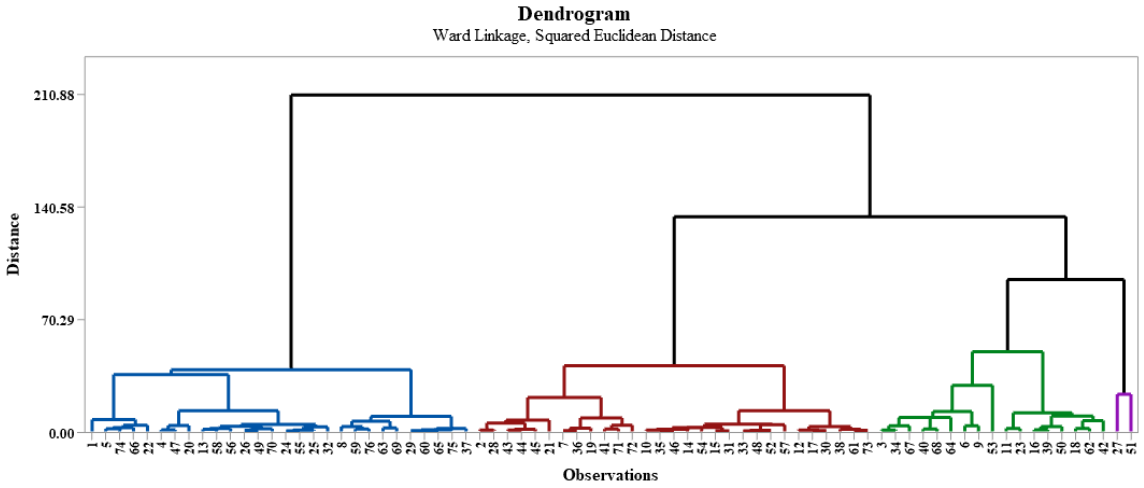
بر اساس نتایج حاصل از تحقیقی بر روی گیاه جو (۱۶) مشاهده شد که تلقیح بذر با باکتری سودوموناس و کاربرد سطوح مختلف فسفر بر جذب عناصر باعث افزایش قطر ساقه و وزن خشک گیاه می‌شود. کاظم علیلو و همکاران (۹) در مطالعه‌ی خود بر روی گیاه آفتابگردان نشان دادند که اثرهای اصلی آبیاری، کود فسفر و لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل برگ‌ها، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی، ارتفاع و قطر ساقه معنی‌دار است.

لاین‌های ۲۷، ۵۱، ۶، ۳۴ و ۳۶ به ترتیب دارای بیشترین و لاین‌های ۸، ۷۴، ۶۹، ۵ و ۶۶ دارای کمترین قطر طبق در شرایط بهینه فسفر بودند. همچنین در شرایط کمبود فسفر به ترتیب لاین‌های ۳۶، ۷۲، ۵۰، ۴۴ و ۳۷ بیشترین و لاین‌های ۸، ۵۵، ۲۳، ۶۶ و ۲۵ کمترین قطر طبق را نشان دادند، که می‌توان کاهش قطر طبق در شرایط کمبود فسفر را ناشی از کاهش جذب آب و مواد غذایی به دلیل کمبود فسفر دانست.

به طور کلی کمبود فسفر باعث کاهش ۴۰/۸۵ درصدی کاهش عملکرد دانه در لاین‌های آفتابگردان روغنی شد، که در شرایط بهینه بیشترین عملکرد دانه متعلق به لاین‌های ۲۷، ۶۴، ۲۱، ۳۹ و ۱۹ و کمترین عملکرد دانه به ترتیب متعلق به لاین‌های ۸، ۶۹، ۷۵، ۱ و ۷۶ بود. همچنین در شرایط کمبود فسفر لاین‌های ۳۹، ۲۱، ۷، ۱۹ و ۷۱ به ترتیب دارای بیشترین و لاین‌های ۸، ۵۵، ۵۹، ۱۲ و ۲۳ دارای کمترین عملکرد دانه بودند. در یک مطالعه گلدانی، اثر برهمکنش بین فسفر و مولیبدن بر کلزا گزارش شده که کاربرد فسفر عملکردهای دانه و روغن را با کاربرد و عدم کاربرد مولیبدن افزایش می‌دهد. از طرف دیگر فسفر از طریق افزایش رشد شاخه‌ها و غلاف‌های گیاه منجر به افزایش عملکرد دانه شد (۱۰). بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات آلام و همکاران (۳) در بررسی پاسخ سه واریته گندم به مصرف فسفر و نیز روش مصرف آن، در خاکی با میزان فسفر قابل استفاده ۳/۹ میلی گرم در کیلوگرم، نتیجه گرفتند که مصرف فسفر منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و کاه نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف فسفر شده است.

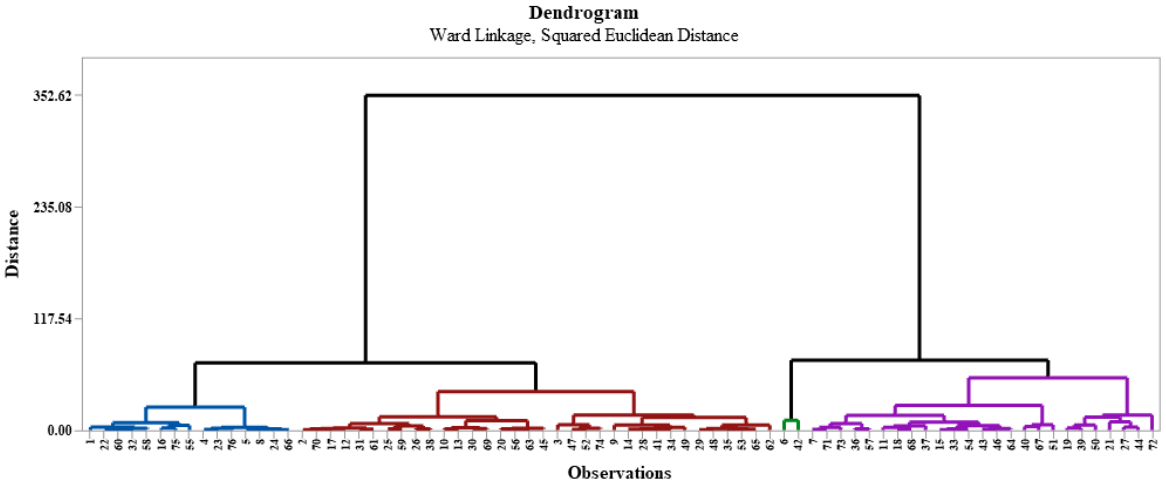
با توجه به اینکه جذب عناصر غذایی توسط گیاه تابع دو عامل رشد سیستم ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشد. بسیاری از محققان نقش اتیلن در تغییرات شکلی (مورفولوژیکی) سیستم ریشه‌ای را بیان کرده‌اند، که خود می‌تواند بر جذب عناصر غذایی توسط ریشه مؤثر باشد (۱). ساخت اتیلن تا حد زیادی تحت تأثیر قابلیت استفاده عناصر غذایی و به ویژه فراهمی فسفر می‌باشد (۱۸). افزایش میزان جذب فسفر در لاین‌های با شرایط بهینه فسفر مشاهده گردید. به طوریکه میانگین جذب فسفر در شرایط بهینه برابر با ۰/۰۹ و در شرایط کمبود فسفر برابر با ۰/۰۵ می‌باشد.

به منظور بررسی و تعیین تنوع بین لاین‌های آفتابگردان روغنی، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد بر مبنای صفات مورد مطالعه انجام گرفت، لاین‌های آفتابگردان روغنی در هر دو شرایط کمبود فسفر و بهینه در ۴ خوشه گروه‌بندی شدند (شکل ۱ و ۲). مقدار عددی ضریب کوفنتیک به ترتیب در شرایط بهینه و کمبود فسفر برابر ۰/۶۹۷۵ و ۰/۶۲۴۷ محاسبه شد که بیانگر تشابه نسبتاً بالای ماتریس تشابه اصلی و دندروگرام حاصله است. در شرایط بهینه ۲۸ لاین در خوشه اول، ۲۹ لاین در خوشه دوم، ۱۷ لاین خوشه سوم و ۲ لاین در خوشه چهارم گروه‌بندی شدند و در شرایط کمبود فسفر ۱۵ لاین در خوشه اول، ۳۴ خوشه در لاین دوم، ۲ لاین در خوشه سوم و ۲۵ لاین در خوشه چهارم قرار گرفتند. البته توزیع لاین‌ها در خوشه‌های مشابه با توجه به شرایط محیطی بهینه و کمبود فسفر متفاوت بود. خوشه چهارم و سوم هر کدام با ۲ لاین به ترتیب تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر بیشترین فاصله را در مقایسه با سایر خوشه‌ها نشان دادند (جدول ۵).



شکل ۱- تجزیه خوشه‌ای لاین‌های آفتابگردان روغنی بر اساس صفات مورد مطالعه در شرایط بهینه فسفر

Figure 1. Cluster analysis of oilseed sunflower lines based on studied traits under optimum phosphorus condition



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای لاین‌های آفتابگردان روغنی بر اساس صفات مورد مطالعه در شرایط کمبود فسفر
Figure 2. Cluster analysis of oilseed sunflower lines based on studied traits under phosphorus deficiency condition

جدول ۵- فواصل محاسبه شده بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط بهینه (بالای قطر اصلی) و کمبود فسفر (پایین قطر اصلی)
Table 5. Calculated distances between groups from cluster analysis under optimal (upper diagonal) and phosphorus deficiency (below diagonal) conditions

خوشه‌ها	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴
خوشه ۱	–	۲/۲۴۶	۲/۸۱۱	۷/۷۶۱
خوشه ۲	۱/۸۴۵	–	۲/۲۱۵	۶/۱۴۴
خوشه ۳	۶/۳۱۵	۵/۸۹۸	–	۵/۱۵۷
خوشه ۴	۴/۰۹۷	۲/۷۲۳	۴/۴۵۶	–

به منظور بررسی اختلاف بین خوشه‌ها از لحاظ هریک از صفات مورد مطالعه تجزیه واریانس چند متغییره کاملاً تصادفی نامتعادل با در نظر گرفتن خوشه‌ها به منزله تیمار و لاین‌های درون خوشه‌ها به منزله تکرار انجام گرفت. بر اساس تمامی آماره‌های تجزیه واریانس چند متغیره شامل اثر پیلای، ویلکس لامبدا، اثر هتلینگ و بالاترین ریشه روی، در هر دو شرایط بهینه و کمبود فسفر بین خوشه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. از طرف دیگر براساس تجزیه واریانس تک متغیره نیز بین خوشه‌ها از نظر تمامی صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۶ و ۷).

نتایج مقایسه میانگین صفات برای خوشه‌ها نشان داد که در شرایط بهینه فسفر، لاین‌های خوشه اول و سوم از نظر صفت درصد فسفر و لاین‌های خوشه چهارم شامل دو لاین ۲۷ و ۵۱، از نظر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه میانگین بالاتری نسبت به سایر گروه‌ها دارند (جدول ۸). همچنین در شرایط کمبود فسفر لاین‌های خوشه سوم شامل دو لاین ۶ و ۴۲، از نظر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، وزن هزار دانه و درصد فسفر و لاین‌های خوشه چهارم از نظر صفت عملکرد دانه میانگین بالاتری نسبت به سایرگروه‌ها نشان دادند (جدول ۹).

جدول ۶- تجزیه واریانس گروه‌ها بر اساس صفات مورد بررسی تحت شرایط بهینه
Table 6. Analysis of variance of groups based on studied traits under optimal phosphorus condition

صفات	واریانس بین گروهی	خطا
درجه آزادی	۳	۷۲
PH	۹۳۸۵/۵۵**	۲۹۵/۴۷
SD	۲۶۲/۵**	۱۰/۴۷
TD	۸۳/۹۴**	۲/۱۹
TGW	۳۴۶۲/۲۴**	۲۳۴/۲۳
GY	۱۳۲۱/۸۸**	۷۷/۴۳
%P	۰/۰۱۱**	۰/۰۰۱

PH: ارتفاع بوته (سانتی متر)؛ SD: قطر ساقه؛ TD: قطر طبق (سانتی متر)؛ TGW: وزن هزار دانه (گرم)؛ GY: عملکرد دانه (گرم بر بوته)؛ P%: درصد فسفر.

جدول 7- تجزیه واریانس گروه‌ها بر اساس صفات مورد بررسی تحت شرایط کمبود فسفر
Table 7. Analysis of variance of groups based on studied traits under phosphorus deficiency condition

صفات	واریانس بین گروهی	خطا
درجه آزادی	3	72
PH	6204/87**	283/39
SD	395/71**	7/92
TD	121/84**	1/98
TGW	2608/89**	188/38
GY	2509/33**	75/43
%P	0/004**	0/00017

PH: ارتفاع بوته (سانتی متر)؛ SD: قطر ساقه؛ TD: قطر طبق (سانتی متر)؛ TGW: وزن هزار دانه (گرم)؛ GY: عملکرد دانه (گرم بر بوته)؛ P%: درصد فسفر.

جدول 8- نتایج مقایسه میانگین گروه‌های تجزیه خوشه‌ای در 76 لاین آفتابگردان روغنی تحت شرایط بهینه فسفر (میانگین ±اشتباه معیار)
Table 8. Results of means compression of cluster analysis groups in 76 oilseed sunflower lines under optimum phosphorus condition (means±SE)

صفات	خوشه 1	خوشه 2	خوشه 3	خوشه 4	میانگین کل
تعداد لاین	28	29	17	2	76
PH	96/06^{c}±3/25	130/93^{b}±3/19	125/27^{b}±4/17	184/83^{a}±12/16	118/24
SD	/05^{c}14±0/61	16/78^{c}±0/60	20/91^{b}±0/76	28/88^{a}±2/29	17/01
TD	10/31^{c}±0/28	12/55^{b}±0/28	13/20^{b}±0/36	20/33^{a}±1/05	12/08
TGW	49/79^{b}±2/89	48/47^{b}±2/84	63/39^{b}±3/71	106/67^{a}±10/82	54/94
GY	16/49^{c}±1/66	25/41^{bc}±1/63	30/72^{b}±2/13	51/95^{a}±6/22	24/01
%P	0/10^{ab}±0/004	0/06^{c}±0/004	0/11^{a}±0/01	0/08^{bc}±0/02	0/09

PH: ارتفاع بوته (سانتی متر)؛ SD: قطر ساقه؛ TD: قطر طبق (سانتی متر)؛ TGW: وزن هزار دانه (گرم)؛ GY: عملکرد دانه (گرم بر بوته)؛ P%: درصد فسفر.

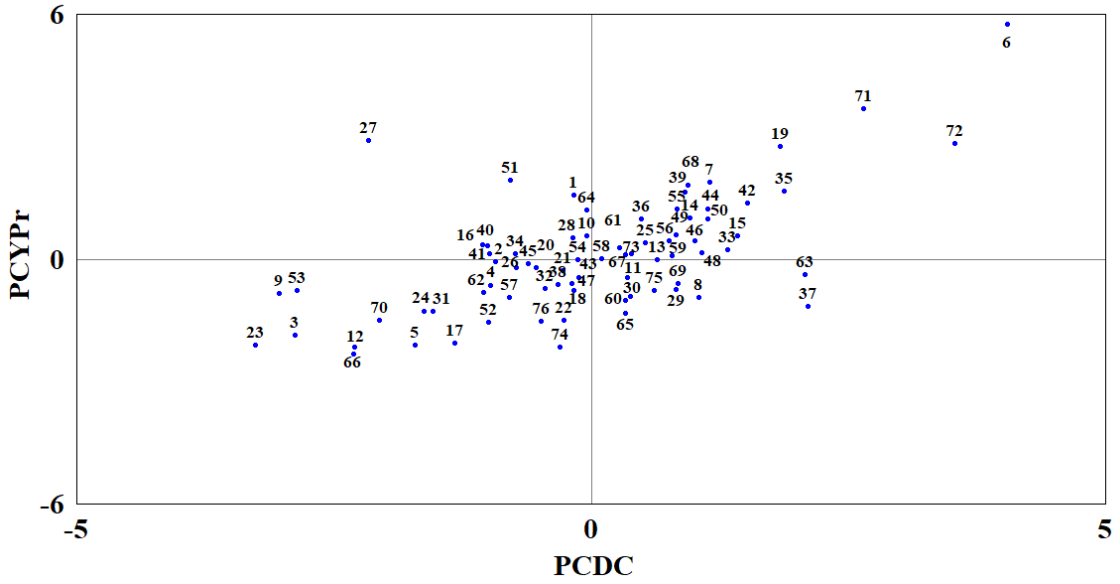
جدول 9- نتایج مقایسه میانگین گروه‌های تجزیه خوشه‌ای در 76 لاین آفتابگردان روغنی تحت شرایط کمبود فسفر (میانگین±اشتباه معیار)
Table 9. Results of means compression of cluster analysis groups in 76 oilseed sunflower lines under phosphorus deficiency condition (means±SE)

صفات	خوشه 1	خوشه 2	خوشه 3	خوشه 4	میانگین کل
تعداد لاین	15	34	2	35	76
PH	79/33^{c}±4/35	102/86^{b}±2/89	136/17^{a}±11/90	121/29^{ab}±3/37	105/16
SD	10/55^{c}±0/73	13/22^{c}±0/48	25/49^{a}±1/99	19/75^{b}±0/56	15/16
TD	7/48^{c}±0/36	9/27^{b}±0/24	14/25^{a}±0/96	12/98^{a}±0/28	10/27
TGW	42/20^{b}±3/54	46/88^{b} ±2/35	96/67^{a}±9/71	95/81^{a}±2/75	51/52
GY	8/23^{b}±2/24	12/29^{b}±1/49	19/35^{b}±6/14	32/12^{a}±1/74	18/20
%P	0/06^{b}±0/003	0/04^{c}±0/002	0/11^{a}±0/01	0/04^{c}±0/003	0/05

PH: ارتفاع بوته (سانتی متر)؛ SD: قطر ساقه؛ TD: قطر طبق (سانتی متر)؛ TGW: وزن هزار دانه (گرم)؛ GY: عملکرد دانه (گرم بر بوته)؛ P%: درصد فسفر

شاخص تحمل چند متغیره MFVD

برای انتخاب لاین‌های با عملکرد بالا و متحمل به کمبود فسفر (لاین‌های گروه A در گروه بندی فرنادرز (5) از شاخص تحمل چند متغییره MFVD استفاده شد که برای محاسبه آن از پتاسیل جمیع صفات مورد مطالعه استفاده می‌شود. مقادیر بالای شاخص چندمتغیره MFVD ژنوتیپ‌های متحمل را شناسایی می‌کند. بنابراین بر اساس بای‌پلات حاصل لاین‌هایی از قبیل 6، 72، 71، 19، 35 به عنوان لاین‌های مطلوب که عملکرد و اجزای عملکرد بالایی داشته و کاهش کمتری در شرایط کمبود فسفر داشته‌اند معرفی می‌شوند (شکل 3). البته هر چند لاین 27 نیز از نظر صفات مورد بررسی تحت شرایط بهینه فسفر مقادیر نسبتاً بالایی داشته است ولی تحت شرایط کمبود فسفر از نظر اکثر صفات مورد بررسی کاهش بالایی را نشان داد. بنابراین این ژنوتیپ صرفاً زمانی که احتمال تنش کمبود فسفر وجود ندارد می‌توان برای کشت توصیه شود.



شکل ۳- گروه‌بندی ۷۶ لاین آفتابگردان روغنی در داخل ۴ گروه بر اساس شاخص تحمل چند متغییره MFDV که از پتانسیل جمیع صفات مورد مطالعه در کنار عملکرد در شرایط بهینه (Yp) و کمبود (Ys) برای گروه‌بندی افراد استفاده می‌نماید

Figure 3. Grouping of 76 oilseed sunflower lines into 4 groups based on MFDV multivariate tolerance index which uses all potentials of studied traits along with yield under optimum (Yp) and phosphorus deficiency (Ys) conditions for grouping individuals

نتایج حاصل از این آزمایش حاکی از آن است که کمبود فسفر باعث کاهش صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و درصد فسفر شده است، همچنین مشاهده گردید که بیشترین درصد کاهش عملکرد به ترتیب مربوط به صفات درصد فسفر و عملکرد دانه با میزان ۴۳/۵۶ و ۳۹/۹۵ و کمترین درصد کاهش عملکرد مربوط به صفات قطر ساقه و وزن هزاردانه به ترتیب با میزان ۴/۴۷ و ۶/۹۲ بوده است. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای لاین‌های ۵۱، ۲۷، ۶ و ۴۲ در خوشه‌های مشابه و مطلوب در هر دو شرایط بهینه و کمبود فسفر از نظر صفات مورد بررسی گروه‌بندی شدند. از طرفی دیگر بر اساس بای‌پلات از حاصل شاخص تحمل چند متغییره MFVD لاین‌های ۶، ۷۱، ۷۲، ۳۵ و ۱۹ به عنوان لاین‌های مطلوب و متحمل به کمبود فسفر شناسایی شدند.

تشکر و قدردانی

از دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به خاطر فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام این پژوهش و همچنین از انستیتو تحقیقات آگرونومی تولوز فرانسه به خاطر در اختیار قرار دادن بذور لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Afzal, A., M. Ashraf, S.A. Asad and M. Farooq. 2005. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed area. International Journal of Agriculture and Biology, 7(2): 207-209.
2. Akbari, P., A. Ghalavand, A.M. Modarres Sanavay and M. Agha Alikhani. 2011. The effect of biofertilizers, nitrogen fertilizer and farmyard manure on grain yield and seed quality of sunflower (*Helianthus annus* L.). Journal of Agricultural Technology, 7(1): 173-184.
3. Alam, S.M., S.A. Shah and M. Akhter. 2003. Varietal differences in wheat yield and phosphorus use efficiency as influenced by method of phosphorus application. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 25(2): 175-181.
4. Chen, X., D. Min, T.A. Yasir and Y.G. Hu. 2012. Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). Field Crops Research, 137: 195-201.
5. Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress (Ed., CG Kuo), pp: 257-270.
6. Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. Skrumsager and P. White. 2012. Function of Macronutrients. In: Marschner P (eds.), Marschner's Mineral Nutrition. Oxford, UK, Elsevier Ltd.

7. Hu, J., G. Seiler and C. Kole. 2010. Genetics, Genomics and Breeding of Sunflower. CRC Press, Clemson, USA.
8. Iranshahr, E. and E. Sepehr. 2012. Evaluation of Phosphorus Acquisition and Utilization Efficiency of Wheat Genotypes in Rock Phosphate. Journal of Water and Soil, 26(4): 968-978 (In Persian).
9. Kazemalilou, S., N. Najafi, A. Reyhanitabar and M. Ghaffari. 2018. Effects of integrated application of phosphorus fertilizer and sewage sludge on leaf chlorophyll index and some growth characteristics of sunflower under water deficit conditions. Journal of Soil Management and Sustainable, 7(4): 1-18 (In Persian).
10. Liu, H., C. Hu, X. Sun, Q. Tan, Z. Nie, J. Su, J. Liu and H. Huang. 2009. Interactive effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on grain yield and quality of *Brassica napus*. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7: 266-269.
11. López-Valdez, F., F. Fernández-Luqueño, S. Luna-Suárez and L. Dendooven. 2011. Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. Science of the Total Environment, 412-413: 257-264.
12. Lynch, J.P. 2011. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorus acquisition: tools for future crops. Plant Physiology, 156: 1041-1049.
13. Manske, G.G.B., J.I. Ortiz-Monasterio, M. Van Ginkel, R.M. Gonzalez, R.A. Fischer, S. Rajaram, and P.L.G. Vlek. 2001. Importance of P uptake efficiency versus P utilization for wheat yield in acid and calcareous soils in Mexico. European Journal of Agronomy, 14(4): 261-274.
14. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403-430. AL Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Phosphorus. p. 403-430. In AL Page et al.(ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
15. Paniego, N., R. Heinz, P. Fernandez, P. Talia, V. Nishinakamasu and H. Esteban Hopp. 2007. Sunflower. pp. 153-177. In: C. Kole (ed.), Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Vol. 2, Oilseeds. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany.
16. Pourebrahimi, M., S.M.R. Ehteshami, K. Khavazi and M. Ramezani. 2014. Evaluate the effect of seed inoculation with pseudomonas fluorescens strain 103 and application of phosphorus on nutrients uptake, chlorophyll content and biological yield of two forage barley cultivars in Fuman. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 104: 152-159 (In Persian).
17. Sander, D.H. & B. Eghball. 1999. Planting date and phosphorus fertilizer placement effects on winter wheat. Agronomy Journal, 91(4): 707-712.
18. Shaharoona, B., M. Arshad and Z.A. Zahir. 2006. Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). Letters in applied microbiology, 42(2): 155-159.
19. Shahbazi, K. and H. Besharati. 2013. Overview of agricultural soils fertility status. Journal Management System, 1(1): 1-15.
20. Shoghi-Kalkhoran, S., A. Ghalavand, S.A.M. Modarres-Sanavy, A. Mokhtassi Bidgoli, and P. Akbari. 2013. Integrated fertilization systems enhance quality and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Agricultural Science and Technology, 15: 1343-1352.
21. Soleimani Gezeljeh, A., R. Darvishzadeh, A. Ebrahimi and M.R. Bihamta. 2016. Study of genetic diversity of oily sunflower lines under normal and limited irrigation conditions. Modares Journal of Biotechnology, 7(1): 55-70 (In Persian).

Evaluation of the Response of Oilseed Sunflower Pure Lines (*Helianthus annuus* L.) Under Phosphorus Deficiency Condition

Maryam Rasoulzadeh Aghdam[1], Reza Darvishzadeh[2, 3], Ebrahim Sepehr[4] and Hadi Alipour[5]

1- M.Sc. in Plant Breeding, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
2- Professor, Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
3- Professor, Institute of Biotechnology, Urmia University, Urmia, Iran
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
5- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, (Corresponding author: ha.alipour@urmia.ac.ir)
Recived: November 27, 2019 Accepted: January 28, 2020

Abstract

Phosphorus is one of the most nutrient elements in plants that has multiple structural roles in the cell and catalytic function of the enzymes involved in metabolism. Due to low phosphorus availability in calcareous soils and differences in plant genotypes in soil phosphorus uptake, identification and study of different genotypes with high phosphorus uptake efficiency is essential to reduce the use of chemical fertilizers. For this purpose, 76 pure sunflower lines collected from different parts of the world were investigated in two separated optimum and phosphorus deficiency conditions based on completely randomized design with three replications in Faculty of Agriculture research field, Urmia University during 2017 cropping season. In optimum condition, 0.4 g/kg triple superphosphate was added to the soil with deficient phosphorus content (7.24mg/kg) in each pot. Significant difference was observed at 1% probability level for all investigated traits including plant height, stem diameter, head diameter, thousand seed weight, grain yield and percentage of phosphorus. Oilseed sunflower lines were clustered into four clusters under both optimum and phosphorus deficiency conditions. The distribution of investigated lines in the same clusters was different under optimum and phosphorus deficiency conditions. Finally, based on the biplot of MFVD multivariate tolerance index, principal component analysis and the result of cluster analysis lines 6, 72, 71, 19, 35 were identified as desirable lines. These lines showed high grain yield and yield components and lower reduction under phosphorus deficiency condition which can be used for introduction of new hybrid varieties.

Keywords: Grain yield, Multivariate tolerance index, Oilseed sunflower, Phosphorus deficiency