نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۱۴۶-۱۳۸

Journal of Plant Protection
Vol. 28, No. 1, Spring 2014, P. 138-146

رفتارهای فیزیولوژیک چغندر قند در واکنش به بیماری ویروسی ریزومانیا

جواد رضایی[۱*]- محمد بنایان اول[۲]- احمد نظامی[۳]- محسن مهرور[۴]- باقر محمودی[۵]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۹/۱۲

چکیده

بیماری ریزومانیا امروزه به عنوان یکی از مهمترین و مخرب‌ترین بیماری ویروسی در سطح مزارع چغندر قند جهان و ایران مطرح می‌باشد. مطالعات زیادی با هدف شناخت اثرات فیزیولوژیکی بیماری ریزومانیا بر روی چغندر قند در سایر کشورهای جهان انجام شده است، اما در شرایط اکولوژیکی ایران و بر روی تیپ‌های موجود از این بیماری در کشور و همچنین ارقام داخلی تاکنون تحقیق جامعی انجام نشده است. برای این منظور در سال ۱۳۸۹ آزمایشی با ۴ رقم چغندر قند بریجیتا، زرقان، جلگه و رسول با میزان تحمل متفاوت نسبت به این بیماری در مشهد و زمین کاملاً آلوده انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بیماری ریزومانیا به شدت خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ارقام حساس را تحت تاثیر قرار داد. این بیماری موجب کاهش سطح سبز و کارایی فتوسنتزی برگها گردید. علاوه بر این از طریق ایجاد تغییرات مخرب در ریشه ذخیره‌ای و ریشه های فرعی سبب کاهش توانایی جذب این اندام و در نهایت موجب کاهش شدید عملکرد ریشه ذخیره‌ای در ارقام حساس شد.

واژه های کلیدی: آزمون الایزا، هدایت روزنه‌ای، دمای برگ، اسپد، فلورسانس کلروفیل

مقدمه

بیماری ریزومانیا[۶] یا ریشه گنایی[۷] یکی از مهمترین بیماری‌های شایع در مزارع چغندرقند جهان و ایران محسوب می شود. عامل بیماری، ویروس زردی نکروتیک رگبرگ چغندرقند[۸] و ناقل آن قارچ *Polymyxa beta* keskin می باشد (۲۴ و ۲۵). اولین گزارش منتشر شده در جهان در مورد این بیماری به سال ۱۹۵۲ از شمال ایتالیا باز می گردد (۱۹). در ایران این بیماری اولین بار توسط ایزدپناه و همکاران (۲) از فارس گزارش شد و متعاقباً وجود آن در مزارع چغندر قند اکثر نواحی کشور به اثبات رسید (۱). در صورت عدم اجرای روش‌های کنترلی موثر، بیماری ریزومانیا بطور معنی‌داری سبب کاهش عملکرد، درصد قند و کیفیت ریشه چغندر میشود (۶)، بطوریکه امروزه به عنوان مهمترین عامل خسارت‌زا در مزارع چغندر قند جهان تبدیل شده است (۱۲ و ۲۶). انجام پروژه‌های درازمدت به نژادی و تولید ارقام متحمل نسبت به این بیماری تنها راه جلوگیری از خسارت ناشی از آن است. در ایران نیز از سال‌های گذشته فعالیت‌های به‌نژادی گسترده‌ای برای تولید ارقام متحمل نسبت به این بیماری شروع شده و در حال اجرا می‌باشند (۳، ۵ و ۶). به منظور کمک به روند اصلاح ارقام، شناخت چگونگی تاثیر این بیماری و تغیرات فیزیولوژیکی ناشی از آن بر گیاه چغندر قند بسیار ضروری است.

در سطح مزرعه چغندر قند، اولین علامت برای احتمال آلودگی به ریزومانیا رنگ‌پریدگی برگ‌ها (۱۰) می‌باشد، که البته باید آن را از علائم کمبود عناصر غذایی تفکیک کرد. بر این اساس یکی از راه‌های شناسایی میزان تحمل ارقام نسبت به این بیماری ارزیابی میزان زرد شدن برگ‌های آنهاست. برای این کار یک روش ساده رتبه‌بندی میزان زردی برگ ارقام بر پایه نمرات از ۱ تا ۵ (نمره ۵ برای سبز کامل و نمره ۱ برای زرد کامل) است که این کار باید توسط فرد با تجربه انجام شود (۳). با این حال علاوه بر این روش، در آزمایشات تحقیقاتی متعددی از دستگاه کلروفیل‌متر اسپد[۹] نیز جهت تخمین میزان کلروفیل و همچنین پی‌بردن به وضعیت نیتروژن در گیاهانی

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
(*- نویسنده مسئول: Email: javad.rezaei@stu-mail.um.ac.ir)
۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند

6- Rhizomania
7- Root Madness
8- Beet Necrotic Yellow Vein Virus, BNYVV
9- SPAD

همچون برنج (۲۰) و ذرت (۷) استفاده شده است. در رابطه با چغندر قند نیز طی تحقیقاتی (۴ و ۲۲) از این روش جهت برآورد میزان کلروفیل گیاه استفاده شده است.

وجود درازمدت اسپورهای در حال استراحت قارچ ناقل در خاک، روش‌های کنترل زراعی و شیمیایی این بیماری را با شکست مواجه می‌کند. به همین خاطر بهترین و مطمئن‌ترین روش کنترل آن تولید ارقام متحمل در روش‌های طولانی مدت اصلاح نباتات می‌باشد (۱۱).

مطالعات زیادی با هدف شناخت اثرات فیزیولوژیکی بیماری ریزومانیا بر روی چغندر قند انجام شده است (۱۱). بسیاری از این مطالعات با هدف ارزیابی تغییرات ریشه تحت تاثیر بیماری انجام شده‌اند، با این حال برخی از تحقیقات دیگر نتایج آلودگی ریشه به ریزومانیا را بر برگ‌های چغندر قند مورد بررسی قرار داده اند (۱۱ و ۱۶). بررسی‌ها نشان داده‌اند که در شرایط آلوده به ریزومانیا میزان کلروفیل (۲۳) و جذب دی‌اکسیدکربن (۲۹) به ازای واحد وزن تر برگ‌های گیاهان حساس آلوده در مقایسه با گیاهان سالم کاهش می‌یابد. کِلر و همکاران (۱۱) نشان دادند که در شرایط خاک آلوده به ریزومانیا، ارقام حساس چغندر قند در مقایسه با ارقام متحمل جذب دی‌اکسیدکربن و تعرق کمتری داشتند. در این آزمایش بر اساس اندازه‌گیری روابط آب داخل گیاه مشخص گردید که ارقام حساس در شرایط آلوده دارای هدایت روزنه‌ای کمتر و فشار آوندی بیشتری بودند. این علائم نشان از وقوع تنش خشکی در گیاه می‌باشند. به دنبال محدودیت تعرق در این گیاهان، دمای برگ نیز در مقایسه با ارقام متحمل به میزان ۲/۳ درجه سانتیگراد بیشتر بود (۱۱).

کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها و متعاقب آن زرد شدن برگ‌ها (۱۹ و ۲۵) که از علائم تیپیک این بیماری در سطح مزارع چغندر قند محسوب می‌شود، سبب کاهش میزان سرعت فتوسنتز در گیاهان آلوده می‌گردد. این شرایط بعلاوه کاهش میزان ظرفیت فتوسنتزی تثبیت دی‌اکسیدکربن (۱۱) سبب کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه می‌شود. کلاور و همکاران (۸) نشان دادند که کاهش رشد بوته‌های چغندر قند آلوده به بیماری ویروس زردی به دو دلیل کاهش فتوسنتز خالص و کاهش میزان جذب نور به دلیل زرد شدن برگ‌ها می‌باشد.

هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تاثیر بیماری ویروسی ریزومانیا بر فعالیت‌های فیزیولوژیک ارقام حساس و متحمل اصلاح شده چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) در شرایط خاک آلوده ایران می‌باشد، تا در نهایت با شناخت رفتارهای فیزیولوژیک چغندر قند در مواجهه با این بیماری بتوان با اصلاح این فرآیندها به تولید ارقام متحمل رسید.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۹ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در شرایط خاک آلوده به ریزومانیا انجام شد. آلودگی خاک مزرعه آزمایش، بر اساس نتایج آزمایشات دراز مدت انجام شده در آن طی سال های متوالی گذشته و همچنین انجام آزمون الایزا[1] (۱۰) به اثبات رسیده بود. بر اساس آزمون خاک، بافت خاک مزرعه آزمایشی، لومی با pH معادل ۸، Ec برابر با ۱/۴۴ دسی‌زیمنس بر متر و میزان ماده آلی ۰/۵ درصد بود. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۹۹۹ متر واقع شده است. میانگین‌های دراز مدت دمای روزانه آن ۱۴/۱، حداقل دمای مطلق آن ۷/۱ و حداکثر مطلق آن ۲۱/۱ درجه سانتیگراد با میانگین بارش ۲۵۰ میلیمتر در سال می‌باشد. داده‌های آب و هوایی درازمدت از سایت سازمان هواشناسی کشور[2] و دماهای متوسط، حداقل و حداکثر روزانه از ایستگاه هواشناسی خودکار[3] نصب شده در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی بدست آمدند.

به منظور بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه چغندر قند به بیماری ریزومانیا این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار و ۴ تیمار رقم چغندر قند اجرا گردید. انتخاب ارقام چغندر قند مورد استفاده در آزمایش به گونه‌ای بود که طیفی از ارقام کاملاً حساس تا کاملاً متحمل را شامل شوند. برای این منظور ارقام تجاری بریجیتا (متحمل نسبت به ریزومانیا)، زرقان (نسبتاً متحمل)، جلگه (حساس) و رسول (حساس) برای این آزمایش برگزیده شدند. کاشت آزمایش در کرت‌هایی به طول ۱۰ متر و ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتیمتر و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتیمتر در تاریخ اول اردیبهشت به وسیله بذر کار تحقیقاتی مدل وینترشتایگر[4] انجام شد.

در مرحله ۶-۴ برگی به منظور ایجاد تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار گیاهچه‌های سبز شده تنک شدند. آبیاری (بر اساس عرف مزرعه)، کوددهی (بر اساس آزمون خاک)، کنترل شیمیایی آفات و بیماری‌های غیر از بیماری ریزومانیا (بر اساس بازدید های منظم) و وجین دستی علف‌های هرز به گونه‌ای انجام شد تا مزرعه عاری از هرگونه تنش آبی، کمبود عناصر غذایی و خسارت عوامل زنده محیطی باشد.

طی فصل رشد و به فاصله هر دو هفته یکبار از سطحی معادل یک متر مربع نمونه گیری تخریبی جهت اندازه گیری سطح برگ

1- ELISA
2- www.irimo.ir
3- iMETOS (Pessl Instruments)
4- Wintersteiger

انجام شد. سطح پهنک برگ‌ها پس از جدا شدن از دمبرگ توسط دستگاه سنجش سطح برگ (LICOR, model LI-3100C, Lincoln, USA) اندازه‌گیری گردید و از تقسیم سطح برگ بر سطح نمونه گیری (هر دو با واحد سطح یکسان) شاخص سطح برگ هر نمونه بدست آمد.

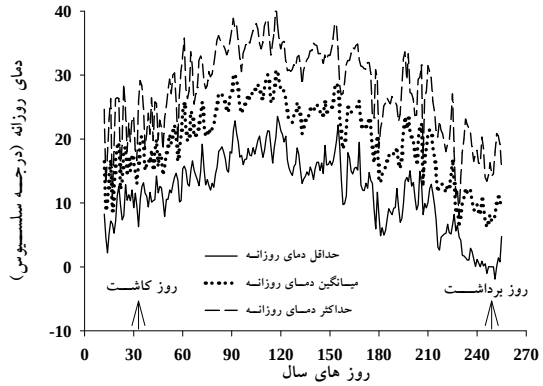
شاخص قرائت کلروفیل‌متر در دو مرحله در تاریخ های بیستم مرداد (زمان حداکثر فعالیت گیاه و بیماری) و بیست و هفتم شهریور ماه (زمان افت فعالیت گیاه و بیماری) توسط دستگاه اسپد (SPAD-502 Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan) اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F'_v/F'_m) به وسیله دستگاه فلورومتر (Portable Chlorophyll Fluorometer, MINI-PAM, Germany) و از محل میانی برگ و بین رگبرگ اصلی و لبه‌ی برگ جوان کاملاً توسعه یافته انجام گرفت.

به منظور بررسی روند توسعه بیماری در ریشه ارقام مورد آزمایش در تاریخ‌های ششم شهریور، سیزدهم مهر و ششم آذر (زمان برداشت) شدت وقوع بیماری در ریشه ارقام با استفاده از شاخص بیماری لوترباخر (۱۵) مورد مقایسه قرار گرفت. در این روش براساس میزان ریشه ریشی، تغییر رنگ و نکروزه شدن ریشه ذخیره‌ای در اثر شدت بیماری ریزومانیا، میتوان ریشه ارقام مختلف را درجه بندی و بطور نسبی مقاومت ارقام را ارزیابی کرد. این روش با مقیاس از ۱ الی ۹ طراحی شده است که با افزایش نمره بیماری تا ۹ بر شدت آلودگی و خسارت رقم افزوده خواهد شد. علاوه بر این روش، جهت بررسی دقیق‌تر میزان آلودگی ارقام به بیماری ریزومانیا در تاریخ چهارم مرداد (زمان بسته شدن کانوپی و اوج شدت بیماری) از ریشه هر یک از ارقام نمونه لازم برای آزمون الایزا تهیه و به آزمایشگاه گیاهپزشکی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند (کرج) ارسال گردید. نتایج شاخص این آزمون (OD)[1] مورد آنالیز آماری قرار گرفت. در مرداد ماه به دلیل افزایش دما (شکل ۱)، فعالیت قارچ ناقل بیماری به اوج خود می‌رسد.

به منظور اندازه گیری میزان هدایت روزنه‌ای و همچنین دمای برگ از دستگاه پرومتر مدل SC-1 شرکت دِکاگون (Decagon) استفاده شد. این اندازه‌گیری در تاریخ بیستم مرداد (زمان بسته شدن کانوپی) و در نیمه روز انجام شد.

در انتهای فصل رشد برداشت هر یک از کرت های آزمایشی در سطحی معادل ۱۰/۵ مترمربع انجام و ریشه های چغندر قند پس از حذف اندام‌های هوایی و شستشو، توزین و عملکرد بر مبنای واحد سطح محاسبه گردید.

جهت پردازش اولیه داده‌ها از نرم افزارهای Excel 2007 و Minitab 13 و برای تجزیه آماری از نرم افزار SAS 8 استفاده گردید و منحنی‌های مربوطه نیز بوسیله نرم افزار Sigma plot 10 رسم شدند. میانگین صفات بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال آماری ۵ درصد مقایسه شدند.



شکل ۱- تغییرات درجه حرارت حداقل، متوسط و حداکثر روزانه در سال اجرای آزمایش (۱۳۸۹) در مشهد

نتایج و بحث

میزان تحمل پذیری ارقام

آزمون الایزا

نتایج تجزیه واریانس شاخص آزمون الایزا (میزان جذب نور)، حکایت از اختلاف معنی‌دار ($p < 0.01$) بین ارقام بود (جدول ۱). شکل ۲ مقایسه شاخص آزمون الایزای ارقام مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد. جذب نور کمتر نشان دهنده غلظت کمتر ویروس ریزومانیا در ریشه می‌باشد. رقم متحمل بریجیتا و رقم حساس جلگه به طور معنی‌داری نسبت به سایر ارقام به ترتیب کمترین (۰/۰۷۸) و بیشترین (۰/۶۳۷) میزان جذب نور را در شرایط آزمایش حاضر داشتند. با توجه به واکنش متفاوت ارقام حساس و متحمل به شرایط آلوده ناشی از بیماری ریزومانیا و میزان تحمل متفاوت ارقام مورد استفاده، این ارقام بر اساس پیشینه معرفی شده برای آنها به خوبی در شرایط آزمایش حاضر نمود داشتند. رضایی (۵) در مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند در شرایط آلودگی طبیعی خاک زراعی، در آزمون الیزا متوسط جذب نور (در۴۱۰ نانومتر) برابر با ۰/۲۱۰، ۰/ ۲۳۵ و ۰/۵۵۶ را به ترتیب برای ارقام بریجیتا، زرقان و جلگه گزارش کرد.

آزمون الایزا ساده‌ترین روش ارزیابی وجود یا عدم وجود ویروس ریزومانیا در گیاه زراعی می‌باشد (۱۴). علاوه بر تعیین مثبت یا منفی بودن آلودگی ریزومانیا، میتوان بر اساس شاخص جذب نور (OD) این آزمون، شدت آلودگی ارقام را نیز مقایسه کرد. نتایج اولیه آزمون، وجود ویروس ریزومانیا را داخل ریشه کلیه ارقام تایید کرد که این نتیجه، نشانه آلودگی کامل خاک محل آزمایش می‌باشد.

1- Optical Density

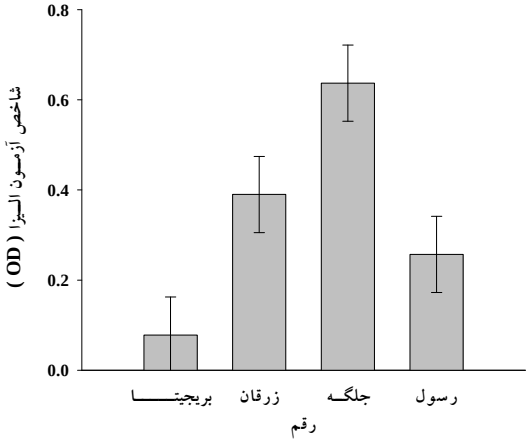
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات شاخص آزمون الایزا (OD)، شاخص شدت وقوع بیماری [الف] و شاخص قرائت کلروفیل متر [ب] در زمان های مختلف فصل رشد

		میانگین مربعات[ج]					
منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص آزمون الایزا (OD)	شاخص شدت وقوع بیماری ۱	شاخص شدت وقوع بیماری ۲	شاخص شدت وقوع بیماری ۳	شاخص قرائت کلروفیل متر ۱	شاخص قرائت کلروفیل متر ۲
تکرار	۳	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۴۲ ns	۲/۷۹ ns	۰/۶۰*	۱۴/۰۵ ns	۱۴/۲۱**
رقم	۳	۰/۲۲۱۶**	۴۴/۲۵**	۷/۲۹**	۲۵/۶۸**	۱۲۰/۴۴ **	۷۴/۹۱**
خطا	۹	۰/۰۱۱۲	۰/۱۹	۱/۰۶	۰/۱۴	۱۰/۱۹	۲/۰۲
ضریب تغییرات		۳۱/۰۵	۷/۵۱	۱۹/۱۱	۶/۹۴	۸/۷۶	۳/۷۵

الف: ۱= ششم شهریور ۲= سیزدهم مهر ۳= ششم آذر

ب: ۱= بیستم مرداد ۲= بیست و هفتم شهریور

ج: ** ، * و ns = به ترتیب معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد و غیر معنی دار



شکل ۲- میزان شاخص جذب نور (OD) در آزمون الایزای ارقام چغندر قند در شرایط آلودگی طبیعی خاک به بیماری ریزومانیا. خطوط عمودی نشانه مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

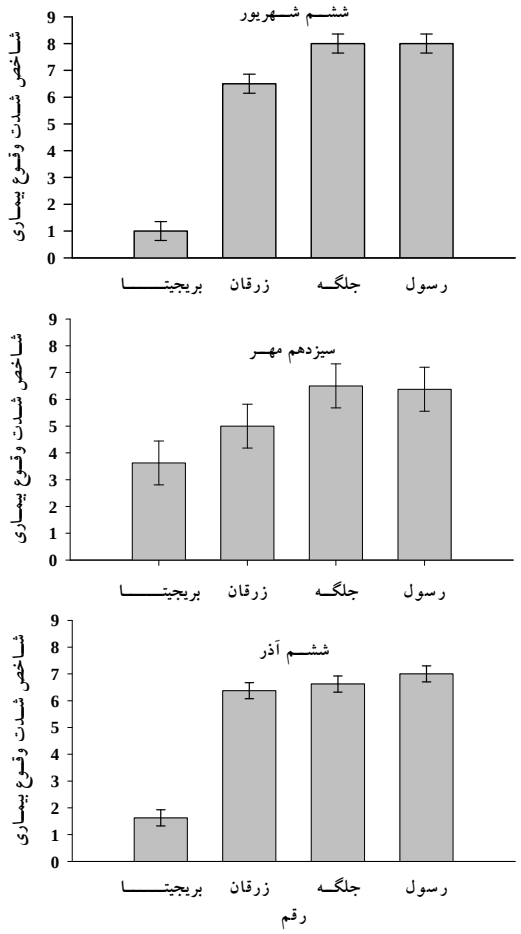
شاخص شدت وقوع بیماری

به منظور بررسی روند تغییرات میزان ابتلاء هر یک از ارقام به بیماری ریزومانیا طی فصل رشد، نمره‌دهی به ریشه ارقام بر اساس مقیاس لوترباخر در سه تاریخ و توسط فرد با تجربه (کارشناس ارشد بیماریهای چغندر قند) و ثابت برای هر سه مرحله انجام شد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که در هر سه مرحله، اختلاف شاخص شدت وقوع بیماری ارقام از نظر آماری معنی‌دار ($p < 0.01$) بود. در هر سه مرحله رقم متحمل بریجیتا بطور معنی‌داری کمترین و ارقام حساس جلگه و رسول بیشترین مقدار شاخص را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). به عبارت دیگر حداقل و حداکثر خسارت ناشی از آلودگی بیماری ریزومانیا به ترتیب به رقم بریجیتا و ارقام جلگه و رسول وارد شده است. اختلاف معنی‌دار بین بریجیتا و جلگه از نظر این صفت در آزمایشات رضایی (۵ و ۶) نیز گزارش شده است. افزایش شاخص لوترباخر نشانه افزایش میزان ریشه های فرعی، افزایش میزان نکروزه شدن آوندهای ریشه و از بین رفتن سیستم جذب و انتقال آب و مواد غذایی در ریشه است. این پدیده در نهایت گیاه را در بخش زیر زمینی به شدت تضعیف کرده و اثرات آن در نهایت تمام اندام‌های گیاه را تحت تاثیر منفی قرار خواهد داد.

شاخص قرائت کلروفیل‌متر

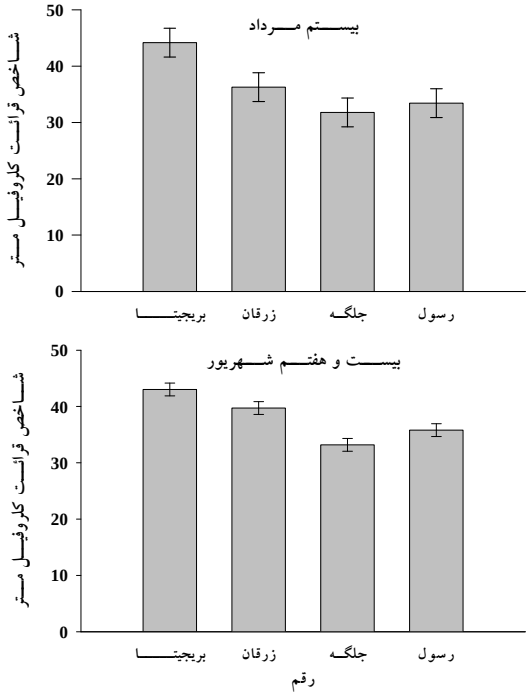
در هر دو مرحله اندازه گیری با دستگاه کلروفیل‌متر اسپد اختلاف بین ارقام در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) معنی دار بود (جدول ۱). رقم متحمل بریجیتا در هر دو مرحله بطور معنی‌داری نسبت به سایر ارقام از شاخص کلروفیل بالاتری برخوردار بود. در

مرحله اول قرائت، ارقام زرقان، جلگه و رسول از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، اما در مرحله دوم اختلاف میانگین قرائت کلروفیل‌متر بین هر چهار رقم از نظر آماری معنی‌دار بود. رقم متحمل بریجیتا نسبت به رقم حساس رسول که کمترین مقدار شاخص کلروفیل را در شرایط آزمایش حاضر دارا بود، در مرحله اول ۳۹ و در مرحله دوم اندازه‌گیری ۳۰ درصد شاخص کلروفیل بالاتری داشت (شکل ۴).



شکل۳- شاخص شدت وقوع بیماری (شاخص لوترباخر) ارقام چغندر قند در سه تاریخ ششم شهریور، سیزدهم آبان و ششم آذر در شرایط آلودگی طبیعی خاک به بیماری ریزومانیا. خطوط عمودی نشانه مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

از دستگاه کلروفیل‌متر اسپد در سایر مطالعات (۲۷ و ۲۸) نیز برای گیاه چغندر قند استفاده شده است. کاهش میزان شاخص قرائت کلروفیل‌متر نشانه کاهش سبزینگی گیاه و در نتیجه کاهش میزان کلروفیل گیاه می‌باشد، این پدیده در نهایت سبب کاهش قدرت فتوسنتزی گیاه خواهد شد (۲۵).



شکل٤- شاخص قرائت کلروفیل‌متر ارقام چغندر قند در دو تاریخ بیستم مرداد و بیست و هفتم شهریور در شرایط آلودگی طبیعی خاک به بیماری ریزومانیا. خطوط عمودی نشانه مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

دمای برگ

اختلاف ارقام چغندر قند از نظر دمای سطح برگ در شرایط آزمایش حاضر معنی‌دار نبود (جدول ۲). با این حال بررسی میانگین‌ها حکایت از اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین دمای سطح برگ رقم متحمل بریجیتا و رقم حساس رسول در شرایط آلوده دارد. بطوریکه دمای سطح برگ رقم متحمل به میزان ۱/۵ درجه نسبت به رقم حساس بیشتر بود. بین ارقام زرقان، جلگه و رسول تفاوت معنی‌داری به لحاظ این صفت وجود نداشت. همچنین بین دمای سطح برگ ارقام بریجیتا، زرقان و جلگه نیز اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۵).

در روزِ اندازه‌گیری دمای برگ (بیستم مرداد)، میانگین دمای هوا در ساعات اندازه‌گیری دمای برگ (بین ساعات ۱۱/۰۰ و ۱۲/۰۰) ۳۲/۵ درجه سلسیوس (بر اساس دمای لحظه‌ای ثبت شده توسط دستگاه هواشناسی خودکار در محل اجرای آزمایش) بود. بنابراین در شرایط آزمایش حاضر دمای برگ رقم متحمل بریجیتا و رقم حساس رسول به ترتیب ۱/۶۴ و ۰/۱۵ بالاتر از دمای محیط بوده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات دمای برگ (°C)، هدایت روزنه‌ای ($mmolm^{-2}s^{-1}$)، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II ، شاخص سطح برگ نهایی و عملکرد ریشه ذخیره‌ای (تن در هکتار)

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	دمای برگ (°C)	هدایت روزنه ای ($mmolm^{-2}s^{-1}$)	عملکرد کوانتومی	شاخص سطح برگ نهایی	عملکرد ریشه (تن در هکتار)
تکرار	۳	۵/۵۶ **	۳۲۵/۶۴ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۱۲ **	۹۰/۹۰ ns
رقم	۳	۱/۸۶ ns	۵۱۰/۷۷ ns	۰/۰۱۲**	۰/۷۴ **	۳۶۹۱/۹۸**
خطا	۹	۰/۸۲	۲۲۱/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۳۵/۱۷
ضریب تغییرات		۲/۷۰	۱۷/۹۲	۸/۷۲	۵/۷۰	۱۱/۹۲

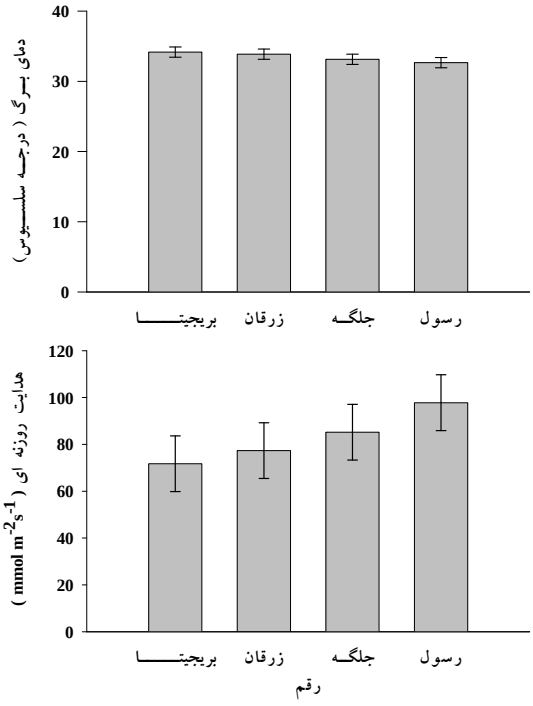
** ،* و ns – به ترتیب معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد و غیر معنی دار

لومن (۱۳) در سوئد طی تحقیقی روی چغندر قند نشان داد که در ساعات میانی روز دمای برگ در سطح بالایی ۷/۳ و در سطح زیرین ۵/۶ درجه سلسیوس بالاتر از دمای اطراف بود. در آزمایش کِلر و همکاران (۱۱) در شرایط آلوده به ریزومانیا دمای برگ (بین ساعات ۱۲/۰۰ تا ۱۶/۰۰) رقم حساس ۲ و رقم مقاوم ۱/۱ درجه بالاتر از دمای محیط بود. در این شرایط به بسته شدن روزنه‌ها بعنوان عامل اصلی در افزایش دمای برگ اشاره شده است.

هدایت روزنه ای

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، هدایت روزنه‌ای برگ ارقام چغندر قند اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. اما در مقایسه و گروه بندی میانگین‌ها، الگوی تفاوت بین میانگین‌ها شبیه اختلاف بین میانگین‌های دمای برگ بود. بطوریکه رقم متحمل بریجیتا بطور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد هدایت روزنه‌ای کمتری نسبت به رقم حساس رسول داشت. تفاوت هدایت روزنه‌ای ارقام بریجیتا، زرقان و جلگه نیز از نظر آماری معنی‌دار نبود و ارقام زرقان، جلگه و رسول نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵).

واریته های حساس چغندر قند در شرایط آلوده نسبت به واریته‌های متحمل نقطه جبران نوری و نقطه اشباع نوری بالاتری دارند (۱۱)، از طرف دیگر با توجه به اینکه گیاه حساس در شرایط آلوده تحت تاثیر تنش عامل بیماریزا قرار می‌گیرید، میزان تنفس و اتلاف دی‌اکسیدکربن تثبیت شده در آن نیز افزایش می‌یابد. در این شرایط گیاه حساس آلوده، برای جبران دی‌اکسیدکربن از دست داده نیاز دارد که روزنه های خود را برای مدت زمان بیشتری باز نگه دارد تا به تثبیت بیشتر دی‌اکسیدکربن اقدام کند. اما باز نگه داشتن روزنه‌ها، همراه با افزایش بیشتر اتلاف آب از گیاه از طریق تعرق خواهد بود (۱۸ و ۲۱)، که در نهایت گیاه را در معرض تنش خشکی قرار خواهد داد (۱۱).

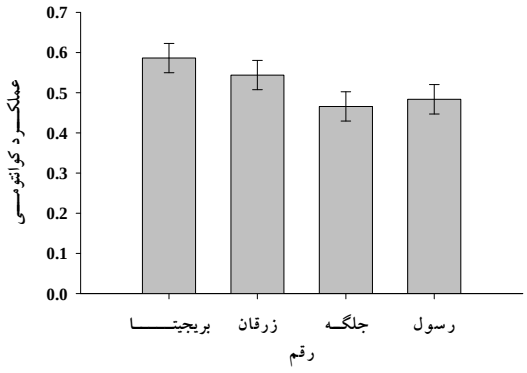


شکل ۵- دمای سطح برگ (درجه سلسیوس) و میزان هدایت روزنه‌ای (میلی مول در مترمربع برگ در ثانیه) ارقام چغندر قند در تاریخ بیستم مرداد در شرایط آلودگی طبیعی خاک به بیماری ریزومانیا. خطوط عمودی نشانه مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

عملکرد کوانتومی

در این مطالعه عملکرد کوانتومی در شرایط خاک آلوده، در سطح احتمال آماری یک درصد ($p < 0.01$) همانند آزمایش کِلر و همکاران (۱۱) و کلاور و همکاران (۸) تحت تاثیر نوع رقم چغندرقند قرار گرفت (جدول ۲). حداکثر و حداقل میزان عملکرد کوانتومی در شرایط آزمایش حاضر به ترتیب متعلق به رقم متحمل بریجیتا (۰/۵۸۶) و رقم حساس جلگه (۰/۴۶۶) بود. اختلاف بین ارقام حساس

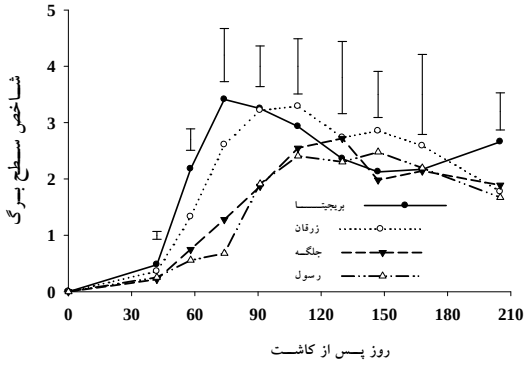
جلگه و رسول و رقم متحمل بریجیتا در سطح آماری ۵ درصد ($p < 0.05$) معنی دار بود (شکل ۶). در مطالعه کِلر و همکاران (۱۱) عملکرد کوانتومی رقم حساس در دو خاک آلوده و سالم برابر بود، اما عملکرد کوانتومی رقم متحمل در خاک آلوده کمی کاهش یافت. در آزمایش کلاور و همکاران (۸) در شرایط آلوده به بیماری ویروس زردی چغندر قند میزان عملکرد کوانتومی ارقام چغندر قند نسبت به شرایط سالم بطور معنی‌داری کاهش یافت. از جمله بارزترین واکنش‌های گیاهان به تنش ها، افت فتوسنتز ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II (۱۷) و کاهش عملکرد کوانتومی می‌باشد. این شاخص که تخمینی از بیشینه کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در یک شدت نور مشخص می‌باشد، تحت تاثیر تنش ها کاهش می یابد. عملکرد کوانتومی ارتباط مستقیمی با فتوسنتز خالص گیاه دارد (۹) و کاهش آن در نهایت سبب کاهش تولید ماده خشک، کاهش رشد و در نهایت کاهش عملکرد اقتصادی گیاه می‌شود.



شکل ٦- عملکرد کوانتومی ارقام چغندر قند در شرایط آلودگی طبیعی خاک به بیماری ریزومانیا. خطوط عمودی نشانه مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

شاخص سطح برگ

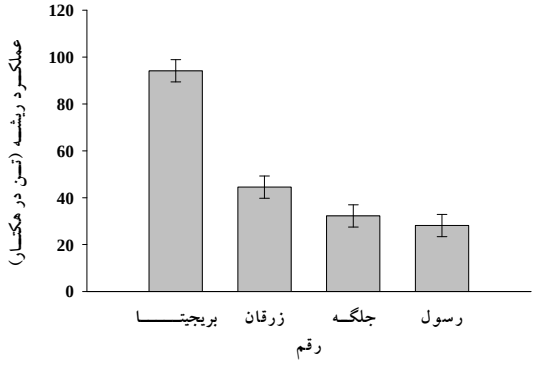
در اکثر مراحل نمونه گیری طی فصل رشد، مقادیر شاخص سطح برگ رقم متحمل بریجیتا و رقم نیمه متحمل زرقان بیشتر ار ارقام حساس جلگه و رسول بود. علاوه بر این سرعت افزایش سطح برگ و پر کردن کانوپی در ارقام متحمل بیشتر از ارقام حساس بود و این ارقام زودتر به حداکثر میزان شاخص سطح برگ خود رسیدند. به عبارت دیگر ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس در شرایط آلوده توان بالاتری در استفاده از انرژی نوری محیط داشتند (شکل ۷). در آزمایش کلاور و همکاران (۸) شاخص سطح برگ در شرایط آلوده کاهش پیدا کرد اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود ولی در این شرایط پوشش سبز گیاه چغندر قند تحت تاثیر آلودگی ویروس زردی چغندر قند بطور معنی‌داری کاهش یافت. در شرایط آزمایش حاضر با توجه به کاهش سبزینگی برگ‌ها (شکل ۴) و همچنین کاهش شاخص سطح برگ (شکل ۷) به نظر میرسد ارقام حساس در قیاس با ارقام متحمل مقدار زیادی از توان خود را در جذب و استفاده از نور محیط و بکارگیری آن در فرآیند فتوسنتز از دست داده‌اند.



شکل ۷- شاخص سطح برگ ارقام چغندر قند در شرایط آلودگی طبیعی خاک به بیماری ریزومانیا در مراحل مختلف فصل رشد. خطوط عمودی نشانه مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد و در هر نوبت نمونه گیری می‌باشند.

عملکرد ریشه ذخیره‌ای

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف عملکرد ریشه ذخیره‌ای در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) تحت تاثیر ارقام چغندر قند معنی‌دار گردید (جدول ۲). رقم متحمل بریجیتا با تولید حدود ۹۴ تن ریشه در هکتار بطور معنی‌داری برتر از سایر ارقام بود و رقم حساس رسول با تولید فقط ۲۸/۲ تن ریشه در هکتار حداقل عملکرد را در بین ارقام به خود اختصاص داد. بنابراین رقم متحمل نسبت به رقم حساس ۲۳۶ درصد افزایش تولید داشت. صرفنظر از اختلاف ژنتیکی بین ارقام عمده این تفاوت عملکرد مربوط به خسارت ناشی از بیماری ریزومانیا می‌باشد (شکل ۸). به نظر می‌رسد در شرایط آزمایش حاضر، کاهش سطح سبز (اشکال ۴ و ۷)، کاهش توان فتوسنتزی (شکل ۶) و کاهش تثبیت دی‌اکسیدکربن (۱۱) گیاه از مهمترین دلایل کاهش شدید عملکرد اقتصادی در شرایط آلوده به بیماری می‌باشند. مشکل دیگر گیاهان آلوده، تغییر در الگوی اختصاص مواد فتوسنتزی است. در شرایط آلوده، تنفس گیاه در بخش ریشه اصلی و ریشه‌های فرعی افزایش یافته و بخشی از مواد فتوسنتزی صرف تولید ویروس و قارچ ناقل ریزومانیا در این ناحیه می‌گردد (۱۱)، در نتیجه ذخیره و خلوص قند در ریشه کاهش می‌یابد (۵، ۱۱ و ۲۶).



شکل ۸- عملکرد ریشه ذخیره‌ای (تن در هکتار) ارقام چغندر قند در شرایط آلودگی طبیعی خاک به بیماری ریزومانیا. خطوط عمودی نشانه مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

از طرفی دیگر آلودگی ریشه و نکروزه شدن بافت‌های آن (۱۰) بر اثر این بیماری بطور غیر مستقیم از طریق محدودیت دسترسی به آب روی تبادل دی‌اکسیدکربن نیز اثر می‌گذارد. باز بودن روزنه‌ها با هدف تثبیت بیشتر کربن در نهایت سبب اتلاف آب از گیاه شده و اگر اتلاف آب بیش از جذب آن باشد، گیاه دچار تنش خشکی خواهد شد. ادامه این روند گیاه را مجبور به بستن روزنه‌ها کرده که در این صورت تبادل دی‌اکسیدکربن نیز مختل خواهد شد (۱۱). کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش توان سیستم فتوسنتزی، تنش آبی و کاهش تبادل دی‌اکسیدکربن از مهم‌ترین دلایل کاهش سرعت رشد، تولید ماده خشک و ذخیره قند در ریشه می‌باشند که در نهایت سبب کاهش شدید عملکرد اقتصادی چغندر قند می‌شوند.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بیماری ریزومانیا به شدت خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ارقام حساس را تحت تاثیر قرار داد. این بیماری در دو بخش هوایی و زیر زمینی باعث تغییراتی در فرآیندهای اندام‌های گیاهی شد. در بخش هوایی از طریق کاهش سطح سبز و کارایی فتوسنتزی برگ‌ها اندام‌های تولید کننده مواد فتوسنتزی گیاه چغندر قند را تضعیف کرد و سبب کاهش تولید در گیاه گردید. در بخش زیر زمینی نیز از طریق ایجاد تغییرات مخرب در ریشه ذخیره‌ای و ریشه‌های فرعی سبب کاهش توانایی جذب این اندام گردید. در نهایت برآیند این تغییرات از طریق کاهش عملکرد ریشه ذخیره‌ای در گیاه نمود پیدا کرد.

منابع

۱- ارجمند م.ن.، و آهون منش ع. ۱۳۷۵. ریزومانیا بیماری نوظهور چغندر قند. مجله چغندر قند. ۱۲ (۱و۲): ۷۱-۶۲.

۲- ایزد پناه ک.، هاشمی پ.، کامران ر.، پاک نیت م.، سهند پور آ.، و معصومی م. ۱۳۷۵. وجود گسترده بیماری ریشه‌ریشی در فارس. مجله بیماریهای گیاهی ۳۲: ۲۰۶-۲۰۰.

۳- دارابی س.، و سلطانی ج. ۱۳۸۷. ارزیابی مقاومت ارقام تجارتی چغندر قند به بیماری ریزومانیا در شرایط مزرعه. انتشارات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند.

۴- جواهری ش.، عبداللهیان نوقابی م.، کاشانی ع.، نوشاد ح.، و حبیبی د. ۱۳۹۰. اثر موقعیت و سن برگ بر محتوای نیتروژن و اعداد کلروفیل‌متر در چغندر قند. مجله علوم زراعی ایران ۱۳: ۹۸-۷۸.

۵- رضایی ج. ۱۳۸۵. ارزیابی تحمل پذیری ارقام داخلی و خارجی چغندر قند به بیماری ریزومانیا. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. انتشارات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

۶- رضایی ج. ۱۳۸۶. ارزیابی مقاومت ارقام تجارتی چغندر قند به بیماری ریزومانیا در شرایط مزرعه. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. انتشارات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

7- Bredemeier C. 2005. Leaf–induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph. D. Thesis. Technical University Munich, Germany.

8- Clover G.R.G., Azam-Ali S.N., Jaggard K.W., and Smith H.G. 1999. The effects of beet yellows virus on the growth and physiology of sugar beet (*Beta vulgaris*). Plant Pathology, 48: 129–138.

9- Demmig B., and Björkman O. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77 K) and photon yield of O2 evolution in leaves of higher plants. *Planta,* 171:171–84.

10- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). 2004. Beet necrotic yellow vein benyvirus. Bulletin, 34:229 –237.

11- Keller P., Luttge U., Wang X.C., and Buttner G. 1989. Influence of rhizomania disease on gas exchange

and water relations of a susceptible and a tolerant sugar beet variety. Physiological and Molecular Plant Pathology, 34:379-392.
12- Lennefors B.L., Savenkov E.I., Mukasa S.B., and Valkonen J.P.T. 2005. Sequence divergence of four soil-borne sugar beet-infecting viruses. Virus Genes, 31:57–64.
13- Loman G. 1986. The climate of a sugar beet stand. Dynamics, impact of the crop and possibilities of improvement. Dissertation, University of Lund, Sweden.
14- Lubicz J.V., Rush C.M., Payton M., and Colberg T. 2007. Beet necrotic yellow vein virus accumulates inside resting spores and zoosporangia of its vector *Polymyxa betae* BNYVV infects P. betae. Virology Journal, 4:37.
15- Luterbacher M.C., Asher M.J.C., Beyer W., Mandolino G., Scholten O.E., Frese L., Biancardi E., Stevanato P., Mechelke W., and Slyvchenko O. 2005. Sources of resistance to diseases of sugar beet in related Beta germplasm: II. Soil-borne diseases. Euphytica, 141:49-63.
16- Macri F., Vianello A., and Passera C. 1977. Solute uptake in sugar beet root seedlings affected by rhizomania disease. Physiological Plant Pathology, 11:179-187.
17- Maxwell K., and Johnson J.N. 2000. Review article: Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany, 51:659–668.
18- Ober E.S., Le Bloa M., Clark C.J.A., Royal A., Jaggard K.W., and Pidgeon J.D. 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. Field Crops Research, 91:231–249.
19- Pavli O.I., Stevanatob P., Biancardic E., and Skaracis G.N. 2011. Review: Achievements and prospects in breeding for rhizomania resistance in sugar beet. Field Crops Research, 122:165–172.
20- Peng S., Sanico A.L., Garcia F.V., and Laza R.C. 1999. Effect of leaf phosphorus and potassium concentration on chlorophyll meter reading in rice. Plant Production Science, 2:227-231.
21- Pettigrew W.T. 2004. Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. Crop Science, 44:1265–1272.
22- Rajabi A., Ober E.S., and Griffiths H. 2009. Genotypic variation for water use efficiency, carbon isotope discrimination, and potential surrogate measures in sugar beet. Field Crop Research, 112:172-181.
23- Salle G., Le Coz S., and Tuquet C. 1986. Biochemical, physiological and ultrastructural changes induced in sugar beet leaves by rhizomania. Physiologie Vegetate, 24:73-83.
24- Tamada T., and Baba T. 1973. Beet necrotic yellow vein virus from rhizomania-affected sugar beet in Japan. Annals of the Phytopathological Society of Japan, 39:325-332.
25- Tamada T. 1975. Beet necrotic yellow vein virus. CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses, No. 144.
26- Tamada T. 1999. Benyviruses. p. 154–160. In: Webster R.G., and Granoff A. (eds.) Encyclopedia of Virology. 2nd ed. Academic Press, London, UK.
27- Tsialtas J.T., and Maslaris N. 2008. Sugar beet response to N fertilization as assessed by late season chlorophyll and leaf area index measurements in a semi-arid environment. International Journal of Plant Production, 2 (1):57-66.
28- Van Eerd L.L., and Zandstra J.W. 2007. Enhancing sugar beet storage quality. Interim report No. ADVO253, Agriculture of Adaptation council. University of Guelph Ridge Town Campus. Agriculture and Agri–Food Canada. P. 2-15.
29- Vianello A., Macri F., and Passera C. 1980. CO_2 fixation and fate of photosynthetic products in leaves of sugar beet affected by rhizomania. Phytopathologische Zeitschrift, 99:63-69.