

ارزیابی لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی در شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب بر اساس برخی صفات فیزیولوژیک و شاخص تحمل چندمتغیره MFDV

مریم رسول‌زاده اقدام^۱، رضا درویش‌زاده^{۲،۳}، ابراهیم سپهر^۴ و هادی علی‌پور^{۵*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- استاد، پژوهشکده زیست‌فناوری، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۴- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۵- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵)

چکیده

کمبود عناصر غذایی از تنش‌های غیرزیستی مهمی است که بر رشد و نمو گیاهان تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش، ۷۶ لاین خالص آفتابگردان روغنی جمع‌آوری شده از نقاط مختلف جهان در دو شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب به صورت مرکب بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلدانی به لحاظ برخی صفات فیزیولوژیک مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد کمبود فسفر باعث کاهش میانگین تمام صفات مورد مطالعه آفتابگردان به غیر از صفت دمای کانوپی می‌شود. لاین‌های آفتابگردان روغنی در شرایط بهینه و کمبود فسفر به ترتیب در پنج و چهار خوشه گروه‌بندی شدند. لاین‌های ۱۹، ۲۱، ۲۷، ۴۴ و ۷۱ که در شرایط بهینه فسفر در خوشه مطلوب قرار گرفته بودند، در شرایط کمبود فسفر نیز در خوشه مطلوب با عملکرد و اجزای عملکرد بالا گروه‌بندی شدند. براساس شاخص تحمل چندمتغیره MFDV برای هر یک از لاین‌ها با استفاده از ماتریس‌های نسبت و حاصل ضرب میانگین صفات مورد مطالعه در شرایط بهینه و کمبود فسفر و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس‌های حاصل محاسبه شد. براساس نتایج بای‌پلات حاصل، لاین‌های ۷۱، ۷۴، ۶۵، ۲۱، ۳۹، ۷، ۱۸ و ۱۱ به عنوان لاین‌های مطلوب و متحمل به کمبود فسفر شناسایی شدند.

واژگان کلیدی: آفتابگردان، تنوع ژنتیکی، شاخص تحمل تنش، کمبود فسفر، میزان کلروفیل

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: ha.alipour@urmia.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) گیاهی متعلق به خانواده کاسنیان (*Asteraceae*) دولپه، یک‌ساله، دیپلوئید با $2n = 2x = 34$ کروموزوم و دگرگشن می‌باشد که باروری آن عمدتاً به‌وسیله حشرات انجام می‌گیرد (Paniego et al., 1999). آفتابگردان یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی است که به‌دلیل تحمل به تنش خشکی و سازگاری با شرایط آب و هوایی مختلف در نزدیک به ۶۰ کشور جهان کشت می‌شود. سطح زیر کشت این گیاه در جهان در سال ۲۰۱۸ برابر با ۲۶۶۸۱۰۱ هکتار و میزان تولید ۵۱۹۵۴۷۷۷ تن با متوسط عملکرد ۱۹۴۸/۲۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (FAO, 2019). سطح زیر کشت آن در ایران در همین سال برابر ۳۶۷۵۱ هکتار با مقدار تولید ۵۵۱۵۶ تن برآورد شده است (Anonymous, 2019). بر اساس اطلاعات ارائه شده در سایت سازمان خوار و بار جهانی میزان تولید جهانی آفتابگردان در طول سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۷ پیوسته روند افزایشی داشته است (FAO, 2018). تولید روغن در کشور از دیرباز نتوانسته پاسخگوی تأمین میزان روغن مورد نیاز باشد و در بیشتر سال‌ها ۹۰ درصد روغن مصرفی از طریق واردات تأمین شده است (Payandeh et al., 2019). روغن آفتابگردان به‌دلیل مقادیر بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع از قبیل لینولئیک اسید (6-18:2 ω) یکی از پرمصرف‌ترین روغن‌های گیاهی در دنیا به‌حساب می‌آید.

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و پس از نیتروژن، مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید محصول به‌شمار می‌آید (Vance et al., 2003). این عنصر در ساختمان اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها، دی‌نوکلئوتیدها و آدنوزین تری‌فسفات‌ها شرکت دارد (Waraich et al., 2011). بررسی‌ها نشان داده است که مقادیر مناسب فسفر، درصد روغن و میزان پروتئین را افزایش می‌دهد. در برخی بررسی‌ها مشاهده شده است که رشد ریشه و هدایت هیدرولیکی ریشه با افزایش سطح فسفر افزایش می‌یابد (Saneoka et al., 1990; Singh and Sale, 2000). احتمالاً افزایش رشد ریشه سبب جذب و استخراج فسفر از حجم

بیشتری از خاک شده و در نتیجه آب قابل استفاده بیشتری برای گیاه فراهم می‌شود. همچنین، این امکان وجود دارد که فسفر به‌دلیل نقش آن در ذخیره‌سازی انرژی و تشکیل پروتئین‌ها، گیاه را به خشکی متحمل نماید (Jones, 2003). در آزمایش‌های مختلف مشخص شده است که کمبود فسفر می‌تواند منجر به کاهش کارایی فتوسنتز در محصولات زراعی گردد (Wissuwa et al., 2005).

خاک اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، آهکی و با pH بالاست (Kheirabadi et al., 2013). در چنین خاک‌هایی بیش از ۸۰ درصد فسفر مصرفی جذب کانی‌های خاک شده و تثبیت می‌شود و در نتیجه در جذب آن توسط گیاه اختلال ایجاد می‌شود. یکی از راه‌کارهای مقابله با این مشکل، اصلاح گیاهان با کارایی بیشتر در جذب فسفر می‌باشد که کمتر مورد توجه واقع شده است. این ژنوتیپ‌ها قادرند در شرایط کمبود فسفر، عملکرد و پایداری عملکرد بیشتری تولید نمایند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2005) گزارش کردند که در خاک‌های با فسفر قابل جذب کم، گونه‌ها و حتی ژنوتیپ‌های داخل گونه‌ها واکنش متفاوتی به تنش کمبود فسفر نشان می‌دهند. حمیدی گل‌قاسم و همکاران (Hamedi Golgasem et al., 2014) پتانسیل ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای در جذب و تجمع فسفر در ساقه و دانه ۱۰۰ ژنوتیپ جو مشاهده کردند. از عوامل مهم در کارایی جذب و مصرف بهینه فسفر می‌توان به نحوه گسترش ریشه، قطر و سطح جذب ریشه، تراکم ریشه‌های موئین در سطح ریشه، دوام و ماندگاری ریشه اشاره کرد که معمولاً تنوع ژنتیکی گسترده‌ای بین ژنوتیپ‌ها از این لحاظ مشاهده می‌شود. علاوه بر این، برخی ژنوتیپ‌ها به‌دلیل ترشح و آزادسازی مواد اسیدی و پایین آوردن pH ریزوسفر قادرند مقدار بیشتری فسفر از خاک جذب نمایند (Lynch, 2011).

اگرچه مهم‌ترین معیار انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، عملکرد دانه است، با این حال محققان نشان داده‌اند که گزینش براساس صفات فیزیولوژیک منجر به تداوم دوره فتوسنتزی و استفاده بهینه از مواد فتوسنتزی شده و بنابراین بهتر است گزینش و غربال کردن ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های

گرمابه‌صورت روزانه انجام گرفت. در مرحله گلدهی صفات مختلف از قبیل میزان کلروفیل با استفاده از SPAD قبل از ظهر حدود ساعت ۱۰ الی ۱۲ قبل از گرم شدن هوا، دمای کانوبی توسط دماسنج مادون قرمز، درصد روغن، درصد فسفر بوته، محتوای نسبی آب برگ (درصد) و عملکرد تک بوته (برحسب گرم) به‌صورت زیر اندازه‌گیری شدند.

درصد روغن: مقدار پنج گرم دانه آفتابگردان به‌وسیله‌ی دستگاه خردکن به‌صورت پودر در آمد. سپس یک گرم از نمونه انتخاب و داخل کاغذ صافی قرار داده شد. وزن نمونه به همراه وزن کاغذ صافی و گیره تحت عنوان وزن اولیه (LW) یادداشت گردید. نمونه داخل لوله‌ی سوکسله قرار داده شد. داخل بالن سوکسله ماده‌ی ان-هگزان به مقدار ۱۰۰ سی‌سی ریخته شده و دستگاه روشن گردید و بعد از پنج ساعت دستگاه خاموش شد. سپس نمونه از دستگاه خارج و داخل آون خشک گردید. دوباره نمونه وزن شده که تحت عنوان وزن ثانویه (SW) یادداشت گردید. در نهایت با استفاده از رابطه (۱) درصد روغن محاسبه شد (Eyvazzadeh et al., 2010).

$$\text{روغن} (\%) = \frac{(SW - (1 - LW))}{1} \times 100 \quad (1)$$

درصد فسفر: پس از رسیدگی فیزیولوژیک، طبق‌ها برداشت و در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. بعد از برداشت طبق، بوته‌ها از سطح گلدان کف‌بر شده و در دمای ۷۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. پس از آسیاب شدن بوته‌ها، غلظت فسفر بوته در هر یک از ژنوتیپ‌ها به روش کالری‌متری (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و وسترن (Westerman, 1990) اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب برگ^۱ (RWC): برای محاسبه‌ی محتوای نسبی آب برگ ابتدا جوان‌ترین برگ با توسعه کامل در بوته‌ها انتخاب شده و بلافاصله بعد از برداشت در داخل کیسه فریزر قرار داده شده و برای جلوگیری از هدر رفتن رطوبت برگ در درون یخ به آزمایشگاه انتقال داده شد.

مختلف به‌نژادی بر اساس صفات فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد دانه انجام پذیرد (Amini et al., 2016; Askari, 2018). بنابراین و با توجه به توضیحات ارائه شده، این آزمایش با هدف مطالعه و ارزیابی عملکرد دانه، درصد روغن و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ۷۶ لاین خالص آفتابگردان روغنی در شرایط بهینه و کمبود فسفر خاک انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طرح آزمایشی: تعداد ۷۶ لاین خالص آفتابگردان روغنی که از چندین مرکز تحقیقاتی (جدول ۱) تهیه شده و در دو شرایط کمبود و بهینه فسفر خاک در شرایط گلدانی ارزیابی شدند. برای این منظور، ۴۵۶ گلدان ۱۵ کیلوگرمی تهیه و به دو دسته ۲۲۸ تایی تقسیم شدند. از چندین نوع خاک بر اساس نتایج تجزیه خاک، خاک با میزان فسفر پایین (۷/۲۴۰ mg/kg) انتخاب شد (جدول ۲) که حد بحرانی فسفر خاک برای آفتابگردان ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک ذکر شده است (Malakouti and Gheibi, 2000).

خاک مورد نظر با کودهای سولفات پتاسیم به مقدار g/pot ۱۳/۵، سکوسترین آهن به مقدار g/pot ۱/۵، سولفات منگنز به مقدار g/pot ۰/۲۲۵، سولفات روی به مقدار g/pot ۰/۹۹، سولفات مس به مقدار g/pot ۰/۳ و اسیدبوریک به مقدار g/pot ۰/۲۱ تقویت شد. گلدان‌ها با خاک تقویت شده و ماسه به نسبت دو به یک پر شدند. در آزمایش مربوط به شرایط بهینه فسفر، خاک علاوه‌بر کودهای ذکر شده با کود سوپرفسفات تریپل به مقدار g/pot ۶ نیز تقویت شد. گلدان‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محوطه آزاد چیده شدند. در هر گلدان ۴ عدد بذر کشت شد. بعد از سبز شدن دو بوته در هر گلدان نگهداری شد. در ابتدا گلدان‌ها به مدت دو هفته با آب-پاش به‌صورت دستی آبیاری شده و بعد از آن از روش آبیاری قطره‌ای استفاده شد.

در مراحل اولیه‌ی آزمایش آبیاری گلدان‌ها به‌مدت سه روز یک‌بار، ولی بعد از سبز شدن کامل و مصادف بودن با فصل

جدول ۱- مشخصات لاین‌های آفتابگردان روغنی مورد مطالعه

Table 1. The list of studied oily sunflower lines

کد	نام لاین	نام کشور	نام مرکز تحقیقاتی	کد	نام لاین	نام کشور	نام مرکز تحقیقاتی
Code	Name of line	Name of country	Name of research center	Code	Name of line	Name of country	Name of research center
1	H209A/LC1064	France	ASGROW	39	HA337B	USA	USDA
2	AS5306	France	ENSAT	40	H100B	France	ASGROW
3	RHA858	USA	USDA	41	B454/03	Hungary	-
4	H209A/83HR4	France	ASGROW	42	HA304	USA	USDA
5	AS3211	France	ENSAT	43	RT931	France	RUSTICA
6	ENSAT-254	France	ENSAT	44	HA335B	USA	USDA
7	AS5304	France	ASGROW	45	NS_B5	France	NOVARTIS
8	(K100)1009329.2	France	ENSAT	46	NS-R5	France	NOVARTIS
9	ENSAT-270	France	ENSAT	47	DM-2	USA	USDA
10	AS613	France	ASGROW	48	H156A/RHA274	France	ASGROW
11	H100A/LC1064	France	ASGROW	49	SDB1	USA	USDA
12	RHA266	USA	USDA	50	HAR-4	USA	USDA
13	PAC2	France	ENSAT	51	AS5305	France	ASGROW
14	H157A/LC1064	France	ASGROW	52	RHA274	USA	USDA
15	DES20QR5	France	BRN	53	H158A/H543RB	France	ASGROW
16	(K100)1009337	France	ENSAT	54	H100A/RHA274	France	ASGROW
17	AS3232	France	ENSAT	55	H209A/H566R	France	ASGROW
18	ASB28	France	ASGROW	56	ASO-1-POP-A	France	ENSAT
19	SSD-580	France	ASGROW	57	B-F1POPB	France	NOVARTIS
20	ENSAT699	France	ENSAT	58	D34	USA	USDA
21	SSD-581	France	ASGROW	59	CAY	France	ENSAT
22	Oct-59	Iran	SPII	60	NS-F1-A5*R5	France	NOVARTIS
23	H603R	France	INRAMONT	61	36	Iran	SPII
24	4	Iran	SPII	62	38	Iran	SPII
25	CHLORINA-703	France	ENSAT	63	SDB2	France	INRAMONT
26	NSF1-A4*R5	France	NOVARTIS	64	H158A/LC1064	-	-
27	28	Iran	SPII	65	H543R/H543R	France	ASGROW
28	30	Iran	SPII	66	H543R	France	-
29	1-803	Serbia	IFVC	67	15038	France	ASGROW
30	(K100)1-1009370	France	ENSAT	68	SF076	France	ENSAT
31	CSWW2X	France	Caussade semences	69	A*LC1064C8	-	-
32	H158A/H543R-A	France	ASGROW	70	SF085	France	ENSAT
33	H100A	France	ASGROW	71	SF092	-	-
34	H205A/83HR4	France	ASGROW	72	HC91	Iran	SPII
35	PM1-3	USA	USDA	73	Oct-59	Iran	SPII
36	RT948	France	RUSTICA	74	H-100A-90RL8	Iran	SPII
37	QHP-1	France	INRAMONT	75	SF105	France	ENSAT
38	SDR19	USA	USDA	76	SF-023	-	-

جدول ۲- 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 oily sunflower lines under optimal and phosphorus deficiency conditions

مورد	کربن آلی (%)	نوع بافت	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	آهک (%)	pH عصاره	هدایت عصاره (ds/m)
Item	Organic carbon	Type of texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Lime (%)	pH of extract	Electrical conductivity (ds/m)
میزان	0.74	لومی-رسی	50	30	30	31.5	7.92	0.78
		Lomy-Clay						
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)
Item	Organic matter	Zn	Fe	Mn	Cu	Absorbable phosphorus		Absorbable potassium
میزان	1.28	0.11	11	10.3	1.3	7.24		102
Rate								

لاین‌های با عملکرد بالا و متحمل به کمبود فسفر با استفاده از پتانسیل مجموع صفات در هر یک از شرایط مورد مطالعه، شاخص تحمل چندمتغیره MFVD (Chen et al., 2012) محاسبه گردید. بدین صورت که برای تفکیک چهار گروه ارائه شده توسط فرناندز (Fernandez, 1992)، ابتدا 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 حاصل ضرب 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 مؤلفه‌های مقادیر ویژه بالاتر از یک داشتند به عنوان مؤلفه‌های اصلی انتخاب شدند. در نهایت برای تشکیل ناحیه‌های A، B، C و D نمودار بای پلات با $X_{axis} = \sum_{i=1}^n DC_{PCSi}$ و $Y_{axis} = \sum_{i=1}^n YPr_{PCSi}$ ترسیم گردید که در آن‌ها $\sum_{i=1}^n DC_{PCSi}$ و $\sum_{i=1}^n YPr_{PCSi}$ به ترتیب مجموع مؤلفه‌های معنی‌دار برای مقادیر DC و YPr را نشان می‌دهند.

نتایج و بحث

ارزیابی واکنش فیزیولوژیک لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی در برابر کمبود فسفر: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی لاین در تمامی صفات مورد بررسی و اثر اصلی شرایط تنش در تمامی صفات به غیر از میزان دمای کانوپی و کلروفیل معنی‌دار بود. اثر متقابل لاین $\times$ شرایط در تمامی صفات به غیر از درصد روغن و محتوی نسبی آب برگ معنی‌دار شد (جدول ۳) که بیانگر واکنش متفاوت

سپس برگ‌ها به صورت دیسک‌هایی به اندازه‌ی یک سکه برش داده شده و وزن تازه‌ی آن‌ها^۱ (FW) ثبت گردید. سپس نمونه‌ها داخل پتری دیش‌های جداگانه که حاوی آب مقطر بود به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا به حالت کاملاً اشباع برسند، سپس نمونه‌ها از پتری دیش در آورده شده و توسط کاغذ صافی خشک گردیدند و وزن آماس یافته^۲ (SW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله‌ی آخر نمونه‌ها داخل پاکت کاغذی قرار داده شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند و وزن خشک^۳ (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد، سپس محتوای نسبی آب برگ با رابطه (۳) محاسبه شد (Barrs and Weatherley, 1962).

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{Oil} = (\text{SW} - (1 - \text{LW})) - 1 \times 100$$

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{RWC} = \left[\frac{\text{FW} - \text{DW}}{\text{SW} - \text{FW}} \right] \times 100$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها: بعد از ارزیابی مفروضات تجزیه واریانس شامل آزمون همگنی واریانس‌ها و نرمال بودن توزیع اشتباهات آزمایشی تجزیه واریانس صفات با رویه مدل خطی عمومی (General linear model, GLM) در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ بررسی گردید. میانگین حسابی و درصد کاهش صفات در شرایط کمبود فسفر نسبت به شرایط بهینه فسفر^۴ برای هر یک از لاین‌ها محاسبه گردید. گروه‌بندی لاین‌های آفتابگردان بر اساس کل صفات مورد مطالعه در هر یک از شرایط بهینه و کمبود فسفر با استفاده از تجزیه خوشه‌ای براساس از میانگین داده‌ها و بعد از استاندارد کردن آن‌ها با معیار فاصله اقلیدسی و حداقل واریانس وارد در نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ انجام گرفت. برای تعیین تعداد گروه‌ها، تجزیه واریانس بر مبنای طرح کاملاً تصادفی نامتعادل انجام شده و سپس مقایسه میانگین گروه‌ها برای هر یک از صفات با روش SNK (Student Newman Keuls) در سطح احتمال پنج درصد در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام گرفت. در نهایت برای انتخاب

1- Fresh weight
2- Saturated weight
3- Dried weight

4- $\frac{X_p - X_s}{X_p} \times 100$ ؛ به ترتیب نشان دهنده میانگین صفت در شرایط بهینه و کمبود فسفر می‌باشد.

لاین‌های مورد بررسی نسبت به شرایط بهینه و کمبود فسفر می‌باشد. درصد ضریب تغییرات صفات در جدول تجزیه واریانس از ۶/۶۴ (دمای کانوپی) تا ۳۵/۰۵ (درصد فسفر) متغیر بود (جدول ۳). در شرایط بهینه فسفر میانگین همه صفات به غیر از میزان کلروفیل و دمای کانوپی بیشتر از شرایط کمبود فسفر مشاهده شد. بیشترین کاهش در صفات درصد فسفر بوته و عملکرد دانه و کمترین کاهش در محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (جدول ۴). فسفر برخلاف عناصری مانند منیزیم و آهن که جزء سازنده کلروفیل بوده و یا در مراحل بیوسنتز این ترکیب دخالت می‌کنند، به طور مستقیم در سنتز و ساختار کلروفیل نقش ندارد (Lynch et al., 1991; Andersson et al., 2003; Abadia et al., 1987). آبادیا و همکاران (Hawkesford et al., 2012) و بالمی (Balemi, 2009) نیز در شرایط کمبود فسفر کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل مشاهده نکردند. با این حال زو و همکاران (Xu et al., 2007) تحت شرایط کمبود فسفر کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل و نرخ انتقال الکترون در برنج مشاهده نمودند.

غلظت فسفر بوته و عملکرد دانه: میانگین عملکرد دانه در شرایط بهینه فسفر برابر ۲۶/۳۷ و در شرایط کمبود فسفر برابر ۱۵/۶۰ بود که در مقایسه دو شرایط مقدار آن ۴۱ درصد کاهش یافته است. در شرایط بهینه فسفر بیشترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در لاین‌های ۲۷، ۶۴، ۲۱، ۳۹ و ۱۹ و کمترین میزان در لاین‌های ۸، ۶۹، ۷۵، ۱ و ۷۶ مشاهده شد. در شرایط کمبود فسفر بیشترین میزان عملکرد دانه در لاین‌های ۳۹، ۲۱، ۷، ۱۹ و ۷۱ و کمترین میزان به ترتیب در لاین‌های ۸، ۵۵، ۵۹، ۱۲ و ۲۳ مشاهده شد (جدول ۴).

میانگین درصد فسفر در اندام هوایی در شرایط بهینه فسفر برابر با ۰/۰۹ و در شرایط کمبود فسفر برابر با ۰/۰۵ بود که در مقایسه دو شرایط مقدار آن ۴۶ درصد کاهش یافته است. در شرایط بهینه فسفر بیشترین میزان درصد فسفر در اندام هوایی به ترتیب در لاین‌های ۶۶، ۱۱، ۵۳ و ۱ به میزان ۰/۱۶

۰/۱۶، ۰/۱۵ و ۰/۱۳ درصد و کمترین میزان به ترتیب در لاین‌های ۷۲، ۷۱، ۱۴ و ۴۱ به میزان ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۰۴ و ۰/۰۵ درصد مشاهده شد. در شرایط کمبود فسفر بیشترین میزان درصد فسفر در اندام هوایی به ترتیب در لاین‌های ۶، ۵۵، ۵ و ۱ به میزان ۰/۱۰، ۰/۰۸، ۰/۰۸ و ۰/۰۸ درصد و کمترین میزان به ترتیب در لاین‌های ۹، ۱۲ و ۵۷ به میزان ۰/۰۲ درصد مشاهده شد (جدول ۴). پاسخ متفاوت لاین‌های آفتابگردان روغنی نسبت به جذب و استفاده از فسفر ناشی از تنوع ژنتیکی بین لاین‌ها می‌باشد. بهاری و پیردشتی (Bahari and Pirdashti, 2013) نیز در آزمایش خود بر روی گندم مشاهده کردند که مصرف کودهای زیستی حل‌کننده فسفر منجر به افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود. نوتال و همکاران (Nuttall et al., 1992) در مطالعات خود بر روی گیاه کلزا با مصرف ۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بالاترین عملکرد دانه و کاه را به دست آوردند، در صورتی که کیما و همکاران (Cheema et al., 2001) میزان ۶۰ کیلوگرم فسفر را برای حصول عملکرد مطلوب پیشنهاد نمودند.

درصد روغن: میانگین درصد روغن در شرایط بهینه فسفر برابر ۳۹/۱۰ و در شرایط کمبود فسفر برابر ۳۴/۲۵ بود به طوری که در شرایط کمبود فسفر درصد روغن ۱۲/۳۹ درصد کاهش یافته است. در شرایط بهینه فسفر بیشترین درصد روغن به ترتیب در لاین‌های ۷۱، ۷۰، ۶۴، ۴۵، ۶۳ و ۵۶ و کمترین درصد روغن به ترتیب در لاین‌های ۶، ۸، ۵۱ و ۶۷ مشاهده شد. در شرایط کمبود فسفر بیشترین درصد روغن به ترتیب در لاین‌های ۷۱، ۷۰، ۴۵ و ۱۱ و کمترین درصد به ترتیب در لاین‌های ۸، ۳۴ و ۶ مشاهده شد (جدول ۴). وحید و همکاران (Wahid et al., 2009) در بررسی تأثیر منابع مختلف کودهای فسفات بر عملکرد دو رقم کلزا گزارش نمودند که تفاوت معنی‌داری بین منابع مختلف کودی وجود ندارد، اما بین دو رقم مورد نظر از نظر عملکرد و اجزا عملکرد و کیفیت روغن تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در مقابل وتر و همکاران (Wetter et al., 1970) و هولمز و آینسلی (Holmes and Ainsley, 1978) در

تحقیقات خود گزارش کردند که کود فسفر تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان روغن دانه کلزا ندارد.

محتوای نسبی آب برگ: میانگین محتوای نسبی آب برگ در شرایط بهینه فسفر برابر ۷۶/۲۵ و در شرایط کمبود فسفر برابر ۷۲/۹۱ بود به طوری که در شرایط کمبود فسفر محتوای نسبی آب برگ ۴/۳۷ درصد کاهش یافته است. بر اساس میانگین محتوای نسبی آب برگ در دو شرایط بهینه و کمبود فسفر مشاهده گردید که لاین‌های ۵۸، ۲۳ و ۵۵ به ترتیب دارای بالاترین و لاین‌های ۱۳، ۱۷، ۴۷، ۲۲ و ۴۶ دارای کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ بودند (جدول ۴).

دمای کانوپی: میانگین دمای کانوپی در شرایط بهینه فسفر برابر ۲۵/۶۰ و در شرایط کمبود فسفر برابر ۲۵/۷۴ بود به طوری که در شرایط کمبود فسفر دمای کانوپی ۰/۵۶ درصد افزایش یافته است. در شرایط بهینه فسفر بیشترین دمای کانوپی به ترتیب در لاین‌های ۴۰، ۴۷ و ۶۶ به مقدار ۲۸/۷۹، ۲۸/۶۰ و ۲۸/۶۰ و کمترین دمای کانوپی به ترتیب

در لاین‌های ۲۱، ۲۹، ۳۱ و ۴۳ با مقدار ۲۱/۶۰، ۲۲/۲۴، ۲۲/۳۷ و ۲۲/۴۷ مشاهده شد. در شرایط کمبود فسفر بیشترین دمای کانوپی به ترتیب در لاین‌های ۸، ۳۶، ۲۴ و ۲۳ با مقدار ۳۳/۰۸، ۲۹/۶۴، ۲۹/۳۷ و ۲۹/۱۰ و کمترین درصد به ترتیب در لاین‌های ۷۳، ۶۱ و ۶۵ با مقدار ۲۱/۱۹، ۲۱/۶۸ و ۲۱/۸۱ مشاهده شد (جدول ۴).

میزان کلروفیل برگ: بر اساس نتایج آزمایش مشاهده گردید که تحت شرایط بهینه فسفر لاین‌های ۱۹، ۲۰، ۱۸ و ۲۷ به ترتیب بیشترین و لاین‌های ۷۳، ۴۵ و ۶۱ به ترتیب کمترین میزان کلروفیل را داشتند. در شرایط کمبود فسفر لاین‌های ۷۱، ۶۵، ۶۴ و ۲۱ به ترتیب بیشترین و لاین‌های ۵۶، ۲۸، ۲۳، ۷۶ و ۴۱ به ترتیب کمترین میزان کلروفیل را داشتند (جدول ۴). حاجی‌بلند و همکاران (Hajiboland et al., 2014) گزارش کردند که تنش فسفر باعث کاهش وزن خشک و کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل در گوجه‌فرنگی می‌شود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات مختلف در لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر

Table 3. Results of combined analysis of variance for the studied traits in oily sunflower lines under optimal and phosphorus deficiency conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		درصد فسفر Percent of phosphorus	درصد روغن Oil percentages	عملکرد دانه Grain yield	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	دمای کانوپی Canopy temperature	میزان کلروفیل Chlorophyll content
شرایط Conditions	1	0.1795**	2672.842**	13224.375**	1267.849**	2.380 ^{ns}	213.200 ^{ns}
لاین Line	75	0.0025**	155.866**	630.813**	185.562**	10.356**	408.440**
لاین × شرایط Line×Conditions	75	0.0009**	14.709 ^{ns}	109.185**	82.324 ^{ns}	11.609**	173.866**
خطا Error	304	0.005	13487	46.925	98.782	2.903	67.558
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	-	35.05	10.01	32.65	13.33	6.64	19.78

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}، * and **: Not-significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- آمارهای توصیفی در لاین‌های آفتابگردان روغنی تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر

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

کد Code	درصد فسفر Phosphorus percentage		درصد روغن Oil percentages		درصد کاهش Reduction rate		درصد دانه Gain yield		درصد آب برگ Relative water content		درصد کانونی Canopy temperature		درصد کاهش Reduction rate		میزان کلروفیل Chlorophyll content		درصد کاهش Reduction rate		LV ²
	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	بهینه Sufficiency	کمبود Deficiency	
1	0.14	0.08	40.98	36.33	34.00	6.42	11.63	9.63	17.19	79.56	76.71	24.86	25.03	-0.72	42.17	36.33	13.83	1	0
2	0.08	0.03	62.5	40.00	36.67	8.33	29.43	10.03	63.91	67.80	72.57	24.97	26.06	4.36	43.47	32.07	26.23	0	0
3	0.09	0.03	66.67	40.33	35.67	11.57	32.10	23.97	25.34	73.65	72.35	25.03	27.62	-10.34	35.07	31.27	10.84	0	1
4	0.07	0.04	39.55	37.33	33.33	10.71	19.23	8.23	57.19	89.37	72.97	24.34	26.63	-9.40	34.03	33.53	1.47	0	0
5	0.14	0.08	38.23	37.67	35.00	7.08	12.43	10.10	18.77	80.31	80.30	28.02	27.48	1.94	58.57	37.47	36.03	1	0
6	0.11	0.10	3.74	23.00	20.00	13.04	40.07	14.47	63.89	77.65	77.43	26.8	26.22	2.40	36.87	37.43	-1.54	1	1
7	0.06	0.04	24.39	33.67	32.67	2.97	39.53	37.80	4.38	76.44	72.41	23.87	25.94	-8.71	35.23	41.10	-16.65	1	0
8	0.08	0.05	37.01	19.00	20.83	4.97	2.23	55.03	74.87	83.53	-11.56	25.3	33.08	-31.09	31.17	43.90	-40.86	0	3
9	0.10	0.02	80.15	31.00	11.43	46.10	24.17	47.58	72.06	71.40	0.93	26.59	25.39	4.51	33.93	44.90	-32.32	0	1
10	0.05	0.04	27.63	40.33	38.00	5.79	17.73	10.17	42.67	73.04	66.09	23.83	24.44	-2.56	29.23	30.73	-5.13	0	1
11	0.16	0.07	57.29	42.33	41.67	1.57	24.57	21.37	13.03	70.50	73.73	25.89	26.39	-1.93	57.27	43.90	23.34	1	0
12	0.07	0.02	67.16	39.00	36.33	6.84	14.33	4.60	67.91	71.43	62.49	27.53	24.88	9.64	30.30	36.73	-21.23	0	2
13	0.09	0.05	45.85	33.67	28.33	15.84	23.10	15.87	31.31	62.61	61.64	26.47	25.47	3.78	40.13	35.10	12.54	2	0
14	0.04	0.03	24.44	38.33	32.67	14.78	22.53	13.57	39.79	84.20	71.79	23.72	26.22	-10.54	41.07	36.47	11.20	0	0
15	0.06	0.04	22.36	33.67	31.00	7.92	20.57	19.90	3.24	78.72	78.72	25.87	27.79	-7.43	38.67	42.87	-10.86	0	0
16	0.12	0.07	37.87	39.00	33.00	15.38	29.77	10.97	63.16	76.76	53.55	27.28	27.36	-0.29	48.47	40.93	15.54	1	1
17	0.08	0.04	50.65	36.00	32.00	11.11	17.67	15.07	14.72	69.49	58.08	25.28	24.44	3.30	41.37	46.37	-12.09	0	1
18	0.14	0.05	61.48	42.33	39.33	7.09	24.20	22.07	8.82	76.38	79.26	27.09	25.79	4.80	64.07	57.50	10.25	1	0
19	0.08	0.06	28.17	46.33	41.33	10.79	53.23	36.07	32.25	75.75	72.29	24.97	27.04	-8.32	73.57	47.77	35.07	2	0
20	0.09	0.05	46.26	32.33	32.00	1.03	17.43	9.80	43.79	80.38	77.29	23.52	27.54	-17.10	66.93	49.30	26.34	0	0
21	0.11	0.05	54.42	41.00	39.33	4.07	56.77	41.77	26.42	81.75	76.57	21.60	24.58	-13.79	55.70	60.23	-8.14	2	0
22	0.12	0.07	43.09	35.00	33.33	4.76	16.83	14.53	13.66	70.38	65.87	22.79	24.03	-5.46	48.93	42.57	13.01	1	0
23	0.14	0.04	68.14	33.33	30.33	9.00	25.37	5.03	80.16	87.01	87.01	25.96	29.10	-12.13	43.13	29.83	12.60	1	3
24	0.09	0.04	50.95	38.33	35.00	8.70	18.53	5.10	72.48	86.24	76.42	27.40	29.37	-7.18	34.10	32.87	3.62	1	2
25	0.08	0.06	27.86	37.33	36.33	2.68	18.67	9.35	49.91	75.59	78.38	25.84	26.61	-2.97	48.37	30.27	37.42	0	1
26	0.08	0.05	42.25	40.67	38.67	4.92	24.90	7.53	69.75	77.73	73.51	25.11	26.52	-5.62	38.83	46.77	-20.43	0	0
27	0.10	0.04	55.98	39.67	36.00	9.24	71.57	24.37	65.95	74.50	88.25	24.50	24.00	2.04	63.67	51.60	18.95	1	0
28	0.09	0.03	62.06	35.00	30.00	14.29	34.40	16.50	52.03	82.44	67.99	22.68	25.13	-10.83	40.30	29.30	27.30	0	1
29	0.08	0.05	47.52	36.33	29.33	19.27	15.87	12.93	18.49	96.03	69.11	22.24	28.33	-27.37	43.80	52.77	-20.47	1	2
30	0.08	0.04	53.73	40.33	33.33	17.36	21.10	14.70	30.33	65.52	66.16	23.92	27.16	-13.52	36.27	51.00	-40.63	0	1
31	0.06	0.03	52.55	43.00	34.00	20.93	22.00	13.90	36.82	81.10	73.83	22.37	23.91	-6.91	31.37	47.27	-50.69	0	1
32	0.12	0.07	40.78	29.33	17.76	19.53	13.31	31.88	75.01	72.47	3.39	27.01	27.42	-1.52	48.67	47.93	1.51	1	0
33	0.06	0.04	33.21	33.67	32.33	3.96	22.60	20.53	9.14	70.82	80.82	23.31	27.84	-19.45	45.47	37.50	17.52	0	1
34	0.10	0.04	63.30	37.00	19.67	46.85	38.77	13.77	64.49	71.29	72.86	24.18	25.50	-5.47	51.40	48.87	4.93	0	1
35	0.05	0.05	9.59	43.67	39.33	9.92	17.10	9.17	46.39	77.13	71.48	26.69	28.96	-8.49	35.27	42.53	-20.60	0	1
36	0.06	0.03	44.08	41.00	34.67	15.45	38.70	30.60	20.93	60.78	68.05	25.62	29.64	-15.70	38.30	42.63	-11.31	1	2
37	0.12	0.06	49.35	40.00	38.33	4.17	15.60	12.10	22.42	74.30	74.30	2.47	26.10	-2.49	36.37	38.60	-6.14	0	0
38	0.05	0.03	43.60	33.67	29.33	12.8	16.37	9.83	39.92	75.21	72.01	26.13	26.90	-2.93	36.23	33.07	8.74	0	1
39	0.09	0.07	23.45	40.33	36.67	9.09	55.33	46.73	15.34	71.52	64.30	26.01	26.01	0.00	31.77	45.13	-42.08	0	1
40	0.08	0.03	61.33	36.00	29.00	19.44	35.33	19.50	44.81	74.59	76.25	28.79	26.10	9.34	40.87	52.57	-28.63	0	1
41	0.05	0.03	39.92	38.33	28.67	25.22	27.70	11.73	57.64	80.48	68.33	22.93	27.63	-20.49	39.60	29.93	24.41	0	2
42	0.13	0.08	38.44	35.33	28.67	18.87	24.23	16.03	33.84	79.33	82.22	23.54	25.62	-8.82	39.27	55.33	-40.92	1	1
43	0.09	0.04	55.80	42.00	31.67	24.60	39.93	30.10	24.62	65.26	78.51	22.47	24.64	-9.69	43.67	48.00	-9.92	1	0
44	0.08	0.05	35.41	45.67	39.33	13.87	48.80	33.47	31.42	84.19	79.83	23.50	24.51	-4.30	54.57	41.33	24.25	2	0
45	0.07	0.04	41.68	47.67	42.33	9.09	33.20	17.70	46.69	80.23	75.06	24.29	23.27	4.21	26.73	36.03	-34.79	1	0

Table 4. Continued

۱. بالاترین میانگین برای صفت X در شرایط کمبود فسفر

1. Maximum mean value for x characteristic in phosphorous deficiency condition

۲. پایین ترین میانگین برای صفت X در شرایط کمبود فسفر.

2. Minimum mean value for x characteristic in phosphorous deficiency condition

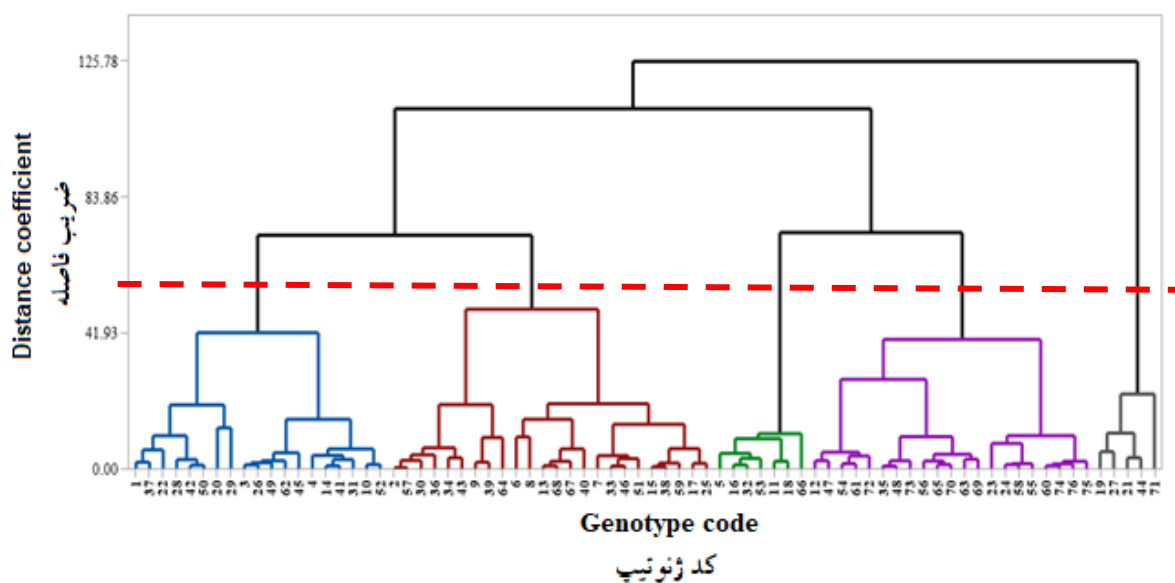
۳۴. درصده ضریب تغییرات

3. Coefficient of variation

شرایط بهینه فسفر خوشه پنجم شامل لاین‌های ۱۹، ۲۱، ۲۷، ۴۴ و ۷۱، از نظر صفات عملکرد دانه، درصد روغن، محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل میانگین بالاتری را در مقایسه با سایر خوشه‌ها نشان داد ولی این خوشه از نظر صفت درصد فسفر مقدار عددی پایینی نشان داد. در حالی‌که خوشه سوم از نظر صفت درصد فسفر هرچند مقدار عددی بالاتری داشت ولی از نظر سایر صفات مقدار نسبتاً متوسطی نشان داد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در شرایط بهینه فسفر توانایی جذب بالای فسفر در اندام‌های هوایی ممکن است باعث تجمع در بافت‌ها شده و کمک شایانی در افزایش عملکرد نداشته باشد. در شرایط کمبود فسفر خوشه چهارم از نظر صفات عملکرد دانه، میزان کلروفیل، درصد روغن و محتوای نسبی آب برگ بالاتری را در مقایسه با سایر خوشه‌ها نشان داد. قابل توجه اینکه تمامی لاین‌های ۱۹، ۲۱، ۲۷، ۴۴ و ۷۱ که در شرایط بهینه فسفر در خوشه مطلوب قرار گرفته بودند، در شرایط کمبود فسفر نیز در خوشه چهارم قرار گرفته‌اند. با این تفاوت که در شرایط کمبود فسفر این خوشه از نظر صفت درصد فسفر مقدار عددی نسبتاً متوسطی دارد؛ بنابراین می‌توان از این لاین‌ها به عنوان لاین‌های مطلوبی که هم در شرایط بهینه و هم در شرایط کمبود فسفر می‌توانند پتانسیل عملکرد بالاتری داشته باشند، یاد کرد.

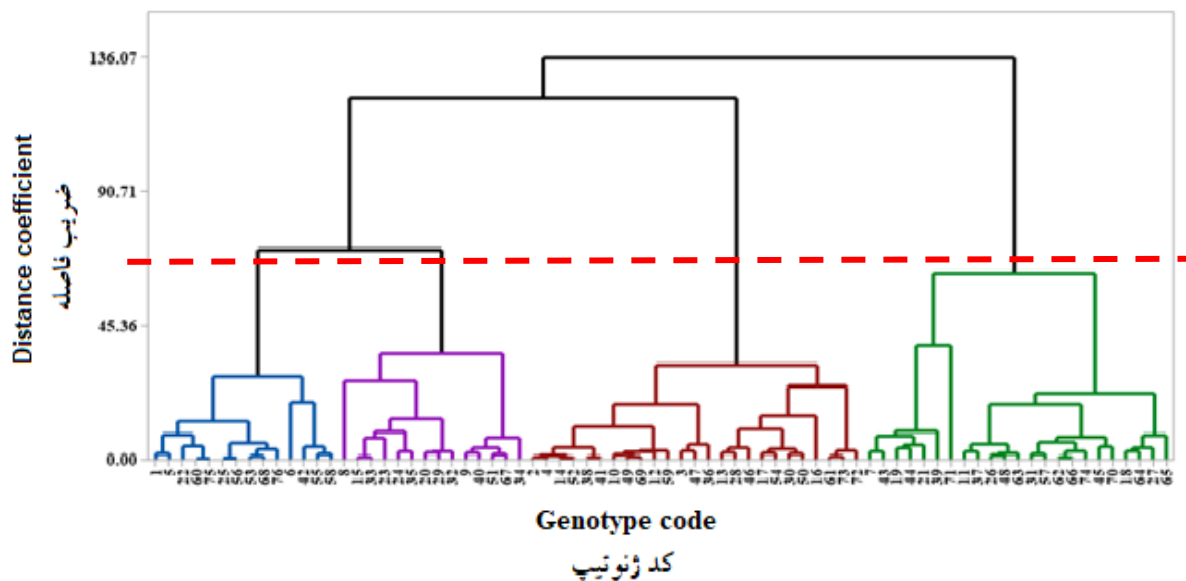
تجزیه خوشه‌ای: به منظور گروه‌بندی لاین‌های آفتابگردان بر اساس کل صفات مورد مطالعه در هر یک از شرایط بهینه و کمبود فسفر، تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد انجام گرفت. لاین‌های آفتابگردان روغنی در شرایط بهینه فسفر نیز در پنج خوشه به ترتیب با ۱۹، ۲۴، ۷، ۲۱ و ۵ لاین و در شرایط کمبود فسفر در چهار خوشه به ترتیب ۱۴، ۱۶، ۲۵ و ۲۳ لاین گروه‌بندی شدند (شکل ۱ و ۲). بیشترین فاصله در شرایط بهینه فسفر بین دو خوشه چهارم و پنجم با مقدار ۴/۱۸۹ و در شرایط کمبود فسفر بین دو خوشه دوم و سوم با مقدار ۲/۶۶۷ مشاهده شد (جدول ۵).

به منظور بررسی اختلاف بین خوشه‌ها از لحاظ هریک از صفات مورد مطالعه، تجزیه واریانس نامتعادل با در نظر گرفتن خوشه‌ها به عنوان تیمار و لاین‌های درون خوشه‌ها به عنوان تکرار انجام گرفت. در هر دو شرایط کمبود و بهینه فسفر بین خوشه‌ها از نظر تمامی صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۶ و ۸). نتایج مقایسه میانگین صفات برای خوشه‌ها در جدول‌های ۷ و ۹ ارائه شده است. اگر میانگین یک صفت در یک خوشه از میانگین آن صفت در سایر خوشه‌ها و همچنین میانگین کل بالاتر باشد، بدین مفهوم است که لاین‌های آن گروه برای آن صفت ارزش بیشتری دارند. در



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

Figure 1. Cluster analysis of oily 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 oily 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 Clusters	خوشه ۱ Cluster 1	خوشه ۲ Cluster 2	خوشه ۳ Cluster 3	خوشه ۴ Cluster 4	خوشه ۵ Cluster 5
خوشه ۱ Cluster 1	-	1.843	3.071	1.959	3.660
خوشه ۲ Cluster 2	2.251	-	3.099	2.051	3.817
خوشه ۳ Cluster 3	2.667	2.167	-	2.634	3.987
خوشه ۴ Cluster 4	2.383	2.621	2.415	-	4.189

جدول ۶- تجزیه واریانس گروه‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه تحت شرایط بهینه فسفر

Table 6. Analysis of variance of groups based on studied traits under optimal phosphorus condition

صفات Characteristics	واریانس بین گروهی Variance between groups	خطا Error
درجه آزادی (df)	4	71
میزان کلروفیل Chlorophyll content	848.819**	50.180
دمای کانوپی Canopy temperature	35.349**	1.451
محتوای نسبی آب برگ Relative water content	245.559**	31.427
عملکرد دانه Grain yield	1505.263**	84.251
درصد روغن Oil percentage	173.453**	23.345
درصد فسفر Phosphorus percentage	0.006**	0.0006

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

**: Significant at the 1% probability level

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین گروه‌های تجزیه خوشه‌ای در ۷۶ لاین آفتابگردان روغنی تحت شرایط بهینه فسفر (میانگین $\pm$ اشتباه معیار)

Table 7. Results of means compression of cluster analysis groups in 76 oily sunflower lines under optimum phosphorus condition (means $\pm$ SE)

صفات Characteristics	خوشه ۱ Cluster 1	خوشه ۲ Cluster 2	خوشه ۳ Cluster 3	خوشه ۴ Cluster 4	خوشه ۵ Cluster 5	میانگین کل Total mean
تعداد لاین Number of line	19	24	7	21	5	76
میزان کلروفیل Chlorophyll content	38.59c $\pm$ 1.63	39.19c $\pm$ 1.45	51.45b $\pm$ 2.68	36.48c $\pm$ 1.55	61.07a $\pm$ 3.17	40.86
دمای کانوپی Canopy temperature	23.79c $\pm$ 0.28	25.45b $\pm$ 0.25	27.44a $\pm$ 0.46	27.09a $\pm$ 0.26	24.36c $\pm$ 0.54	25.60
محتوای نسبی آب برگ Relative water content	79.41a $\pm$ 1.29	71.09b $\pm$ 1.14	76.98a $\pm$ 2.12	78.07a $\pm$ 1.22	80.26a $\pm$ 2.51	76.25
عملکرد دانه Grain yield	23.02bc $\pm$ 2.11	30.72b $\pm$ 1.87	22.57bc $\pm$ 3.47	18.89c $\pm$ 2.00	54.93a $\pm$ 4.11	26.73
درصد روغن Oil percentage	38.97bc $\pm$ 1.11	35.36c $\pm$ 0.99	39.86bc $\pm$ 1.83	41.67ab $\pm$ 1.05	45.67a $\pm$ 2.16	39.10
درصد فسفر Phosphorus percentage	0.087b $\pm$ 0.005	0.076b $\pm$ 0.005	0.14a $\pm$ 0.009	0.08b $\pm$ 0.005	0.081b $\pm$ 0.011	0.086

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف براساس آزمون SNK در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letters in any rows don't have significant difference at the 5% probability levels according to SNK test.

جدول ۸- تجزیه واریانس گروه‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه تحت شرایط کمبود فسفر

Table 8. Analysis of variance of groups based on studied traits under phosphorus deficiency condition

صفات Characteristics	واریانس بین گروهی Variance between groups	خطا Error
درجه آزادی (df)	3	72
میزان کلروفیل Chlorophyll content	748.284**	74.371
دمای کانوپی Canopy temperature	29.551**	3.001
محتوای نسبی آب برگ Relative water content	584.136**	24.044
عملکرد دانه Grain yield	407.229**	73.269
درصد روغن Oil percentage	280.594**	14.879
درصد فسفر Phosphorus percentage	0.003**	0.00013

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** : Significant at the 1% probability level

گروه A در گروه‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) از شاخص تحمل چندمتغیره MFVD استفاده شد که برای

شاخص تحمل چندمتغیره^۱ MFVD: برای انتخاب لاین‌های با عملکرد بالا و متحمل به کمبود فسفر (لاین‌های

1- Membership function value of drought tolerance

محاسبه آن از پتانسیل مجموع صفات مورد مطالعه استفاده می‌شود. بر اساس بای‌پلات حاصل لاین ۷۱ به‌عنوان لاین متحمل به کمبود فسفر و دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط شناسایی شد. لاین‌های ۷۴ و ۶۵ هرچند تحمل به کمبود فسفر بالایی نشان دادند اما در مقایسه با لاین ۷۱ عملکرد نسبتاً کمتری دارند. براساس این شاخص لاین‌های ۲۱، ۳۹، ۷، ۱۸ و ۱۱ نیز می‌توانند به‌عنوان لاین‌های مطلوب و متحمل به کمبود فسفر معرفی شوند (شکل ۳).

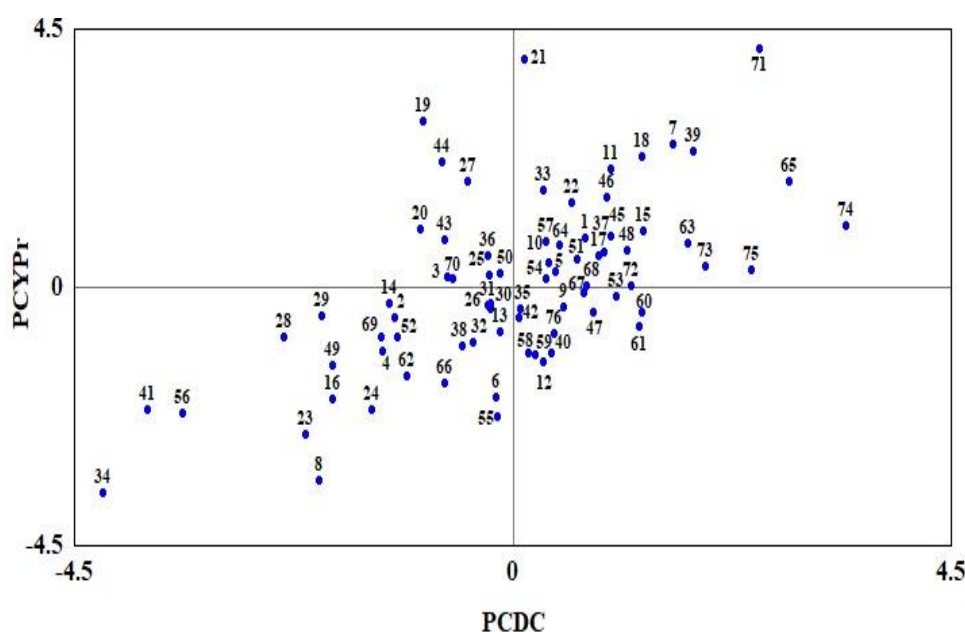
جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین گروه‌های تجزیه خوشه‌ای در ۷۶ لاین آفتابگردان روغنی تحت شرایط کمبود فسفر (میانگین $\pm$ اشتباه معیار)

Table 9. Results of means comparison of cluster analysis groups in 76 oily sunflower lines under phosphorus deficiency condition (means $\pm$ SE)

صفات	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴	میانگین کل
Characteristics	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Total mean
تعداد لاین	14	14	25	23	76
Number of line					
میزان کلروفیل	21.31bc $\pm$ 4.34	43.18b $\pm$ 2.31	36.4c $\pm$ 1.73	49.53a $\pm$ 1.8	42.23
Chlorophyll content					
دمای کانوپی	25.35b $\pm$ 0.46	27.88a $\pm$ 0.46	25.68b $\pm$ 0.35	24.76b $\pm$ 0.36	25.74
Canopy temperature					
محتوای نسبی آب برگ	77.7a $\pm$ 1.31	75.87a $\pm$ 1.31	66.14b $\pm$ 0.98	75.57a $\pm$ 1.02	72.91
Relative water content					
عملکرد دانه	10.66c $\pm$ 2.29	14.54c $\pm$ 2.29	34.03a $\pm$ 1.71	21.38b $\pm$ 1.79	15.60
Grain yield					
درصد روغن	32.36b $\pm$ 1.03	29.31c $\pm$ 1.03	34.03b $\pm$ 0.77	38.67a $\pm$ 0.8	34.25
Oil percentage					
درصد فسفر	0.069a $\pm$ 0.003	0.041bc $\pm$ 0.003	0.037c $\pm$ 0.002	0.047b $\pm$ 0.003	0.046
Phosphorus percentage					

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف براساس آزمون SNK در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letters in any rows don't have significant difference at the 5% probability levels according to SNK test.



شکل ۳- گروه‌بندی ۷۶ لاین آفتابگردان روغنی در داخل ۴ گروه بر اساس شاخص تحمل چند متغیره MFDV.

Figure 3. Grouping of 76 oily sunflower lines into 4 groups based on MFDV multivariate tolerance index.

PCDC و PCYPr به‌ترتیب مجموع مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار برای ضریب تحمل تنش و مقادیر عددی صفات را نشان می‌دهد.

PCDC and PCYPr are indicate sum of significant principal component for drought-tolerant coefficient and traits values.

سپاسگزاری

همچنین از انستیتو تحقیقات آگرونومی تولوز فرانسه به خاطر در اختیار قرار دادن بذور لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی تشکر و قدردانی می‌شود.

از دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه به خاطر فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام این پژوهش و

References

- Abadia, J., Rao, I.M. and Terry, N.** (1987). Changes in leaf phosphate status have only small effects on the photochemical apparatus of sugar beet leaves. *Plant Science*, **50(1)**: 49-55.
- Amini, A., Amirnia, R. and Gazvini, H.** (2016). Evaluation of relationship between physiological and agronomic traits related to salinity tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Science*, **17(4)**: 348-329 (In Persian).
- Andersson, M.X., Stridh, M.H., Larsson, K.E., Liljenberg, C. and Sandelius, A.S.** (2003). Phosphate-deficient oat replaces a major portion of the plasma membrane phospholipids with the galactolipid digalactosyldiacylglycerol. *FEBS letters*, **537(1-3)**: 128-132.
- Anonymous.** (2019). *Annual Agricultural Statistics*. Ministry of Jihad-Agriculture of Iran, Tehran, IR (In Persian).
- Askari Golestani, A.R., Ramezanzpour, S.S., Borzoei, A., Soltanloo, H. and Navabpour, S.** (2018). Evaluating the salt tolerance in fifth generation (M5) of bread wheat lines using the biplot and factor analysis methods. *Environmental Stresses in Crop Science*, **11(2)**: 365-379 (In Persian).
- Bahari, S.S. and Pirdashti, H.** (2013). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and phosphate solubilizing microorganism (PSM) on yield and yield components of wheat (cv. N80) under different nitrogen and phosphorous fertilizers levels in greenhouse condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, **10(4)**: 681-689 (In Persian).
- Balemi, T.** (2009). Effect of phosphorus nutrition on growth of potato genotypes with contrasting phosphorus efficiency. *African Crop Science Journal*, **17(4)**: 199-212.
- Barrs, H.D. and Weatherley, P.E.** (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, **15(3)**: 413-428.
- Cheema, M.A., Malik, M.A., Hussain, A., Shah, S.H. and Basra, S.M.A.** (2001). Effects of time and rate of nitrogen and phosphorus application on the growth and the seed and oil yields of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, **186(2)**: 103-110.
- Chen, X., Min, D., Yasir, T.A. and Hu, Y.G.** (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.
- Eyvazzadeh, O., Seyedain, A.M., Chamani, M. and Darvishi, F.** (2010). Evaluation of fatty acid composition and stability of Rose Hip oil. *Food Technology & Nutrition*, **7(2)**: 66-76.
- FAO.** (2018). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Rome, Italy. Available from: <http://www.faostat.fao.org/>.
- FAO.** (2019). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Rome, Italy. Available from: <http://www.faostat.fao.org/>.
- Fernandez, G.C.** (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan.
- Hajiboland, R., Radpour, E. and Pasbani, B.** (2014). Effect of phosphorus deficiency on drought stress tolerance in two tomato (*Solanum lycopersum* L.) cultivars. *Journal of Plant Researches*, **27(5)**: 788-803 (In Persian).
- Hamed Golgasem, J., Sadehgzadeh, B. and Mohebalipor N.** (2014). Study of genetic variation of barley genotype P uptake efficiency in dryland conditions. *13th Iranian Crop Sciences Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference*, Karaj, Iran (In Persian).
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumager Moller, I. and White, P.** (2012). Functions of macronutrients. In: Marschner, P., Ed., *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. pp. 135-190. Academic Press, Cambridge, UK.

- Holmes, M.R. and Ainsley, A.M.** (1978). Seedbed fertilizer requirements of winter oilseed rape. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **29(8)**: 657-668.
- Jones, C.A.** (2003). The effects of P fertilization on drought tolerance of malt barley. In *Western Nutrient Management Conference*, Salt Lake City, Utah, USA.
- Kheirabad, H., Khoshgoftarmanesh, A.H. and Khanmohamadi, Z.** (2013). The effects of some soil properties on zn availability for corn in certain calcareous soils in Isfahan province. *Journal of Water and Soil Science*, **16(62)**: 1-10 (In Persian).
- Lynch, J.P.** (2011). Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorus acquisition: tools for future crops. *Plant Physiology*, **156(3)**: 1041-1049.
- Lynch, J., Läuchli, A. and Epstein, E.** (1991). Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*, **31(2)**: 380-387.
- Malakouti, M.J. and Gheibi, M.N.** (2000). *Determination of Critical Levels of Nutrients in Soil, Plant and Fruit for the Quality and Yield Improvements of Iran's Strategic Crops*. Agricultural Education Publication, Tehran, IR (In Persian).
- Nowak, J. and Stroka, S.** (1999). The effect of phosphorus nutrition on growth, flowering and chlorophyll fluorescence of New Guinea Impatiens 'Pago pago'. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics*, Alnarp, Sweden.
- Nuttall, W.F., Moulin, A.P. and Townley-Smith, L.J.** (1992). Yield response of canola to nitrogen, phosphorus, precipitation, and temperature. *Agronomy Journal*, **84(5)**: 765-768.
- Paniego, N., Muñoz, M., Echaide, M., Fernandez, L., Faccio, P., Zandomeni, R. and Hopp, E.** (1999). Microsatellite development for sunflower. *Plant and Animal Genome VII Conference*, San Diego: Starford University Press, USA.
- Payandeh, K., Majdom, M. and Drogar, N.** (2018). Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, **10(38)**: 23-37 (In Persian).
- Saneoka, H., Fujita, K. and Ogata, S.** (1990). Effect of phosphorus on drought tolerance in *Chloris gayana* Kunth and *Coix lacryma-jobi* L. *Soil Science and Plant Nutrition*, **36(2)**: 267-274.
- Singh, D.K. and Sale, P.W.** (2000). Growth and potential conductivity of white clover roots in dry soil with increasing phosphorus supply and defoliation frequency. *Agronomy Journal*, **92(5)**: 868-874.
- Vance, C.P., Uhde-Stone, C. and Allan, D.L.** (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, **157(3)**: 423-447.
- Wahid, M.A., Cheema, M.A., Malik, M.A. and Ashraf, M.** (2009). Comparative performance of canola hybrids in response to different phosphatic fertilizers. *International Journal of Agriculture Biology*, **11**: 306-310.
- Wang, Q., Li, J., Li, Z. and Christie, P.** (2005). Screening Chinese wheat germplasm for phosphorus efficiency in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, **28(3)**: 489-505.
- Waraich, E.A., Ahmad, R. and Ashraf, M.Y.** (2011). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, **5(6)**: 764-777.
- Westerman, R.L.** (1990). *Soil Testing and Plant Analysis*. 3rd Edition. American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Wetter, L.R., Ukrainetz, H. and Downey, R.K.** (1970). The effect of chemical fertilisers on the content of oil, protein and glucosinolates in brassica including rapeseed. In *Proceeding of the International Conference on Rapeseed And Rapeseed Products*, St Adele, Canada.
- Wissuwa, M., Gamat, G. and Ismail, A.M.** (2005). Is root growth under phosphorus deficiency affected by source or sink limitations?. *Journal of Experimental Botany*, **56(417)**: 1943-1950.
- Xu, H.X., Weng, X.Y. and Yang, Y.** (2007). Effect of phosphorus deficiency on the photosynthetic characteristics of rice plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, **54(6)**: 741-748.

Evaluation of Oily Sunflower Pure Lines Under Optimum and Phosphorus Deficit Conditions Using Some Physiological Traits and MFDV Multivariate Tolerance Index

Maryam Rasoulzadeh Aghdam¹, Reza Darvishzadeh^{2,3}, Ebrahim Sepehr⁴ and Hadi Alipour^{5,*}

1- Former M.Sc. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Professor, Department of 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

(Received: March 3, 2020 – Accepted: February 13, 2021)

Abstract

Nutrient deficiencies are important abiotic stresses that can affect plant growth and development. In this study, 76 sunflower pure lines collected from different regions of the world were evaluated in pot using some physiological traits with combined analysis of completely randomized design with three replications under optimal and phosphorus deficit conditions. Phosphorus deficiency decreased the means of all studied traits except canopy temperature. Oilseed sunflower lines were grouped into five and four clusters in each one of optimum and phosphorus deficient conditions, respectively. However in both optimum and phosphorus deficient conditions, lines 19, 21, 27, 44 and 71 were classified into desirable cluster with high yield and yield components. Multivariate tolerance index (MFVD) for each genotype was calculated using the ratio and productivity matrices of the studied traits under optimal and phosphorus deficit conditions using principal component analysis on the resulting matrices. Based on the resulting biplot, lines 71, 74, 65, 21, 39, 7, 18 and 11 were introduced as desirable and phosphorus deficit tolerant lines.

Keywords: Chlorophyll content, Genetic variability, Phosphorous deficiency, Stress tolerance index, Sunflower

* Corresponding Author, E-mail: ha.alipour@urmia.ac.ir