Iranian Journal of Plant Protection Science
Vol 48, No 2, Autumn & Winter 2017 (355-365)
DOI: 10.22059/ijpps.2018.132847.1006663

دانش گیاهپزشکی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۶ (ص ۳۶۵-۳۵۵)

ارزیابی مزرعه‌ای واکنش فامیل‌های نیمه خواهری چغندرقند به بیماری سفیدک سطحی

الهام معاون[1*]، اباذر رجبی[2] و محسن آقایی‌زاده[3]
۱، ۲ و ۳. محقق، دانشیار پژوهش و استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱)

چکیده

در این تحقیق، واکنش ۱۳۸ ژنوتیپ چغندرقند شامل ۱۲۷ فامیل نیمه خواهری (HSF) و ۱۱ جمعیت والدینی آن‌ها به همراه دو شاهد مقاوم و حساس نسبت به بیماری سفیدک سطحی ناشی از قارچ *Erysiphe betae* (Weltzien Vanha) در شرایط مزرعه در ایستگاه تحقیقات چغندرقند مهندس مطهری کرج در سال ۱۳۹۲تعیین شد. بر پایهٔ روند شدت آلودگی در ۳۰ مرداد، شمار ۲۲ ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم (با شدت آلودگی کمتر از ۲/۵) شناسایی شدند. در این میان، فامیل‌های HSF-850، HSF-848 و HSF-853 به ترتیب با شدت آلودگی ۱، ۱/۲ و ۱/۳ به‌عنوان مقاوم‌ترین فامیل‌ها بودند. تجزیهٔ رگرسیون نشان داد، با افزایش شدت بیماری، عملکرد شکر سفید و عیار قند کاهش می‌یابد. با انجام تجزیهٔ خوشه‌ای، جمعیت‌های والدینی اولیه و فامیل‌های به‌دست‌آمده به ۷ گروه تقسیم شدند. در این میان، اغلب ژنوتیپ‌های متحمل/مقاوم در گروه ۵ قرار گرفتند که می‌توان از آن‌ها برای انتقال مقاومت بهره گرفت. در گروه ۲، ژنوتیپ‌های HSF-584، HSF-582، HSF-557، HSF-551، HSF-866، HSF-844، HSF-670، HSF-556، HSF-628، HSF–610، HSF-564، HSF-685، HSF–619 ، HSF–664 و HSF-558 قرار داشتند که وضعیت بسیار مطلوب از نظر عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند قابل استحصال و عیار قند داشتند. لذا می‌توان از این فامیل‌ها به‌عنوان والد گرده‌افشان برای تهیهٔ رقم‌های هیبرید (دورگ) استفاده کرد یا در چرخهٔ بعدی گزینش، از آن‌ها فامیل‌های نیمه خواهری یا تمام خواهری جدید تهیه کرد.

واژه‌های کلیدی: *Erysiphe betae*، آسیب و زیان، رقم، ژنوتیپ، مقاومت.

Field evaluation of sugar beet half-sib families' reaction to powdery mildew

Elham Moaven[1*], Abazar Rajabi[2] and Mohsen Aghaizadeh[3]
1, 2, 3. Researcher, Associate Professor and Assistant Professor, Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
(Received: Dec. 27, 2016 - Accepted: Feb. 20, 2018)

ABSTRACT

In this research, the reaction of 138 sugar beet half-sib families and their 11 parental populations to powdery mildew (*Erysiphe betae* Weltzien Vanha) was studied in a randomized complete block design with three replications at Motahari Research Station, Karaj, Iran in 2013. A linear scale of 0-9 was used for disease rating. On the basis of disease scoring conducted in 10th September, 22 genotypes with a score lower than 2.5 were found to be disease resistant. The families HSF-850, HSF-853, and HSF-848 with the disease score of 1, 1.2, and 1.3, respectively, were the most resistant families. Regression analysis showed that white sugar yield and sugar content were decreased by increasing the disease. Cluster analysis classified the initial populations as well as their half-sib families into 7 groups. Among these, most of the tolerant/resistant genotypes were clustered in the group 5 which could be used for resistance transfer. The cluster 2 included the genotypes HSF-584, HSF-582, HSF-557, HSF-551, HSF-866, HSF-844, HSF-670, HSF-556, HSF-628, HSF–610, HSF-564, HSF-685, HSF–619, HSF–664, and HSF-558 which were considered as families with optimum root yield, white sugar yield, white sugar content and sugar content. Therefore, these families could be used as pollinator parents to develop hybrid varieties or they can be exploited in the next cycle of family selection to develop new half-sib or full-sib families.

Keywords: *Erysiphe betae*, genotype, loss, resistance, variety.

* Corresponding author E-mail: e_moaven@yahoo.com

مقدمه

بیماری سفیدک سطحی که عامل آن، قارچ Weltzien *Erysiphe betae* (Vanha) است، در چغندرقند (*Beta vulgaris*) و برخی علف‌های هرز دیده می‌شود. در نتیجهٔ رخداد این بیماری، برگ‌های چغندرقند شادابی و طراوت خود را از دست می‌دهند و بوته‌ها پژمرده شده و رشدشان کم می‌شود. میزان آسیب و زیان این بیماری بستگی به زمان و میزان آلودگی مزرعه دارد، بدین ترتیب که هر چه چغندرقند زودتر آلوده شود و میزان آلودگی بوته‌ها بیشتر باشد آسیب و زیان بیماری بیشتر است. پیدایش اولیه و مؤثر بیماری به‌طور عمده از مناطقی گزارش شده که در آن‌ها، دوره‌های خشک طی فصل رشد، غالب است. گرما و خشکی گسترش بیماری را شدت می‌بخشد. بر همین اساس، این بیماری با شرایط مناطق نیمه‌خشک با اقلیم گرم و خشک و نوسان گستردهٔ دما و رطوبت سازش یافته است (Sheikholeslami, 2005). نخستین نشانه‌های بیماری در اواسط مرداد ظاهر می‌شود و در صورت حساسیت بالای رقم‌ها تا پایان مرداد ادامه می‌یابد. بهترین دما برای رشد قارچ عامل بیماری، ۲۵-۲۰ درجهٔ سلسیوس است. این بیماری سبب کاهش محصول و میزان قند در ریشه‌های چغندرقند می‌شود.

هرساله بخش قابل‌توجهی از شکر تولیدی در نتیجهٔ فعالیت قارچ عامل بیماری از دست می‌رود (Weltezein, 1963; Grimmer *et al.*, 2007; Kontradowitz & Verreet, 2009) و این بیماری حتی باعث کاهش عملکرد تا ۳۰ درصد نیز می‌شود (Grimmer *et al.*, 2007). نتایج بررسی‌ها نشان داد، هنگامی ظهور نشانه‌های بیماری در اواخر جولای (اوایل مردادماه) مشاهده شد، حدود ۲۵ درصد از چغندرکاری‌ها در اوایل شهریورماه (پایان آگوست) آلوده شدند، حال‌آنکه در کشت‌های تأخیری، آلودگی کمتر بوده که علت آن حساسیت کمتر گیاهان جوان است. در صورت وقوع زودهنگام بیماری در تیرماه، رقم‌های حساس نابود می‌شوند (Asher, 2002). آسیب و زیان این بیماری در ایران به علت مساعد بودن شرایط محیطی بسیار زیاد است. البته شدت و ضعف آن نسبت به تغییرات دما و رطوبت متفاوت است (Taleghani *et al.*, 2010).

تشخیص و استفاده از منابع جدید مقاومت در چغندرقند در آمریکا موجب کاهش و یا حذف کنترل (مهار) شیمیایی سفیدک سطحی شد و تأثیر منفی سم‌پاشی شیمیایی روی محیط‌زیست و انسان در آن کشور باعث شد صنعت قند، مقاومت به بیماری را در رقم‌های چغندرقند به‌کار ببرد (Luterbacher *et al.*, 2000). بنابراین، برای کنترل این بیماری در مزرعه، ارزیابی ژنوتیپ (نژادگان)ها از لحاظ میزان مقاومت و تحمل آن‌ها و معرفی ژنوتیپ‌های مقاوم و متحمل امری ضروری است. تحقیقاتی که در مورد تنوع ژنتیکی جدایه‌های سفیدک سطحی با استفاده از روش مولکولی انجام‌گرفته، تفاوت‌های ژنتیکی اندکی را در جدایه‌های این بیماری نشان داده است (Shiekholeslami, 2005). بنابراین، در صورت تهیهٔ رقم‌های مقاوم در برابر جدایه‌های سفیدک که مربوط به یک منطقهٔ اکولوژیکی (بوم‌شناختی) از کشور باشد، می‌تواند در دیگر نقاط کشور هم استفاده شود.

پیش‌نیاز تهیهٔ رقم‌های مقاوم، شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به‌عنوان والد پدری گرده‌افشان یا والد مادری است. برای این منظور لازم است تنوع ژنتیکی مواد اصلاحی از نظر مقاومت به بیماری ارزیابی شود. Luterbutcher *et al.* (2004) شمار ۶۰۰ نمونهٔ به‌دست‌آمده از جنس *Beta* را از نظر مقاومت به سفیدک سطحی در شرایط گلخانه و مزرعه ارزیابی و تنوع ژنتیکی معنی‌داری را برای مقاومت به این بیماری گزارش کردند. سپس آنان با انجام تلاقی، ژن‌های مقاومت را از ژنوتیپ‌های مقاوم به رگه (لاین)های حساس چغندرقند منتقل کردند. همچنین، نتایج بررسی Sheikholeslam & Basati (1998) منجر به شناسایی ژنوتیپ دیپلوئید و مولتی ژرم 14442 شد که مقاوم به سفیدک سطحی و صفات مطلوب زراعی داشت. افزون بر آن، آزمایشی که توسط Basati *et al.* (2009)، برای ارزیابی تحمل ۹ رقم و ژنوتیپ چغندرقند در کرمانشاه انجام شد، نشان داد، ژنوتیپ‌های Sanetta و BTS792 کمترین درصد بیماری و بیشترین درصد قند و ژنوتیپ شمارهٔ ۷

(BTS853) کمترین درصد بیماری و بیشترین عملکرد ریشه را داشتند. مقاومت به بیماری یادشده، در دو رگهٔ چغندرقند (WB97 و WB242) از منشأ *Beta vulgaris* (L.) Arcange sub. sp. *Maritima* شناسایی شده است. این رگه‌ها با رگه‌های چغندرقند تلاقی برگشتی داده شدند. رگه‌های اصلاح‌شده به‌عنوان منبع‌هایی از مقاومت به سفیدک سطحی برای تعیین وراثت مقاومت استفاده شدند (Lewellen & Schrandt, 2001). بررسی این دو رگه نشان داد، از هر دو منبع، یک ژن اصلی غالب به ارث می‌رسد (Lewellen & Schrandt, 2001). اگرچه گزارش شده است که ژن‌های *Pm2* تا *Pm6* در کنترل مقاومت به این بیماری نقش دارند اما در این میان، ژن *Pm3* مقاومت کامل و ژن‌های دیگر مقاومت جزئی ایجاد می‌کنند (Grimmer *et al.*, 2007). Basati *et al.* (2005) نیز در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، سفیدک سطحی با یک ژن اصلی با اثر غالب کنترل می‌شود. در تحقیق دیگری که توسط Basati *et al.* (2013) انجام شد برای تهیهٔ والد گرده‌افشان مقاوم از جمعیت به نسبت مقاوم 14442 استفاده شد. از میان فامیل‌های نیمه خواهری تهیه‌شده از درون جمعیت یادشده، سه فامیل HSF.13، HSF.24 و HSF.35 که شاخص آلودگی کمتر از ۲/۵ داشتند انتخاب و از آن‌ها برای تهیهٔ رگه‌های S_1 جدید استفاده شد که نسبت به جمعیت اولیه 14442 به میزان ۷۲/۶ درصد پیشرفت گزینش نشان دادند. بنابراین، با توجه به ژنتیک مقاومت به بیماری سفیدک سطحی در چغندرقند، گزینش برای تهیهٔ رقم مقاوم می‌تواند مؤثر باشد.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تحمل فامیل‌های نیمه خواهری چغندرقند (Half-sib family, HSF) (افرادی که یک والد مشترک دارند، فامیل نیمه خواهری نامیده می‌شوند و بذر هر فامیل از روی یک بوته برداشت می‌شود) به بیماری سفیدک سطحی و همچنین تعیین روند تغییرپذیری‌های عملکرد و کیفیت در گروه‌های چغندرقند بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش شمار ۱۳۸ ژنوتیپ چغندرقند شامل ۱۲۷ فامیل نیمه خواهری (HSF) و ۱۱ جمعیت والدینی اولیه به همراه رقم تجاری خارجی F-20777 و رقم ایرانی اکباتان به ترتیب به‌عنوان شاهدهای مقاوم و حساس (جدول ۱) از لحاظ میزان مقاومت و حساسیت به بیماری سفیدک سطحی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات مهندس مطهری کرج ارزیابی شدند. به‌منظور انتشار بیماری، رقم شاهد حساس به‌صورت حاشیه دورتادور مزرعه کشت شد.

در فروردین‌ماه ۱۳۹۲، پس از آماده‌سازی زمین، بذرهای مربوط به هرکدام از تیمارها در یک کرت که شامل یک خط ۵ متری بود کشت شد. فاصلهٔ بین خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بین بوته‌ها پس از تنک ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. شمار بوته‌ها پس از تنک و وجین در هر تیمار مشخص شد. در فرایند مرحلهٔ داشت، مراقبت‌های زراعی شامل عملیات تنک، آبیاری، کوددهی و مبارزه با علف‌های هرز و سم‌پاشی علیه آفات در زمان‌های مقتضی و بر پایهٔ عملیات رایج در ایستگاه انجام شد.

یادداشت‌برداری میزان آلودگی به بیماری در ۳۰ مرداد انجام و شدت آلودگی بوته‌ها برای هر تیمار تعیین شد. برای تعیین شدت آلودگی، از مقیاس ۰ تا ۹ استفاده شد. در این مقیاس، هر واحد نشان‌دهندهٔ ۱۰ درصد افزایش شدت بیماری است. نمرهٔ ۰ نیز نشان‌دهندهٔ نبود نشانه‌های بیماری است (Lewellen, & Schrandet, 2001).

در آبان ماه ۱۳۹۲، ریشه‌های همهٔ بوته‌های هر کرت برداشت، شمارش و توزین شد و خمیر آن‌ها توسط دستگاه ونما (Venema) تهیه شد. صفات کیفی نمونه‌های خمیر شامل عیار قند و درصد قند قابل استحصال توسط دستگاه بتالایزر (Betalyzer) و صفات کمی شامل عملکرد ریشه و عملکرد شکر در آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ بذر چغندرقند با روش Abdollahian Noghabi *et al.* (2005) تعیین شد. عملکرد ریشه از وزن ریشه‌های برداشت‌شده از هر کرت پس از شستشو (وزن خالص) برحسب تن در هکتار به دست آمد. درصد قند ناخالص یا عیار قند شامل درصد قند قابل

استحصال افزون بر این درصد قند موجود در ملاس است. در این تحقیق، عیار قند به روش پلاریمتری و با واحد گرم شکر در ۱۰۰ گرم خمیر ریشهٔ چغندرقند اندازه‌گیری شد. پایهٔ کار در این روش بر میزان انحراف نور پلاریزه استوار است. برای اندازه‌گیری عیار قند، خمیر ریشه و سواستات سرب به نسبت ۲۶ گرم خمیر و ۱۷۷/۷ میلی‌لیتر سواستات سرب، به‌طور کامل و با استفاده از مخلوط‌کن اتوماتیکی (خودکار) با همدیگر مخلوط شد. آنگاه با کاغذ صافی شماره ۴۲ صاف و عصارهٔ آن جدا شد. سپس درصد قند، به روش پلاریمتری تعیین شد (Reinefeld *et al.*, 1974). عملکرد شکر از حاصل‌ضرب عملکرد ریشه در عیار قند به دست آمد (Abdollahian Noghabi *et al.*, 2005). تجزیهٔ واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار V.9.1 SAS و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۱ درصد انجام گرفت. همچنین، برای انجام تجزیهٔ خوشه‌ای و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر پایهٔ صفات کمی و کیفی از نرم‌افزار SPSS V.16 استفاده شد. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ خوشه‌ای، روش واریانس مینیمم وارد (Ward's minimum variance) برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها مناسب تشخیص داده شد. بنابراین، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر پایهٔ این روش انجام گرفت و نمودار درختی (دندروگرام) آن رسم شد.

جدول ۱. اسامی جمعیت های اصلاحی اولیه (جمعیت‌های والدینی) و فامیل های نیمه خواهری حاصل از آن‌ها

Table 1. Original breeding (parental) populations and half-sib families derived from them

number	Genotype	number	Genotype	number	Genotype	number	Genotype
1	HSF-661	36	HSF-802	71	HSF–623	106	HSF-673
2	HSF-754	37	HSF-678	72	HSF-790	107	HSF-584
3	HSF–626	**38**	B8652 (Primary population)	73	HSF-766	108	HSF-752
4	HSF-772	39	HSF-861	74	HSF-783	109	HSF-868
5	HSF-747	40	HSF-674	75	HSF-774	110	HSF-760
6	HSF-568	41	HSF-773	76	HSF-781	111	HSF-794
7	HSF-656	42	HSF-685	**77**	S1–89134 (Primary population)	112	HSF-564
8	HSF-875	43	HSF-585	78	HSF-846	113	HSF-842
9	HSF-866	44	HSF-811	79	HSF-832	114	HSF-812
10	HSF-848	45	HSF-579	80	HSF-569	115	HSF-582
11	HSF-670	46	HSF-872	81	HSF-797	116	HSF-785
12	HSF-867	47	HSF-841	**82**	F–8724 (Primary population)	117	HSF-671
13	HSF-854	48	HSF-563	83	HSF-782	118	HSF-805
14	HSF-749	**49**	S1 – 88081 (Primary population)	84	HSF-757	119	HSF–604
15	HSF-859	50	HSF-860	85	HSF-838	120	HSF-835
16	HSF-833	51	HSF-744	86	HSF-813	121	HSF-850
17	HSF–608	52	HSF-779	87	HSF–600	122	HSF-655
18	HSF-741	53	HSF-852	88	HSF-801	123	HSF-555
19	HSF-574	54	HSF-776	89	HSF-803	124	HSF-873
20	HSF-857	55	HSF-762	90	HSF–624	125	HSF–619
21	HSF-648	56	HSF–610	91	HSF-865	**126**	F–8725 (Primary population)
22	HSF–639	**57**	S1–88045 (Primary population)	92	HSF-780	127	HSF-834
23	HSF–627	58	HSF-686	93	HSF-800	128	HSF-849
24	HSF–616	59	HSF-864	94	HSF-664	**129**	S1–89016 (Primary population)
25	B8627 (Primary population)	60	HSF-858	95	HSF-788	130	HSF-853
26	HSF–634	61	HSF-809	96	HSF-837	131	HSF-792
27	HSF-847	62	HSF-784	97	HSF-544	132	HSF-855
28	HSF-836	63	HSF–613	98	HSF-806	133	HSF-777
29	HSF-845	64	HSF-851	99	HSF-771	**134**	B8662 (Primary population)
30	HSF-874	65	HSF–593	**100**	S1–88089 (Primary population)	135	HSF-665
31	HSF-558	66	HSF-814	101	HSF-871	13.6	HSF–628
32	HSF-870	67	HSF-856	102	HSF-556	137	HSF-659
33	HSF-551	**68**	S1–88221 (Primary population)	103	HSF-557	138	HSF-862
34	HSF-778	69	HSF-844	104	HSF-798	139	F-20777 (Resistant check)
35	HSF-815	70	HSF-751	105	HSF-680	140	EKBATAN (Sensitive check)

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد، بین تیمارها (ژنوتیپ‌ها) از لحاظ شدت آلودگی به بیماری در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). این امر نشان‌دهندهٔ وجود تنوع واکنش بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر مقاومت به بیماری است. مشاهدهٔ نمره‌های ۱ تا ۸/۳ بین ژنوتیپ‌ها (جدول ۳)، نشان‌دهندهٔ دامنهٔ گستردهٔ آلودگی در مزرعه است. تنوع همسانی (شدت آلودگی بین ۱ تا ۸) بین فامیل‌های نیمه خواهری چغندرقند پیشتر نیز گزارش شده است (Whitney *et al*., 1983). در این تحقیق، برابر منبع‌های موجود (Liatukas & Ruzgas, 2008; Marchesan *et al*., 2009)، ژنوتیپ‌های با نمرهٔ آلودگی کمتر از ۲/۵ به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری سفیدک سطحی در نظر گرفته شدند. بر پایهٔ میزان شدت آلودگی، شمار ۲۲ ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم شناسایی شدند (جدول ۴). در این میان، فامیل‌های HSF-850، HSF-848 و HSF-853 به ترتیب با شدت آلودگی ۱، ۱/۲ و ۱/۳ به‌عنوان مقاوم‌ترین فامیل‌ها بودند (جدول ۴).

در این تحقیق، بین تیمارهای آزمایشی از لحاظ عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید، عیار قند و درصد قند قابل استحصال نیز در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داد، فامیل‌های شماره ۶۴ (HSF-851)، ۷۱ (HSF-623)، ۷۸ (HSF-846)، ۹۱ (HSF-865)، ۱۲۸ (HSF-849) و ۱۳۰ (HSF-853)، که عملکرد ریشهٔ بالای ۶۰ تن در هکتار داشتند با رقم شاهد مقاوم (با میانگین عملکرد ۶۳/۶ تن در هکتار) در یک گروه قرار گرفتند و به‌عنوان فامیل‌های متحمل با عملکرد مطلوب شناسایی شدند (جدول ۴). در این میان، فامیل‌های شماره ۱۲۱ (HSF-850)، ۲۰ (HSF-857) و ۱۱۱ (HSF-794) که عیار قند بالای ۱۵ درصد نیز داشتند با رقم شاهد متحمل (با عیار ۱۵/۲۰ درصد) هم‌گروه شدند (جدول ۴). در آمریکا در نتیجهٔ کشت رقم‌های حساس چغندرقند، آسیب و زیان به محصول تا ۳۰ درصد برآورد شده است (Lewellen & Schrandt, 2001). کاهش عملکرد ریشه تا حدود ۲۵ تن و کاهش درصد قند حدود یک واحد ناشی از آلودگی به این بیماری در انگلستان نیز گزارش شده است (Asher & Williams, 1992).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ژنوتیپ های آزمایشی چغندرقند

Table 2. Analysis of variance for the studied traits in sugar beet experimental genotypes

S.O.V	df	Mean Squers				
		Root yeild	White sugar yeild (ton/he)	Percent extractable sugar	Sugar contant	Infection severity
Repeat	2	308.17	28.7	108.87	12.41	1.2
Treat	138	139409**	11.4**	1354**	5.25**	6.05**
Eror	276	69639	3.01	594	1.10	1.2

**: Significantly difference at 1% probability level. **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۳. میانگین عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند قابل استحصال، عیار قند و شدت آلودگی در گروه های هفتگانه فامیل های نیمه خواهری چغندرقند

Table 3. Mean of root yield, white sugar yield, white sugar content, sugar content, and disease severity in sugar beet half-sib families

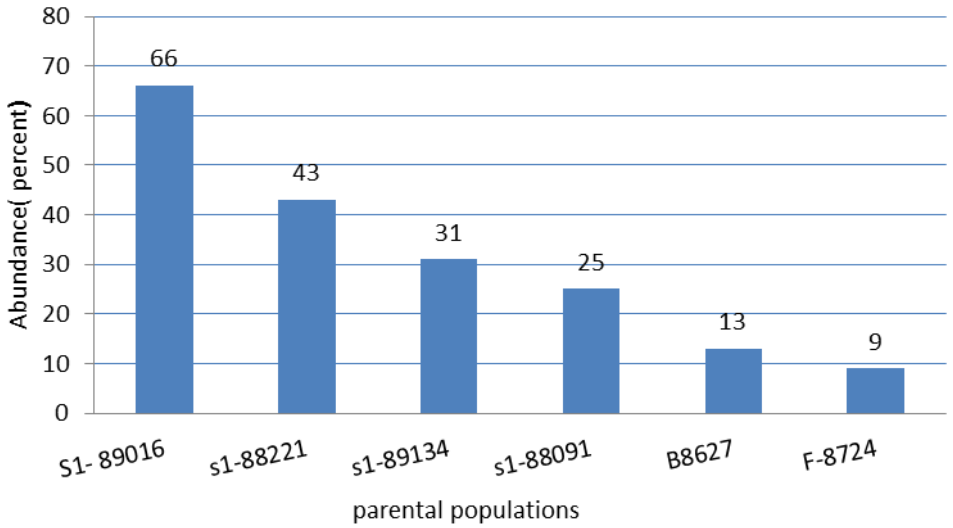
Group	Root yeild (ton/he)	White sugar yeild (ton/he)	Percent Extractable sugar	Sugar contant	Infection severity	Domain disease severity
1	53.8	6.2	11.7	14.8	1.4	1-1.7
2	57.1	6.1	10.7	14.14	2.4	2-2.7
3	64.2	6.3	9.9	13.53	3.3	3-3.7
4	72.1	6.8	9.4	13.06	4.3	4-4.7
5	80.2	7.1	8.8	12.73	5.3	5-5.7
6	57	4.8	8.3	12.41	6.6	6-6.7
7	46	3.5	7.36	11.65	7.8	7.3-8.3

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات جمعیت های والدینی و فامیل های نیمه خواهری مربوطه با شدت آلودگی کمتر از ۲/۵

Table 4. Mean comparison for traits of parental populations and their half-sib families with less than 2.5 disease severity

Number	Genotype	Root yeild (ton/he)	White sugar yeild (ton/he)	Percent extractable sugar	Sugar contant (Percent)	Infection severity
78	HSF-846	67	7	10.6	13.97	2
27	HSF-847	55.1	5.4	9.9	13.56	2.3
10	HSF-848	44.5	5.5	12.2	15.18	1.3
128	HSF-849	60.4	6.8	11.3	14.52	2.3
121	HSF-850	45.7	5.9	12.4	15.37	1
64	HSF-851	65.3	7.7	11.7	14.82	2.3
130	HSF-853	69.1	6.8	9.9	13.65	1.2
13	HSF-854	50.5	6.1	12.1	15.03	2.3
132	HSF-855	45.7	5.0	11	13.78	1.7
20	HSF-857	51	6.5	12.6	15.72	2
68	S1-88221	51.5	4.8	10	13.63	2
72	HSF-790	44	4.6	10.7	14.18	2.3
111	HSF-794	42.1	5.4	12.7	15.50	2
39	HSF-861	45.1	4.5	10.3	13.98	2
138	HSF-862	48.7	4.3	8.5	11.82	2
91	HSF-865	65.1	7.7	11.8	15.10	1.7
12	HSF-867	60.2	6.2	10.3	13.7	2.3
24	HSF-616	46	4.8	10.5	13.93	2.3
71	HSF-623	83.5	7.4	8.7	12.8	2
84	HSF-757	23.5	2.3	10.1	14.12	2.3
118	HSF-805	42.3	3.8	9.4	12.62	2
67	HSF-856	48.7	5.6	12	13	2
139	F-20777 (Resistant check)	63.6	7.12	12.34	15.20	1
	LSD (1%)	42.6	3.6	3.9	2.85	3.05

بررسی شمار (درصد) فامیل‌های نیمه خواهری مقاوم مربوط به جمعیت‌های والدینی، نشان داد که بیشترین و کمترین درصد فراوانی فامیل‌هایی که شاخص بیماری کمتر از ۲/۵ داشتند، به ترتیب مربوط به جمعیت‌های والدینی S_1-89016 و F-8724 بود. لذا، احتمال بیشتری وجود دارد که در نسل بعدی گزینش بتوان از جمعیت S1-89016، فامیل‌های مقاوم به بیماری انتخاب کرد (شکل ۱).

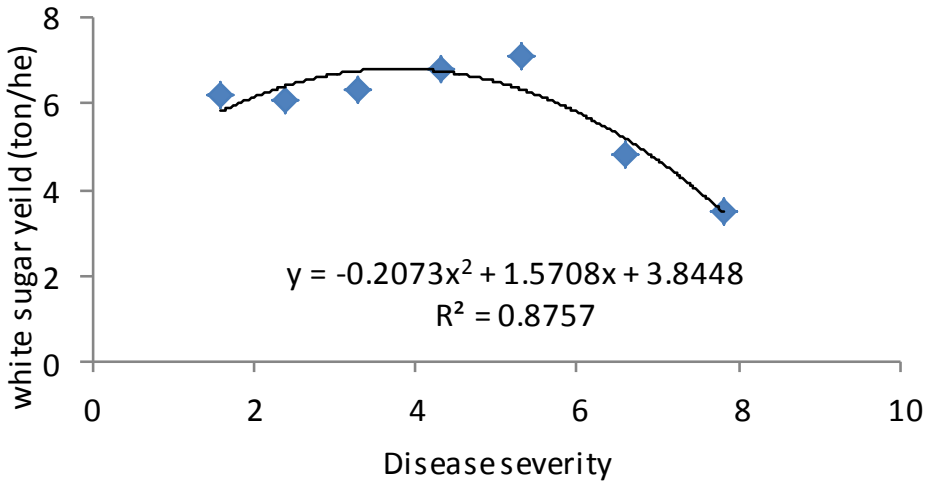


شکل ۱. درصد فراوانی فامیل‌های نیمه خواهری با شاخص بیماری کمتر از ۲/۵، منتخب از جمعیت‌های والدینی

Figure 1. Percent frequency of half-sib families with less than 2.5 disease severity, selected from the parental populations

بررسی رابطهٔ رگرسیونی بین عملکرد شکر سفید (که از حاصل‌ضرب عملکرد ریشه و درصد قند قابل استحصال به دست می‌آید) و شدت بیماری در فامیل‌های مورد بررسی نشان داد، رابطهٔ بین این دو صفت از نوع درجه ۲ است (شکل ۲). همان‌گونه که در جدول ۳ و شکل ۲ مشاهده می‌شود، در ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر (گروه‌های ۱ تا ۴)، با افزایش شدت بیماری، کاهش چندانی در عملکرد شکر سفید دیده نمی‌شود درحالی‌که در ژنوتیپ‌های حساس‌تر (گروه‌های ۵ تا ۷)، با افزایش شدت بیماری، عملکرد به‌طور زیادی کاهش می‌یابد. بر پایهٔ این رابطه، ژنوتیپ‌هایی که حساس‌ترند، عملکرد شکر کمتری دارند و برعکس. رابطهٔ همسانی توسط دیگر محققان از جمله Whitney *et al.* (1983) و Basati *et al.* (2006 & 2009) گزارش شده است. Kontradowitz & Verreet (2009) نیز رابطهٔ منفی و معنی‌داری بین عملکرد شکر سفید و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری سفیدک سطحی در رقم‌ها و رگه‌های چغندرقند گزارش کردند. رابطهٔ رگرسیونی بین عملکرد ریشه و شدت بیماری همانند رابطهٔ یادشده بوده و از رابطهٔ درجه ۲ $y = -4.238x^2 + 41.97x - 27.53$ با ضریب تبیین ۹۰ درصد ($R^2 = 0.902$) پیروی می‌کرد. بین عیار قند و شدت بیماری نیز رابطهٔ خطی و معکوس ($y = -0.466x + 15.26, R^2 = 0.968$) وجود داشت به‌طوری‌که با افزایش یک واحد شدت بیماری، عیار قند به میزان ۰/۴۶ واحد کاهش یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد که افزایش شدت بیماری به‌طور خطی موجب کاهش عیار قند در هر دو گروه از ژنوتیپ‌ها (حساس و مقاوم) می‌شود (Gado, 2013).

در این تحقیق، جمعیت‌های والدینی اولیه و فامیل‌های ناشی از آن‌ها با استفاده از تجزیهٔ خوشه‌ای به روش وارد (Ward) بر پایهٔ صفات کمی و کیفی شامل عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، عیار قند، درصد قند قابل استحصال و همچنین شدت آلودگی به سفیدک سطحی گروه‌بندی شدند (شکل۳). دندروگرام به‌دست‌آمده از تجزیهٔ خوشه‌ای، از فاصلهٔ ۲/۷ در مقیاس اقلیدسی برش داده شد و بنابراین ۷ گروه (خوشه) ایجاد شد. در میان این خوشه‌ها، دو گروه ۲ و ۵ ویژگی‌های مشخصی دارند. در گروه ۵ که شامل ۲۹ ژنوتیپ است، ۱۴ ژنوتیپ (ژنوتیپ‌های شماره ۶۴، ۹۱، ۱۳۹ (شاهد مقاوم)، ۶۷، ۲۰، ۱۳، ۱۱۱، ۱۰، ۲۷، ۶۸، ۲۴، ۷۲، ۳۹، ۱۳۲ و ۸۴) شدت آلودگی کمتر از ۲/۵ داشتند. بنابراین، این ۱۴ ژنوتیپ می‌توانند به‌عنوان منابع مقاومت به این بیماری در نظر گرفته شوند. عملکرد شکر و درصد قند قابل استحصال در این گروه نیز به نسبت بالا بود.



شکل ۲. ارتباط بین شدت بیماری و عملکرد شکر سفید در هفت گروه ژنوتیپی مورد بررسی

Figure 2. Relationship of disease severity with white sugar yield in seven groups of the genotypes studied

گروه ۲ که شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱۰۷ (HSF-584)، ۱۱۵ (HSF-582)، ۱۰۳ (HSF-557)، ۳۳ (HSF-551)، ۹ (HSF-866)، ۶۹ (HSF-844)، ۱۱ (HSF-670)، ۱۰۲ (HSF-556)، ۱۳۶ (HSF-628)، ۵۶ (HSF–610)، ۱۱۲ (HSF-564)، ۴۲ (HSF-685)، ۱۲۵ (HSF–619)، ۹۴ (HSF–664) و ۳۱ (HSF-558) بود، وضعیت بسیار مطلوب از نظر عملکرد شکر، عملکرد ریشه، درصد قند قابل استحصال و عیار قند داشتند. بنابراین، ژنوتیپ‌های این گروه را می‌توان جزو ژنوتیپ‌های با عملکرد و کیفیت مطلوب به شمار آورد. از این ژنوتیپ‌ها می‌توان برای تهیهٔ هیبرید یا در چرخهٔ بعدی گزینش فامیلی از جمله تهیهٔ فامیل‌های نیمه خواهری یا تمام خواهری جدید استفاده کرد.

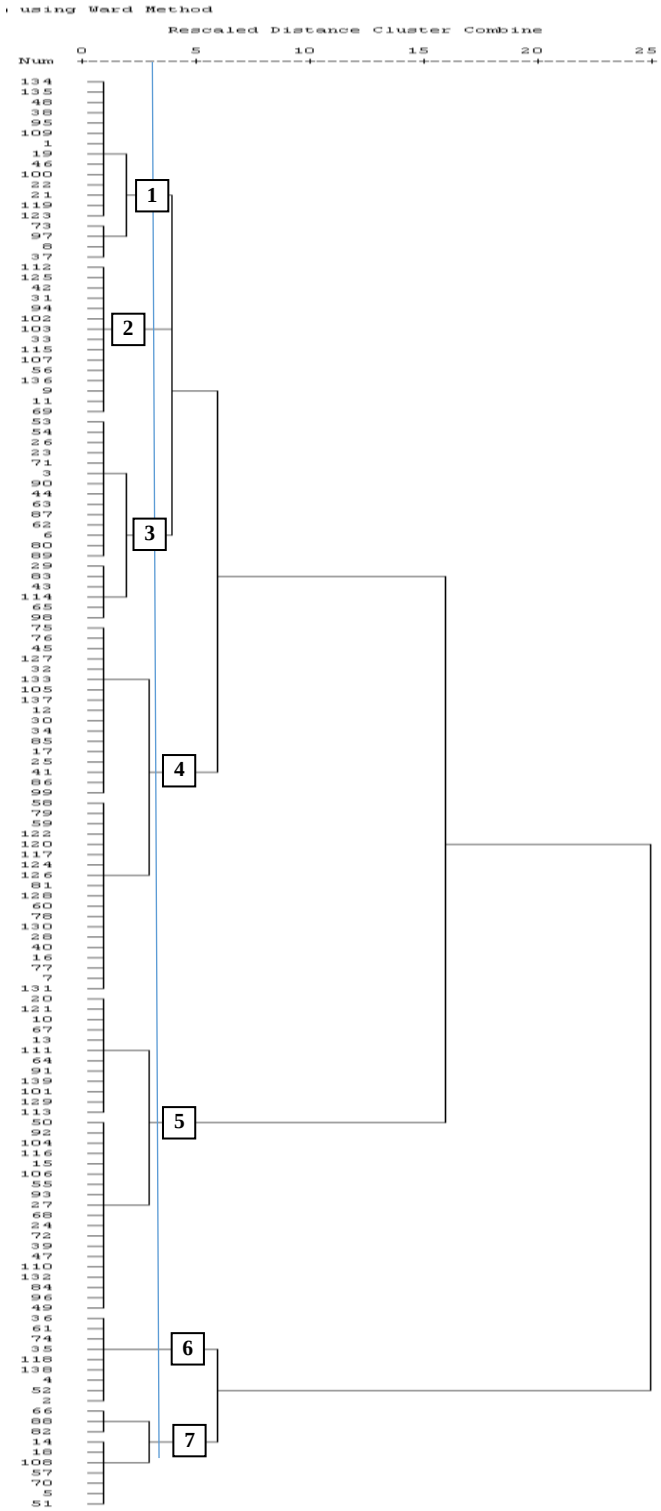
میزان تنوع ژنتیکی درون ژرم‌پلاسم زراعی چغندرقند و وراثت‌پذیری مقاومت به بیماری سفیدک سطحی در چغندرقند در آزمایشگاه، مزرعه و گلخانه توسط برخی محققان بررسی شده است (Whitney *et al.*, 1983; Janssen *et al.*, 2003). به‌عنوان‌مثال، Whitney *et al.* (1983) تنوع ژنتیکی زیادی بین رگه‌های نسل اول خودگشنی (S_1) و فامیل‌های نیمه خواهری چغندرقند از نظر شدت آلودگی به سفیدک سطحی مشاهده کردند. Luterbutcher *et al.* (2004) نیز تنوع ژنتیکی زیادی برای مقاومت به این بیماری گزارش و با انجام تلاقی، ژن‌های مقاومت را از ژنوتیپ‌های مقاوم به رگه‌های حساس چغندرقند منتقل کردند. نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده است، بیشترین تنوع در واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به این بیماری ناشی از تأثیر عامل‌های ژنتیکی است (Lewellen & Schrandet, 2001). وجود تنوع ژنتیکی در واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به این بیماری، وراثت‌پذیری به نسبت بالای مقاومت (۷۵-۵۴ درصد) و کنترل مقاومت توسط یک ژن غالب اصلی نشان می‌دهد که انتخاب برای ارتقاء مقاومت به این بیماری مؤثر است و در این زمینه، هم انتخاب بر مبنای ارزیابی تک بوته و هم انتخاب بر مبنای ارزیابی فامیلی می‌تواند موجب افزایش میزان مقاومت به این بیماری شود (Basati *et al.*, 2013; Whitney *et al.*, 1983; Lewellen & Schrandet; 2001). به‌عبارت‌دیگر، با گزینش تک بوته‌های مقاوم می‌توان انتظار داشت که مقاومت به نتاج آن‌ها نیز منتقل خواهد شد. با انتقال ژن‌های مقاومت به سفیدک سطحی، از فامیل‌های مقاوم شناسایی‌شده در این تحقیق می‌توان میزان مقاومت به این بیماری را در رقم‌های تجارتی چغندرقند به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد.

چنانچه گزینش برای افزایش مقاومت درون ژرم پلاسم (ذخایر توارثی) زراعی چغندرقند منجر به افزایش مقاومت نشود، و همچنین به‌منظور افزایش پایداری مقاومت می‌توان از ژرم پلاسم وحشی چغندر از جمله *B. maritima* و دیگرگونه‌های وحشی جنس *Beta* (Whitney *et al.*, 1989; Janssen *et al.*, 2003; Luterbutcher *et al.*, 2004) و همچنین از چغندرهای برگی که تلاقی‌پذیری خوبی با چغندرقند دارند (Asher *et al.*, 2001; Luterbutcher *et al.*, 2000) نیز بهره گرفت.

بیشترین تنوع ژنتیکی بین رگه‌ها از نظر واکنش به سفیدک سطحی در مزرعه زمانی مشاهده می‌شود که رگه‌های حساس، بالاترین شدت بیماری را نشان دهند و پس‌ازآن، تفاوت‌ها کمتر می‌شود (Whitney *et al.*, 1983). بنابراین، دامنهٔ گستردهٔ شدت آلودگی (۱ تا ۸/۳) که در این تحقیق مشاهده شد، نشان می‌دهد که یادداشت‌برداری شدت بیماری در زمان مناسب صورت گرفته است و این امر با یافته‌های دیگر محققان همخوانی دارد (Whitney *et al.*, 1983; Luterbutcher *et al.*, 2004).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد، بین ژنوتیپ های مورد بررسی تنوع ژنتیکی زیادی از نظر واکنش به بیماری سفیدک سطحی وجود دارد. بر پایهٔ روند شدت آلودگی در تاریخ ۳۰ مرداد، شمار ۲۲ ژنوتیپ با شدت آلودگی کمتر از ۲/۵ به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم شناسایی شدند. با انتقال ژن‌های مقاومت به سفیدک سطحی از ژنوتیپ‌های یادشده به رگه‌های الیت چغندرقند می‌توان میزان مقاومت به این بیماری را در رقم‌های تجارتی به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد.



شکل ۳. دندروگرام به‌دست‌آمده از تجزیهٔ خوشه‌ای بر پایهٔ صفات کمی (عملکرد ریشه و عملکرد شکر)، کیفی (درصد قند قابل استحصال و عیار قند) و شاخص بیماری در ۱۳۹ ژنوتیپ چغندرقند. خطی که از فاصلهٔ ۲/۷ در مقیاس اقلیدسی از روی کلاسترها عبور کرده است نشان‌دهندهٔ محل برش دندروگرام است که بنابراین، ۱۳۹ ژنوتیپ به ۷ گروه تقسیم شدند که شمارهٔ این گروه‌ها درون مستطیل‌ها نشان داده شده است. اسامی ژنوتیپ‌ها نیز در جدول ۱ بیان شده است.

Figure 3. Dendrogram derived from cluster analysis based on quantitative (root yield and sugar yield) and qualitative traits (sugar content and white sugar content) and disease severity in 139 sugar beet genotypes. The dendrogram was cut off at 2.7 distance on Euqledian scale; so, the genotypes were divided into 7 groups whose numbers are shown inside the boxes. The name of the genotypes is given in Table 1.

بررسی رابطهٔ رگرسیونی بین عملکرد شکر سفید و شدت بیماری در فامیل‌های مورد بررسی نشان داد، ژنوتیپ‌هایی که حساس‌ترند عملکرد شکر کمتری دارند و برعکس. تجزیهٔ خوشه‌ای جمعیت‌های والدینی اولیه و فامیل‌های نیمه خواهری حاصل از آن‌ها بر پایهٔ صفات کمی و کیفی و واکنش به بیماری، نشان داد، ژنوتیپ‌های گروه ۵، جزو منابع مقاومت به این بیماری بوده و میزان شدت آلودگی در آن‌ها پائین بوده و عملکرد شکر و درصد قند قابل استحصال به نسبت بالایی داشتند که می‌توان از آن‌ها، به‌ویژه از ۱۴ ژنوتیپ این خوشه، برای انتقال مقاومت به ژنوتیپ‌های دیگر بهره گرفت. ژنوتیپ‌های گروه ۲، با بالاترین مقادیر صفات کمی و کیفی جزو ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب شناخته شدند. همچنین، بیشترین درصد فراوانی فامیل‌های نیمه خواهری که شاخص بیماری کمتر از ۲/۵ داشتند متعلق به جمعیت والدینی 32165 (S1–89016) بود. لذا، احتمال بیشتری وجود دارد که بتوان از این جمعیت، فامیل‌های مقاوم جدیدی انتخاب کرد.

سپاسگزاری

از مشاورهٔ آقایان دکتر محمدعلی چگینی و دکتر سید باقر محمودی و همکاری پژوهشگران، کارشناسان و تکنسین‌های بخش‌های تحقیقاتی ستاد مؤسسه و ایستگاه تحقیقات مهندس مطهری کرج، آقایان مهندس سعید واحدی، مهندس بابک بابایی و مهندس عبدالرضا کرمانی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Abdollahian Noghabi, M., Shekholeslami, R. & Babaei, B. (2005). Terms and definitions of yield and technological quality o sugarbeet. *Journal of Sugar Beet*, 21(1), 101-104.
2. Abrinbana, M., Babai-Ahary, A. & Majidi Heravan, I. (2007). Assessment of resistance in sugarbeet lines to damping-off caused by *Pythium ultimum* Trow var. *ultimum* under greenhouse conditions. *Plant Pathology Journal*, 6, 266-270.
3. Asher, M. (2002). Disease in 2001and their control. *British Sugar Beet Review*, 70, 30-33.
4. Asher, M. & Williams, G. (1992). Controlling leaf disease: powdery mildew. *British Sugar Beet Review*, 60, 35-37.
5. Asher, M. J. C., Luterbacher, M. C. & Frese, L. (2001). Wild Beta species as a source of resistance to sugar-beet pests and diseases. In: *Comptes-Rendus des congres de l'institut international de recherches betteravieres (Belgium)*.
6. Basati, J., Zareii, J., Zarrabi, M. R. & Fazli, H. (2003). Effect of powdery mildew disease on quantity and quality of sugare beet yield in Kermanshah province. *Journal of Sugar Beet*, 19, 97-108. (in Farsi with English abstract).
7. Basati, J., Mesbah, M., Karimzadeh, Gh. & Sadeghian, S. Y. (2005). Analysis of genetic resistance to powdery mildew disease in sugar beet. *Journal of Sugar Beet*, 21(2), 105-122. (in Farsi with English abstract)
8. Basati, J. & Roshani, Kh. (2006). *Investigation of tolerance in commercial variety of sugar beet to powdery mildew disease*. Final Report. (in Farsi with English abstract)
9. Basati, J., Sheikholeslami, M., Babai, B. & Roshani, Kh.(2009). *Investigation of tolerance in commercial variety of sugar beet to powdery mildew disease*. Final Report. (in Farsi with English Abstract)
10. Basati, J., Sheikholeslami, M., Jalilian, A., Nemati, A. & Khodai, A. H. (2013). Development of diploid pollinator for resistance to powdery mildew disease in sugar beet. *Journal of Sugar Beet*, 29(1), 1-13. (in Farsi with English Abstract)
11. Gado, E. A. M. (2013). Impact of treatment with some plant extracts and fungicides on sugar beet powdery mildew and yield components. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 468-472
12. Grimmer, M. K., Bean, K. M. R. & Asher, M. J. C. (2007). Mapping of five resistance genes to sugar-beet powdery mildew using AFLP and anchored SNP markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 115, 67-75.
13. Janssen, G. J. W., Nihlgard, M. & Kraft, T. (2003). Mapping of resistance genes to powdery mildew (*Erysiphe betae*) in sugar beet. *1st Joint IIRB-ASSBT Congress*, 26th Feb -1st March 2003, San Antonio, USA.
14. Kontradowitz, L. & Verreet, J. A. (2010). Assessment of resistance and virulence in the pathosystem sugar beet (Beta vulgaris)/powdery mildew (*Erysiphe betae*)-development of basics for an effective powdery mildew resistance breeding. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 117(2), 49-54.

15. Lewellen, R. T. & Schrandet, J. K. (2001). Inheritance of powdery mildew resistance in sugar beet derived from Beta vulgaris subsp. maritima. *Plant Disease*, 85, 627-631.
16. Liatucas, Z. & Ruzgas, V. (2008). Powdery mildew resistance of winter wheat cultivars registered in Lithuania. *Zemdirbyste-Agriculture*, 95, 327-335.
17. Luterbacher, M. C., Asher, J. M., Asher, M. J. C. & Frees, L. (2000). Disease resistance in collection of Beta species. *Sugar Beet Research*, 37, 39-47.
18. Luterbacher, M. C., Asher, M. J. C., DeAmbrogio, E., Biancardi, E., Stevenato, P. & Frese, L. (2004). Sources of resistance to diseases of sugar beet in related Beta germplasm: I. Foliar diseases. *Euphytica*, 139, 105-121.
19. Marchesan, C. B., Melo, A. M. & Paterniani, M. E. A. (2009). Combining ability in sweet pepper for resistance to powdery mildew. *Horticultura Brasileira*, 27(2), 189-195.
20. Oliver, T. N. & Gallian, J. J. (2013). Powdery mildew on sugar beet: importance, identification, and control. Pacific North-West Extension Publication, 1-5, p. 4.
21. Reinefeld, E., Emmerich, A., Baumgarten, G., Winner, C. & Beiss, U. (1974). Zur voraussage des melassezuckers aus rubenanalysen. *Zucker*, 27, 2-15.
22. Sheikholeslami, M. (2005). *Genetic diversity of Iranian Isolates of sugar beet powdery mildew in Iran*. Ph. D. Thesis. Faculty of Agriculture, Tehran University. (in Farsi with English Abstract)
23. Sheikholeslami, M. & Basati, J. (1998). Preliminary study on the selection of resistant sources of the genus Beta resistant to powdery mildew in sugar beet. Final Report. (in Farsi with English Abstract)
24. Taleghani, D. F., Sadeghzadeh Hemayati, S. & Mesbah, M. (2010). *Strategic framework for sugar beet research*. Publication of Sugar Beet Seed Institute, Karaj, Iran. 520 pp.
25. Ćurčić, Ž., Nagl, N., Taški-Ajduković, K., Danojević, D., Stojaković, Ž. & Kovačev, L. (2013). Genetic diversity and combining abilities for root traits of sugar beet pollinators. *Genetika*, 45(2), 361-368.
26. Weltzien, H. C. (1963). *Erysiphe betae* (vanha), the powdery mildew of beets. *Phytopathology*. 47, 123-123.
27. Whitney, E. D. (1989). *Beta maritima* as a source of powdery mildew resistance in sugar beet. *Plant Disease*, 73, 487-489.
28. Whitney, E. D., Lewellen, R. T. & Skoyen, I. O. (1983). Reaction of sugar beet to powdery mildew: genetic variation, association among testing procedure and resistance breeding. *Phytopathology*, 73, 183-185.