Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 49, No 1, Spring 2018 (79-91)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.213337.1060

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۷ (ص ۹۱-۷۹)

ارزیابی تحمل سرمای زمستانی و برآورد دمای بحرانی (LT_{50}) در ۲۱ نژادگان توت‌فرنگی

فرهاد کرمی[۱]، منصور غلامی[۲*]، احمد ارشادی[۳] و عادل سی‌وسه مرده[۴]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴. دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۵)

چکیده

آسیب و زیان یخ‌زدگی بوته‌های توت‌فرنگی یکی از بزرگ‌ترین عامل‌های کاهش عملکرد کمی و کیفی این محصول در مناطق معتدله است. به‌منظور ارزیابی تحمل به سرمای زمستان در ۲۱ نژادگان (ژنوتیپ) توت‌فرنگی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط طبیعی یخبندان‌های زمستانی (با کمینهٔ مطلق دمای ۲۸- درجهٔ سلسیوس) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قاملو وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منابع طبیعی کردستان به مدت یک سال اجرا شد. در این آزمایش شاخص آسیب یخ‌زدگی طوقه بر پایهٔ نشت یونی، دمای LT_{50} برگ، دمای LT_{50} طوقه، شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه، درصد زنده‌مانی، شمار برگ، سطح برگ، طول دم برگ و عملکرد نژادگان‌ها ارزیابی شد. اختلاف معنی‌داری بین نژادگان‌های مورد آزمایش برای همهٔ صفات مورد ارزیابی مشاهده شد. نژادگان‌های 'کراسنی برگ'، 'کویین الیزا'، 'آلیسو'، 'داچنیتسا' و 'کردستان' به ترتیب کمترین میزان آسیب یخ‌زدگی طوقه و بیشترین درصد زنده‌مانی و نژادگان‌های 'تنسی بیوتی' و 'سلوا' کمترین تحمل به سرمای زمستان را نشان دادند. بنا بر نتایج تجزیهٔ پروبیت دمای بحرانی طوقه، نژادگان 'کراسنی‌برگ'، متحمل‌ترین نژادگان به سرمای زمستان و نژادگان 'تنسی بیوتی'، حساس‌ترین نژادگان در مقایسه با دیگر نژادگان‌های مورد آزمایش بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین اندازهٔ برگ و طول دم برگ با شاخص آسیب یخ‌زدگی طوقه و دمای LT_{50} طوقه مشاهده شد درحالی‌که شمار برگ بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد زنده‌مانی و عملکرد بوته‌ها در شرایط تنش دمای پایین نشان داد. بنابر نتایج آزمایش، نژادگان‌های 'کویین الیزا'، 'ونتا'، 'آروماس' و 'کردستان'، در مقایسه با دیگر نژادگان‌های مورد بررسی، به ترتیب مناسب‌ترین نژادگان‌ها برای کشت در مناطق سردسیر کشور هستند.

واژه‌های کلیدی: آسیب یخ‌زدگی، درصد زنده‌مانی، عملکرد، نشت یونی.

Evaluation of winter cold tolerance and Critical temperature (LT50) estimation in 21 strawberry cultivars

Farhad Karami[1], Mansour Gholami[2*], Ahmad Ershadi[3] and Adel Sio-Se Mardeh[4]
1, 2, 3. Former Ph. D. Student, Professor and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
4. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
(Received: Aug. 4, 2016 - Accepted: Jan. 24, 2017)

ABSTRACT

Freezing injury of strawberry plants is one of the greatest factors reducing crop yield and quality in temperate regions. In order to evaluate the winter cold tolerance of 21 strawberry cultivars, an experiment was carried out based on randomized complete block design with three replications under natural freezing temperatures in agricultural research station of Ghamlou, part of on agricultural research center of Kurdistan. Crown freezing injury index (I_t) based on electrolyte leakage as well as leaf and crown LT_{50} values, crown tissue browning intensity, survival percent, number of leaf/plant, leaf area, petiol length and yield/plant of strawberry cultivars were meseaured. There were significant differences ($P\leq0.01$) between cultivars for all of the evaluated traits. The least crown freezing injury and the highest winter survival percent were seen in 'Krasnyy bereg', 'Queen Elisa', 'Aliso', 'Dachnitsa' and 'Kurdistan' cvs., respectively whereas 'Tennessee Beauty' and 'Selva' showed the least tolerance to low temperatures. According to the results of probit analysis of crown critical temperature (LT_{50}), 'Krasny Bereg' was the most tolerant cultivar to low temperatures while 'Tennessee Beauty' was the most sensitive cultivar compared to the other tested cultivars. Leaf area and petiol length had positive correlations with crown It and crown LT50 whereas the number of leaf/plant had a positive correlation with survival percent and yield/plant under low temperatures stress. Based on the results, the 'Queen Elisa' compared to other varieties is the most appropriate cultivar for cultivation in cold regions.

Keywords: Electrolyte leakage, freezing injury, survival, yield.

* Corresponding author E-mail: mgholami@basu.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria ananassa* گیاهی علفی چندساله از خانوادهٔ وردسانان یا گلسرخیان[1] است (Hancock, 2000). این گیاه سازگاری مناسبی به محدودهٔ گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی دارد. برخلاف سازگاری مطلوب این گیاه و همچنین کشت و کار آن در مناطق مختلف، دما به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکنندهٔ کشت و کار این گیاه در مناطق مختلف به شمار می‌رود. مناطق معتدله به دلیل داشتن دمای پایین برای برطرف شدن نیاز سرمایی و همچنین ایجاد شرایط مطلوب رشد به‌عنوان مناطق اصلی پرورش این گیاه در مزرعه به شمار می‌روند (Ledesma *et al.*, 2008). صفر فیزیولوژیکی این گیاه، بین ۳ تا ۷/۲ درجهٔ سلسیوس (Doving & Mage, 2001) و دمای مطلوب رشد برای بسیاری از نژادگان (ژنوتیپ)های توت‌فرنگی بین ۱۲ تا ۲۵ درجهٔ سلسیوس است (Wang, 2000). در مقابل بیشتر مناطق معتدلهٔ جهان دارای مشکلاتی مانند دمای پایین زمستانی و خطر آسیب یخبندان هستند. اگرچه توت‌فرنگی به شرایط آب و هوایی خنک سازگاری خوبی دارد و در دماهای یخبندان زمستانی از طریق تحمل تشکیل یخ در فضای بین یاخته‌ای زنده می‌ماند (Warmund & Camp, 1993)، اما شدت بیش از اندازهٔ یخبندان سبب آسیب شدید به تاج گیاه شده و گیاه را از بین می‌برد. در نتایج پژوهش‌های پیشین گزارش شده است که در شرایط حفاظت نشده، تاج‌پوشش (کانوپی) بوتهٔ توت‌فرنگی در دمای ۸- درجهٔ سلسیوس آسیب جدی دیده و در شرایطی که سازگار شده باشد در دمای ۱۲- الی ۱۵- درجهٔ سلسیوس بیشتر اندام‌های گیاه از بین می‌رود (Lindén *et al.*, 2008).

عامل‌های چندی مانند نژادگان، شدت یخبندان زمستان، پوشش‌دهی بوته، سازگاری پیش از رخداد سرما و زمان رخداد یخبندان زمستانی بر میزان مقاومت به سرما در نژادگان‌های توت‌فرنگی مؤثر هستند (Fisher, 2004). Yao *et al.* (2009) با بررسی مقاومت به سرمای زمستانی ۱۵ نژادگان توت‌فرنگی به مدت دو سال تحت زمستان‌های سرد نواحی شمال آمریکا، گزارش کردند که پوشش برف برای زنده‌مانی توت‌فرنگی یک عامل حیاتی است. Nestby & Bjørgum (1999) در آزمایشی بوته‌های سه نژادگان توت‌فرنگی در مراحل مختلف از اول دی‌ماه تا آخر فروردین تحت تیمارهای سرمایی قرار دادند و مشاهده کردند که در دمای ۱۲ ^{o}C- در بیشتر نژادگان‌ها بوته‌ها آسیب دیدند و میزان عملکرد بسته به نژادگان ۴۰ تا ۶۶درصد کاهش یافت و در دمای ۲۱ ^{o}C- همهٔ گیاهان یخزده و از بین رفتند. مقاومت به یخبندان در طول فصل سرما مدام در حال تغییر است. هنگامی‌که گیاه به تدریج در شرایط دمای پایین قرار گیرد، مقاومت به سرما افزایش می‌یابد (Lukoševičiūtė *et al.*, 2014). این موضوع نشان می‌دهد، در مناطق معتدله با کاهش تدریجی دما در اواخر پاییز، بوته‌های توت‌فرنگی در اوایل زمستان به بیشینه سازگاری به سرما رسیده و بیشترین مقاومت به سرما را دارند. در این بین افزون بر این موارد، انتخاب نژادگان مناسب یکی از راهکارهای مناسب رویارویی با سرمای زمستان است (Rohloff *et al.*, 2012).

نژادگان‌های توت‌فرنگی در نظام‌های کشت چندساله از نظر مقاومت به سرما، تفاوت زیادی با یکدیگر دارند (Rohloff *et al.*, 2012). مقاومت به سرمای گونه‌های آمریکایی و آسیایی جنس توت‌فرنگی شامل ۳۲ نژادگان وحشی توت‌فرنگی و دو رقم تجاری در مزرعه‌ای در دانشگاه مینه‌سوتای[2] آمریکا ارزیابی شد (Yao *et al.*, 2012). در بین این ۳۴ نژادگان مورد بررسی از گونه‌های مختلف توت‌فرنگی، گونهٔ *Fragaria iinumae* به سرمازدگی حساس بود و دچار آسیب شدید زمستانی شد درحالی‌که گونه‌های *F. nipponica* و*F. orientalis* زمستان را به‌خوبی پشت سر گذاشتند و عملکرد و رشد رویشی مناسبی داشتند. پژوهش‌های انجام گرفته در دیگر کشورها نیز بیشتر درزمینهٔ روش‌های ارزیابی آسیب سرما و تعیین دمای آستانهٔ تحمل در شمار معدودی از نژادگان‌های

1. Rosaceae

2. Minnesota

Archive of SID

www.SID.ir

توت‌فرنگی بوده و پژوهش‌های بسیار اندکی درزمینهٔ تأثیر دمای پایین بر زنده‌مانی و ویژگی‌های رشد رویشی و زایشی نژادگان‌های توت‌فرنگی انجام گرفته است.

روش‌های مختلفی مانند استفاده از شرایط طبیعی (Yao et al., 2009)، استفاده از اتاقک (انکوباتور)های رشد مدیریت‌شده (Lee et al.,2002) و همچنین استفاده از اتاقک انجماد (Lindén, 2002)، برای ارزیابی میزان مقاومت به سرما در گیاهان استفاده شده است. استفاده از شرایط طبیعی در صورت رخداد یخبندان‌های شدید به دلیل طبیعی بودن و همچنین قابلیت بیشتر هماهنگی یا انطباق آن با شرایط مزرعه یکی از راه‌های ارزیابی میزان مقاومت به سرما در گیاهان است که در موارد چندی در گیاه سیب (Lindén *et al*.,2008)، انگور (Palonen & Buszard,1997) و توت‌فرنگی (Boyce & Reed, 1983; Yao *et al*., 2012) استفاده شده است.

سرمای احتمالی شدید در ماه‌های سرد سال در نواحی سردسیر کشور از عامل‌های محدودکنندهٔ توسعهٔ توت‌فرنگی در این مناطق است. تاکنون گزارشی در رابطه با بررسی مقاومت به سرمای نژادگان‌های مختلف توت‌فرنگی و معرفی نژادگان‌های مناسب برای مناطق سردسیر کشور ارائه نشده است. با توجه به مزیت‌های نسبی و بازدهٔ اقتصادی تولید توت‌فرنگی لازم است پیش از توسعهٔ سطح زیر کشت نژادگان‌های توت‌فرنگی در مناطق سردسیر نسبت به شناسایی نژادگان‌های متحمل به سرما، تحقیق لازم به عمل آید. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی تحمل به سرمای ۲۱ نژادگان توت‌فرنگی در شرایط طبیعی یخبندان‌های زمستانه، غربالگری نژادگان‌های توت‌فرنگی متحمل به سرما و معرفی رقم‌های مناسب برای توسعه در نواحی سردسیر کشور است.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش و مواد گیاهی

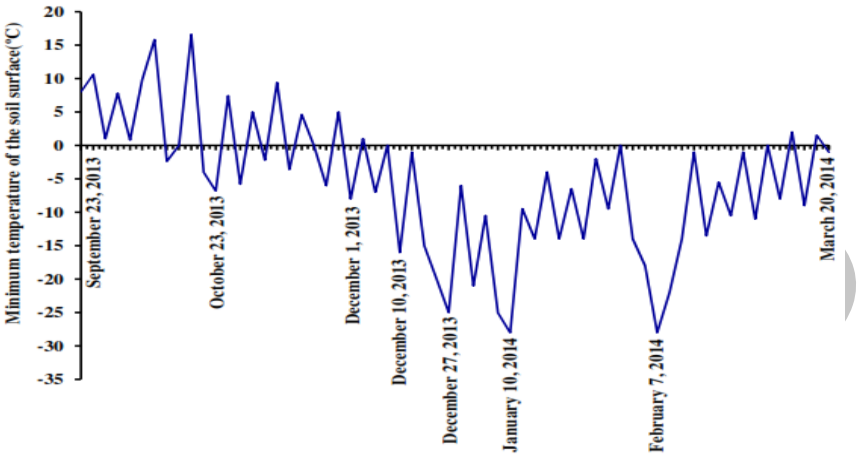
این آزمایش از فروردین ۱۳۹۲ به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قاملو وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، اجرا شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی قاملو در ۷۵ کیلومتری شرق سنندج در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۴ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۳ دقیقهٔ شمالی و ارتفاع ۱۸۶۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این ایستگاه تحقیقاتی مجهز به ایستگاه هواشناسی است و تغییرات روزانهٔ دما به‌ویژه کمینهٔ دمای سطح خاک از آغاز ماه مهر تا پایان اسفند ۱۳۹۲ ثبت شد (شکل۱). بر پایهٔ آمار هواشناسی ایستگاه (داده‌های ۱۵ سال)، میانگین بارندگی سالیانه در این ایستگاه معادل ۳۴۳ میلی‌متر، بیشینهٔ مطلق دما ^{o}C ۳۸/۵، کمینهٔ مطلق دما ^{o}C ۳۰/۶- و میانگین شمار روزهای دارای یخبندان، ۱۲۰ روز است. کاهش قابل توجه دما در ماه‌های آذر، دی و بهمن ۱۳۹۲ شرایط بسیار مناسبی را برای ارزیابی تحمل به سرما و غربالگری نژادگان‌های توت‌فرنگی فراهم آورد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

در مرحلهٔ کاشت بنابر نتایج آزمون خاک و نیاز غذایی توت‌فرنگی (Hochmuth & Albregts,1994; Nestby *et al*., 2005)، کود دامی پوسیده به میزان ۳۰ تن در هکتار به همراه ترکیبی از کودهای نیترات آمونیوم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، دی آمونیوم فسفات (۸۰ کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و گوگرد بنتونیت‌دار (۵۰ کیلوگرم در هکتار) با خاک محل آزمایش مخلوط شد. نشاهای با قطر طوقه به نسبت یکسان از ۲۱ نژادگان توت‌فرنگی (جدول ۲)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌صورت ردیفی در فروردین ۱۳۹۲ در مزرعه کاشته شدند. فاصلهٔ بین خطوط ۱۲۰ سانتی‌متر و روی هر خط، دو ردیف توت‌فرنگی با فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. در هر واحد آزمایشی ۵۰ بوته توت‌فرنگی کشت و از سامانهٔ آبیاری قطره‌ای استفاده شد. آبیاری به‌صورت دو بار در هفته و هر بار به مدت یک ساعت انجام گرفت. ازآنجاکه نظام کشت به‌صورت آبکشتی (هیدروپونیک) نبود از فرمول غذایی کامل استفاده نشد. در طول فصل رشد، بوته‌ها به فاصلهٔ هر ماه یک‌بار با استفاده از کود کامل ترکیبی Maki (محصول شرکت Grabi، ایتالیا) با غلظت ۳ در هزار محلول‌پاشی

Archive of SID

www.SID.ir

شدند. همچنین در دو مرحله (اواخر بهار و اواسط تابستان) از ترکیب کود آهن Ultraferro (محصول شرکت Tradecorp، اسپانیا) به میزان ۲ گرم در مترمربع و کود اوره (۵ گرم در مترمربع) از راه تزریق در سامانهٔ آبیاری استفاده شد. با کاربرد کودهای مورد اشاره، هیچ‌گونه نشانه‌های کمبود عنصرهای غذایی در نژادگان‌های مورد آزمایش مشاهده نشد و بوته‌ها رشد مطلوبی تا پایان فصل رشد دارند.



شکل ۱. تغییرپذیری روزانهٔ کمینهٔ دمای سطح خاک در ایستگاه تحقیقاتی قاملو (مهر- اسفند ۱۳۹۲)

Figure 1. Daily minimum temperature of the soil surface at the Ghamlou Research Station (Sep.2013-Mar. 2014)

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physicho-chemical chararctristics of soil analysis (depth 0-30 cm)

Ec*10^{-3}	pH	Sp	OC	T.N.V	Clay	Silt	Sand	Texture	N (total)	Nitrate-N
		%	%	%	%	%	%		mg/kg	mg/kg
1.42	7.48	37.48	0.5	21	39	35	26	Loam	80	3.5

ادامهٔ جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Continued table 1. Physicho-chemical chararctristics of soil analysis (depth 0-30 cm)

P_{av}	K_{av}	Mg	Ca	SO_4-S	Fe	Zn	Mn	B	Cu
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
12.49	210	208	3981	9.1	5.5	1.2	10.5	0.57	1.55

جدول ۲. نژادگان‌های توت‌فرنگی مورد آزمایش به همراه ویژگی‌های والدین و منشأ آن‌ها*

Table 2. The cultivars used in this study along with their parents and places of origin

Cultivar name	Breeding parents	Place of origin
Aliso	a self of Cal.52.16-12	USA
Aromas	Cal 87.112-6 x Cal 88.270-1	USA
Blakemore	Missionary × howard 17	USA
Camarosa	Douglas × cal 85.218-605	USA
Chandler	Douglas × cal 72-361-105	USA
Dachnitsa	Venta x Tenira	Belarus
Fresno	Lassen × cal 83.25-2	USA
Gaviota	Cal 87.112-6 × cal 88.270-1	USA
Krasnyy bereg	Venta x Tenira	Belarus
Kurdistan	unknown	Unknown
McDonance	unknown	Unknown
Missionary	a chance seedling in USA,1900	USA
Mrak	CN27(Ca75.34-105)	USA
Pajaro	Cal 63.7-101 × sequoia	USA
Paros	Marmolada®Onebor x Irvine	Italy
Queen Elisa	Miss. × USB 35	Italy
Selva	Cal 70.3-117 × cal 71.98-605	USA
Sequia	Cal 52.16-15 × cal 51s 1-1	USA
Tennessee Beauty	Howard 17 × Missionary	USA
Venta	Senga Sengana x Festivalnaja	Lithuania
Yalova	Arnavutkoy×Aliso	Turkey

* نژادگان Kurdistan همان نژادگانی است که در استان کردستان کشت می‌شود و بیش از ۵۰ سال پیشینهٔ کشت دارد. همهٔ نژادگان‌های مورد آزمایش از کلکسیون توت‌فرنگی مرکز تحقیقات کشاورزی کردستان تهیه شد.

Archive of SID

www.SID.ir

صفات مورد ارزیابی

پس از کاهش قابل توجه دما، ارزیابی آسیب یخزدگی به روش‌های مختلف شامل ارزیابی مشاهده‌ای شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه، محاسبهٔ شاخص آسیب یخزدگی طوقه بر پایهٔ نشت یونی و محاسبهٔ دمای LT_{50} (دمای بحرانی مرگ ۵۰ درصد بوته‌ها) برگ و طوقه و همچنین اندازه‌گیری درصد زنده‌مانی بررسی شد. شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه در نژادگان‌های مورد آزمایش از راه برش طولی طوقه و نمره‌دهی از یک (کمترین توسعه و شدت قهوه‌ای شدن) تا پنج (بیشترین توسعه و شدت قهوه‌ای شدن) ارزیابی شد (کهلر ،۲۰۱۲). ازآنجاکه نشانه‌های آسیب بی‌درنگ پس از رخداد سرما آشکار نمی‌شود، ارزیابی شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه لازم است پس از افزایش دما و رخداد فرآیند ذوب انجام شود. در این آزمایش یک هفته پس از رخداد دمای ۲۸- درجه که در تاریخ ۱۸ بهمن ۱۳۹۲ رخ داد، نشانه‌های آسیب به‌خوبی نمایان شد زیرا در تاریخ ۲۱ بهمن دما به ۴/۴+ درجهٔ سلسیوس رسید و به مدت یک هفته بیشینه‌دمای روزانه بالای ۰ درجه بود، لذا میزان آسیب یک هفته پس از رخداد دمای ۲۸- درجه به‌طور کامل نمایان شد.

میزان نشت یونی طوقه و برگ نژادگان‌های توت‌فرنگی پس از رخداد دماهای ^{o}C ۴+ (نمونهٔ شاهد)، ^{o}C ۸- (۱۰ آذر ۹۲)، ^{o}C ۱۶- (۱۹ آذر۹۲)، ^{o}C ۲۰- (۳۰ آذر ۹۲)، ^{o}C ۲۵- (۵ دی ۹۲) و ^{o}C ۲۸- (۱۸ بهمن۹۲)، اندازه‌گیری شد (Lindén, 2002). بر پایهٔ مقادیر نشت یونی، شاخص آسیب یخزدگی (I_t) برگ و طوقه بر پایهٔ روش در هرکدام از مراحل زمانی بالا برای هر نژادگان با استفاده از رابطهٔ۱، محاسبه شد (Prášil & Zámečník, 1998).

$$I_t\ (\%) = 100(R_t - R_0)/(R_f - R_0) \qquad (۱)$$

که در آن R_t= میزان نشت در دمای t، R_0 = نشت نمونهٔ شاهد و R_f= نشت نمونه پس از اتوکلاو ($121^{\circ}C$) است.

تعیین دمای بحرانی (LT_{50}) برگ و طوقه در نژادگان‌های مورد آزمایش بر پایهٔ تجزیهٔ پروبیت[1] داده‌های شاخص آسیب یخزدگی برگ و طوقه در دماهای مختلف و پس از تعیین بهترین مدل رگرسیونی برازش یافته با استفاده از برنامهٔ آماری SAS 9.1 انجام شد (Allison, 2010). ارزیابی مشاهده‌ای آسیب یخزدگی با بررسی میزان توسعه و شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه در نژادگان‌های مورد آزمایش از راه برش طولی طوقه یک هفته پس از رخداد دمای ^{o}C ۲۸- در نیمهٔ دوم بهمن ۹۲ به روش نمره‌دهی (Koehler, 2012)، از یک (کمترین توسعه و شدت قهوه‌ای شدن) تا پنج (بیشترین توسعه و شدت قهوه‌ای شدن) ارزیابی شد. پس از آغاز رشد بوته‌ها در بهار ۱۳۹۳، درصد زنده‌مانی نژادگان‌های آزمایش در هرکدام از واحدهای آزمایشی محاسبه شد. برای این منظور در هر واحد آزمایشی، نسبت شمار بوته‌های سالم و در حال رشد به شمار کل بوته‌های آن واحد در پاییز سال پیش محاسبه و به‌صورت درصد بیان شد.

اندازهٔ سطح برگ نژادگان‌های توت‌فرنگی هم در اوایل مهر ۱۳۹۲ (پیش از آغاز تنش دمای پایین) و هم در اواخر بهار سال ۱۳۹۳، با دستگاه سطح‌برگ‌سنج (مدلWD3، ساخت کمپانی Delta-T، انگلستان) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر واحد آزمایشی شمار پنج‌برگ مرکب به‌طور کامل رشد یافته و بالغ به‌طور تصادفی انتخاب و افزون بر اندازهٔ سطح برگ، طول دم برگ نیز اندازه‌گیری شد. عملکرد بوته در هر واحد آزمایشی از تقسیم مجموع عملکرد مراحل مختلف برداشت هر واحد آزمایشی بر شمار بوته‌های باردهٔ آن واحد آزمایشی به دست آمد. همچنین در پایان فصل برداشت، اندازهٔ سطح برگ، طول دم برگ و شمار کل برگ‌های پنج بوته به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها شامل آزمون عادی بودن (نرمالیتی)، تجزیهٔ واریانس داده‌ها، تعیین ضریب‌های همبستگی، برازش مدل‌های رگرسیونی و تجزیهٔ پروبیت با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد. مقایسهٔ میانگین‌های صفات مورد بررسی با

1. Probit analysis

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۱ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

آسیب یخزدگی طوقه

در بین نژادگان‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) از نظر آسیب یخزدگی طوقه در دماهای ۸-، ۱۶-، ۲۰-، ۲۵- و ۲۸- درجهٔ سلسیوس مشاهده شد. در دمای ۸- °C، بیشترین آسیب یخزدگی طوقه در نژادگان 'مراک' (۶/۲۲٪) بود، درحالی‌که در دماهای ۱۶- و ۲۰- درجهٔ سلسیوس، بیشترین آسیب طوقه در نژادگان 'بلیک مور' (به ترتیب ۲۲/۱۳درصد و ۳۴/۸۰درصد) و در دماهای ۲۵- و ۲۸- درجهٔ سلسیوس، بیشترین آسیب یخزدگی طوقه در نژادگان 'تنسی بیوتی' (به‌ترتیب ۵۹/۹۸درصد و ۸۸/۷۷درصد) مشاهده شد (جدول ۳).

نتایج آزمایشی درزمینهٔ تحمل دمای پایین در سه نژادگان توت‌فرنگی نشان داد، آسیب یخزدگی در توت‌فرنگی سنگاسنگانا[1] با کاهش دما از ۸- °C به ۲۰- °C به‌طور تدریجی رخ داد، درحالی‌که در نژادگان بونتی[2]، با کاهش دما به ۱۲- °C افزایش ناگهانی و سریعی در آسیب وارده مشاهده شد و در نژادگان کرونا[3] این افزایش سریع آسیب، در دمای ۱۶- °C رخ داد (Nestby & Bjørgum, 1999). در این آزمایش نیز، روند تغییرپذیری آسیب یخزدگی طوقهٔ نژادگان‌های توت‌فرنگی در دماهای مختلف همسان نبود. در نژادگان‌های 'کراسنی برگ'، 'کویین الیزا' و 'داچنیتسا' با کاهش دما تا ۲۸- °C، آسیب یخزدگی طوقه به‌طور تدریجی رخ داد درحالی‌که نژادگان‌های 'کردستان' و 'مک دونانس' تا دمای ۲۵- °C، آسیب به نسبت پایینی نشان دادند، اما با کاهش دما به ۲۸- °C، افزایش ناگهانی و سریعی در آسیب وارده به طوقهٔ این نژادگان‌ها مشاهده شد. نژادگان‌های 'کویین الیزا' و 'داچنیتسا' پس از نژادگان 'کراسنی برگ'، کمترین آسیب یخزدگی طوقه را نشان دادند (جدول ۳). نتایج این آزمایش با نتایج Ershadi et al. (2016)و Nestby & Bjørgum (1999)، مبنی بر تفاوت در الگوی تحت تأثیر قرارگرفتن نژادگان‌ها در دماهای پایین و افزایش تحمل یخزدگی در مرحلهٔ رکود عمیق، همخوانی دارد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های Lindén (2002) که نشان داد، تفاوت بین مقاومت نژادگان‌های توت‌فرنگی در مرحلهٔ رکود عمیق بیشتر مشهود است، همخوانی دارد.

جدول ۳. تأثیر دماهای پایین بر آسیب یخزدگی طوقه در ۲۱ نژادگان توت‌فرنگی

Table 3. Effect of freezing temperatures on crown injury percent of 21 strawberry cultivars*

Varieties	Crown Injury (%)				
	$C.I_t$ (-8°C)	$C.I_t$ (-16°C)	$C.I_t$ (-20°C)	$C.I_t$ (-25°C)	$C.I_t$ (-28°C)
Aliso	4.33^{cdefg}	20.54^{abc}	30.17^{bcde}	36.86^{cd}	58.74^{d}
Aromas	3.73^{efgh}	18.45^{abcde}	29.45^{cdef}	36.91^{cd}	52.09^{def}
Blakemore	4.69^{bcdef}	22.14^{a}	34.80^{a}	55.08^{a}	77.37^{b}
Camarosa	3.67^{efgh}	18.04^{abcde}	28.06^{defg}	33.23^{cde}	54.19^{def}
Chandler	4.56^{cdefg}	17.00^{bcde}	24.50^{hi}	34.18^{cde}	55.27^{de}
Dachnitsa	4.53^{cdefg}	16.69^{bcde}	25.20^{ghi}	31.30^{cde}	41.57^{hi}
Fresno	3.18^{gh}	13.98^{ef}	32.96^{ab}	42.85^{bc}	70.09^{c}
Gaviota	3.92^{efgh}	14.56^{ef}	26.83^{efgh}	41.33^{bc}	50.93^{ef}
Krasnyy bereg	6.08^{ab}	9.71^{g}	18.19^{j}	22.16^{e}	39.47^{i}
Kurdistan	4.31^{cdefg}	16.72^{bcde}	24.75^{ghi}	27.72^{de}	48.94^{efg}
McDonance	5.75^{abc}	16.29^{cde}	26.27^{fgh}	31.75^{cde}	55.08^{de}
Missionary	3.75^{efgh}	18.08^{abcde}	32.12^{abc}	37.84^{cd}	58.46^{d}
Mrak	6.22^{a}	20.32^{abcd}	28.97^{cdef}	35.48^{cd}	51.47^{ef}
Pajaro	4.23^{defg}	15.26^{e}	24.44^{hi}	41.11^{bcd}	49.49^{efg}
Paros	4.79^{bcde}	16.36^{cde}	22.64^{i}	39.08^{bcd}	53.99^{def}
Queen Elisa	3.22^{fgh}	15.80^{de}	22.28^{i}	35.31^{cd}	43.92^{ghi}
Selva	2.55^{h}	21.28^{ab}	31.05^{bcd}	51.25^{ab}	82.03^{b}
Sequia	4.76^{bcde}	15.06^{ef}	22.61^{i}	39.01^{bcd}	47.77^{fgh}
Ten.Beauty	5.50^{abcd}	10.80^{fg}	23.34^{hi}	59.98^{a}	88.77^{a}
Venta	5.47^{abcd}	15.27^{e}	25.03^{ghi}	42.35^{bc}	48.53^{efg}
Yalova	4.05^{defg}	17.04^{bcde}	29.54^{bcdef}	33.73^{cde}	48.66^{efg}

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 1% probability level, using Dancan's Multiple Rang Test.

1. Senga Sengana
2. Bounty
3. Korona

Archive of SID

www.SID.ir

دمای LT_{50} برگ و طوقه

بنابر نتایج آزمایش، نژادگان 'کراسنی برگ' کمترین دمای LT_{50} برگ (۲/۶۹ ± ۳۱/۵۷- °C) و کمترین دمای LT_{50} طوقه (۲/۴۹ ± ۳۳/۷۳- °C)، نژادگان 'سلوا' بیشترین دمای LT_{50} برگ (۱/۷۲± ۲۳/۶۷-) و نژادگان 'تنسی بیوتی' بیشترین دمای LT_{50} طوقه (۱/۲۳ ± ۲۱/۵۵-) را در مقایسه با دیگر نژادگان‌های توت‌فرنگی دارند، نژادگان‌های 'سکویا ' و 'یالوا ' به ترتیب پس از نژادگان 'کراسنی برگ ' کمترین دمای LT_{50} برگ را داشتند و به عبارتی برگ این نژادگان‌ها تحمل خوبی در برابر دماهای پایین نشان داد درحالی‌که نژادگان‌های 'ونتا ' و 'تنسی بیوتی ' پس از نژادگان 'سلوا ' بیشترین دمای LT_{50} برگ را نشان دادند، بدین صورت که برگ این نژادگان‌ها در مقایسه با دیگر نژادگان‌های مورد آزمایش حساسیت بیشتری به دماهای پایین نشان دادند (جدول ۴).

نژادگان‌های 'داچنیتسا'، 'کردستان' و 'کویین الیزا' پس از نژادگان 'کراسنی برگ'،کمترین دمای LT_{50} طوقه را داشتند و به عبارتی تحمل طوقهٔ این نژادگان‌ها در رویارویی با دماهای پایین بهتر از دیگر نژادگان‌های مورد آزمایش بود و در شرایط همسان دچار آسیب یخزدگی کمتری شدند درحالی‌که نژادگان‌های 'سلوا'و 'بلیک مور' پس از نژادگان 'تنسی بیوتی' با بیشترین دمای LT_{50} طوقه، تحمل یخزدگی کمتری در مقایسه با دیگر نژادگان‌های توت‌فرنگی نشان دادند (جدول ۴).

بنابر نتایج این آزمایش همبستگی مثبتی بین دمای LT_{50} برگ و دمای LT_{50} طوقه مشاهده شد (جدول ۶). در نژادگان‌های 'فرزنو'،' بلیک مور'، 'سکویا'، 'تنسی بیوتی' و 'یالوا' برخلاف دیگر نژادگان‌های توت‌فرنگی، تحمل یخزدگی در برگ بیشتر از تحمل یخزدگی در طوقهٔ این نژادگان‌ها بود (جدول۴). ازآنجاکه طوقهٔ توت‌فرنگی به‌عنوان مرکز رشد و منشأ تولید برگ و ریشه در توت‌فرنگی است، می‌توان استنباط کرد زنده‌مانی طوقه در برابر دماهای پایین زمستان مهم‌تر از زنده‌مانی برگ است لذا استفاده از دمای بحرانی طوقه برای غربالگری نژادگان‌های توت‌فرنگی متحمل به سرما، شاخص مناسب‌تری در مقایسه با دمای بحرانی برگ خواهد بود.

جدول ۴. برآورد دمای LT_{50} برگ و طوقه در ۲۱ نژادگان توت‌فرنگی بر پایهٔ شاخص آسیب یخزدگی (I_t)

Table 4. Estimated LT_{50} of Leaf and crown based on freezing injury index (I_t) in 21 strawberry cultivars*

Varieties	Leaf LT_{50} (ºC)	Crown LT_{50} (ºC)
Aliso	-24.47 ± 1.40 ab	-26.58 ± 2.26 d
Aromas	-26.61 ± 1.84 d	-28.20 ± 2.55 fg
Blakemore	-25.96 ± 2.01 cd	-23.64 ± 1.53 bc
Camarosa	-26.04 ± 2.09 d	-27.86 ± 2.51 defg
Chandler	-26.54 ± 2.29 d	-27.51 ± 2.66 defg
Dachnitsa	-25.79 ± 1.52 bcd	-30.78 ± 2.55 i
Fresno	-27.85 ± 2.50 e	-24.79 ± 1.54 c
Gaviota	-26.48 ± 2.48 d	-27.14 ± 2.19 def
Krasnyy bereg	-31.57 ± 2.69 g	-33.73 ± 2.49 j
Kurdistan	-26.16 ± 2.10 d	-29.76 ± 2.10 hi
McDonance	-25.84 ± 2.03 cd	-28.56 ± 2.50 gh
Missionary	-25.81 ± 1.74 bcd	-26.64 ± 1.89 de
Mrak	-25.67 ± 2.69 bcd	-27.76 ± 2.61 defg
Pajaro	-25.82 ± 1.87 bcd	-27.51 ± 2.22 defg
Paros	-24.60 ± 1.58 abc	-27.60 ± 2.24 defg
Queen Elisa	-28.23 ± 2.60 e	-29.70 ± 2.78 hi
Selva	-23.67 ± 1.72 a	-23.01 ± 1.23 ab
Sequia	-29.95 ± 2.16 fb	-27/97 ± 2.87 efg
Tennessee Beauty	-23.77 ± 1.38 a	-21.55 ± 1.23 a
Venta	-23.68 ± 1.46 a	-28.22 ± 2.55 fg
Yalova	-29.51 ± 2.41 f	-28.15 ± 2.47 fg

* Values are means of three replicates ± SE

* Means followed by the similar letters are not statistically different ($P \leq 0.01$) as compared by Duncan's multiple range test.

محاسبهٔ دمای LT_{50} می‌تواند در تحقیقات مقاومت به سرما در توت‌فرنگی به‌طور موفقیت‌آمیزی استفاده شود، اگرچه میزان آن در نژادگان‌های مورد آزمایش بسته به زمان رخداد یخزدگی متغیر است به‌طوری‌که بوته‌های توت‌فرنگی که در اوایل زمستان به بیشترین سازگاری به سرما رسیده‌اند، بیشترین مقاومت به سرما را دارند (Lukoševičiūtė *et al.*, 2014).

برای محاسبهٔ دمای LT_{50} از شاخص آسیب یخزدگی (I_t) که معیار دقیق‌تری در مقایسه با داده‌های نشت یونی است، استفاده شد. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است، در گیاهانی که به‌خوبی به سرما عادت کرده باشند به‌ویژه در پایین‌ترین دماهای مورد آزمایش و در شرایط مقادیر بالای نشت یونی، هنوز بیش از ۵۰درصد گیاهان سالم باقی می‌مانند (Wiemken *et al.*, 1996; Lindén *et al.*, 2000) که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (جدول ۶).

Archive of SID

www.SID.ir

قهوه‌ای شدن بافت طوقه

میزان توسعه و شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه در برابر دوره‌های یخزدگی زمستان در نژادگان‌های مورد آزمایش به‌کلی متفاوت بود. با کاهش دمای سطح خاک به ۲۸- °C، در برخی نژادگان‌ها مانند 'کویین الیزا'، آسیب جزئی به بافت طوقه وارد شد درحالی‌که بافت طوقهٔ برخی نژادگان‌ها مانند 'تنسی بیوتی' دچار آسیب جدی شد (شکل ۲).

بافت مغز طوقه کمترین تحمل و بافت آوندی بیشترین تحمل به یخزدگی را در بین بافت‌های گیاهی دارد (Marini & Boyce, 1979; Nestby & Bjørgum, 1999). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، لایهٔ نازک کامبیوم که در اطراف مغز طوقه قرار دارد به شرایط یخزدگی مقاوم‌تر از بافت مغز طوقه است و به‌آسانی مغز طوقه آسیب نمی‌بیند اما اگر لایهٔ کامبیوم ظاهری تیره یا قهوه‌ای داشته باشد در این صورت بوتهٔ توت‌فرنگی به‌طورجدی تری آسیب‌دیده است. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد نژادگان‌های 'تنسی بیوتی' و 'سلوا'، بیشترین میزان قهوه‌ای شدن بافت طوقه را نشان دادند درحالی‌که نژادگان‌های 'کراسنی برگ'، 'کویین الیزا' و 'داچنیتسا' به ترتیب کمترین میزان قهوه‌ای شدن بافت طوقه در مقایسه با دیگر نژادگان‌ها را نشان دادند (شکل ۳). همبستگی مثبتی بین شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه با شاخص‌های آسیب یخزدگی و دمای LT_{50} برگ و طوقه مشاهده شد (جدول ۶).

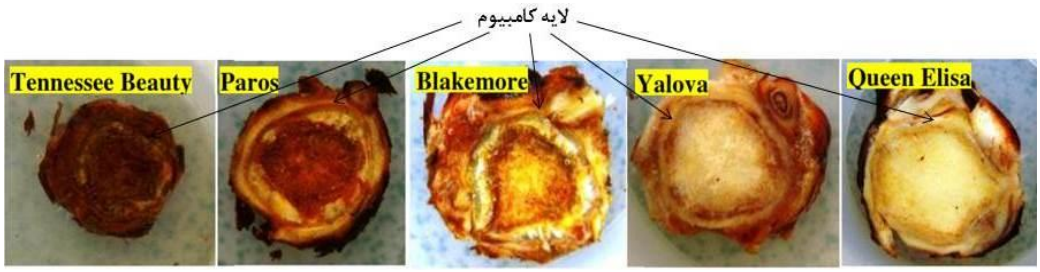
درصد زنده‌مانی

نژادگان‌های توت‌فرنگی مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) با یکدیگر از نظر درصد زنده‌مانی پس از رویارویی با دماهای پایین نشان دادند. بر پایهٔ مقایسهٔ میانگین‌ها نژادگان‌های 'کراسنی برگ'، 'کویین الیزا'، 'آلیسو'، 'داچنیتسا' و 'کردستان' به ترتیب بیشترین درصد زنده‌مانی و نژادگان‌های 'تنسی بیوتی' و 'سلوا' کمترین زنده‌مانی را در مقایسه با دیگر نژادگان‌های مورد بررسی داشتند (شکل ۴). همبستگی منفی و معنی‌داری بین درصد زنده‌مانی با شاخص آسیب یخزدگی برگ و طوقه، دمای LT_{50} برگ و طوقه و شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه وجود داشت (جدول ۶).

بنا به گزارش Lindén (2002)، هنوز هم ارزیابی رشد دوبارهٔ طبیعی گیاه، یک روش اندازه‌گیری نهایی برای زنده‌مانی و قابل‌اعتمادترین روش ارزیابی آسیب یخزدگی است. نتایج این آزمایش نیز نشان داد، اندازه‌گیری درصد زنده‌مانی، شاخص قابل‌اعتمادتری برای غربالگری نژادگان‌های توت‌فرنگی متحمل به سرمای زمستان و تعیین میزان کارآمدی دیگر شاخص‌های ارزیابی تحمل به یخزدگی است.

سطح برگ

تحت تأثیر یخبندان‌های زمستان، اندازهٔ سطح برگ به‌جز در نژادگان 'آلیسو' در ۲۰ نژادگان دیگر کاهش یافت. اگرچه روند کاهش سطح برگ در نژادگان‌های مورد آزمایش با یکدیگر متفاوت بود به‌طوری‌که نژادگان‌های 'سکویا' و 'کویین الیزا' بیشترین کاهش سطح برگ و نژادگان‌های 'میشنری' و 'کراسنی برگ' کمترین کاهش سطح برگ را نشان دادند (جدول ۵). تغییرات ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) یکی از نتایج پاسخ گیاهان به دماهای پایین است (Gilmour *et al.*, 2000).

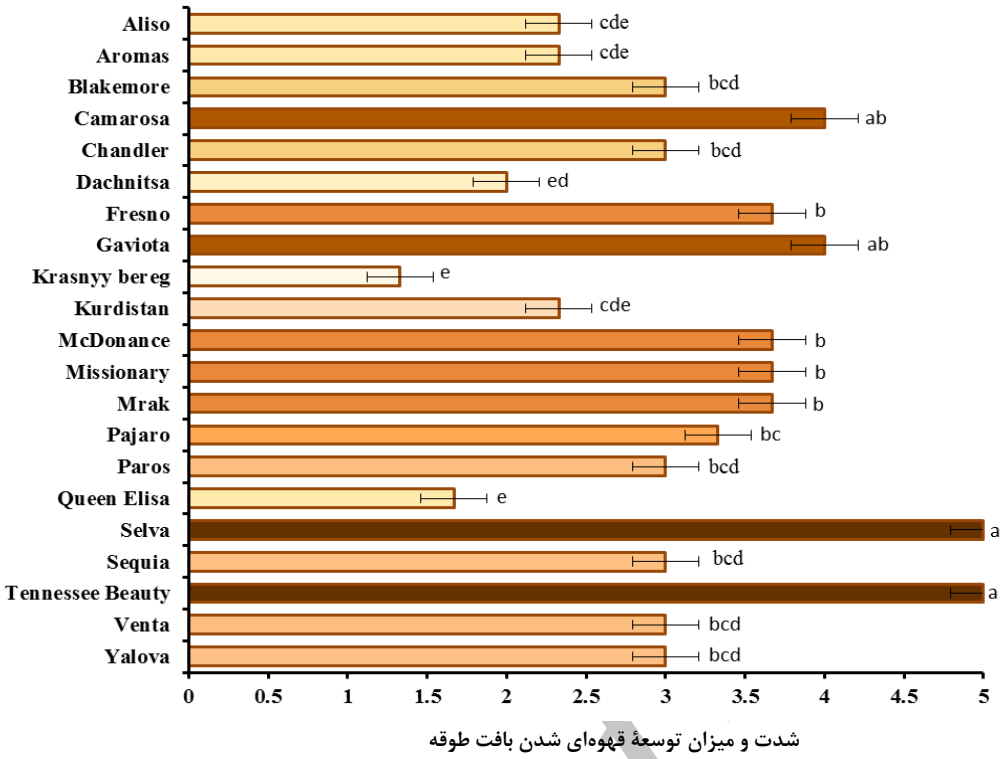


شکل ۲. شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه در برخی از نژادگان‌های توت‌فرنگی (تصاویر یک هفته پس از رخداد دمای ۲۸- °C با دوربین دیجیتال سونی با حسگر ۱۴ مگاپیکسل گرفته شد)

Figure 2. Intensity of crown tissue browning in some strawberry cultivars (Photoes was taken by a camera, Sony Cyber-Shot DSC-W530, one week after the temperature reached -28 °C)

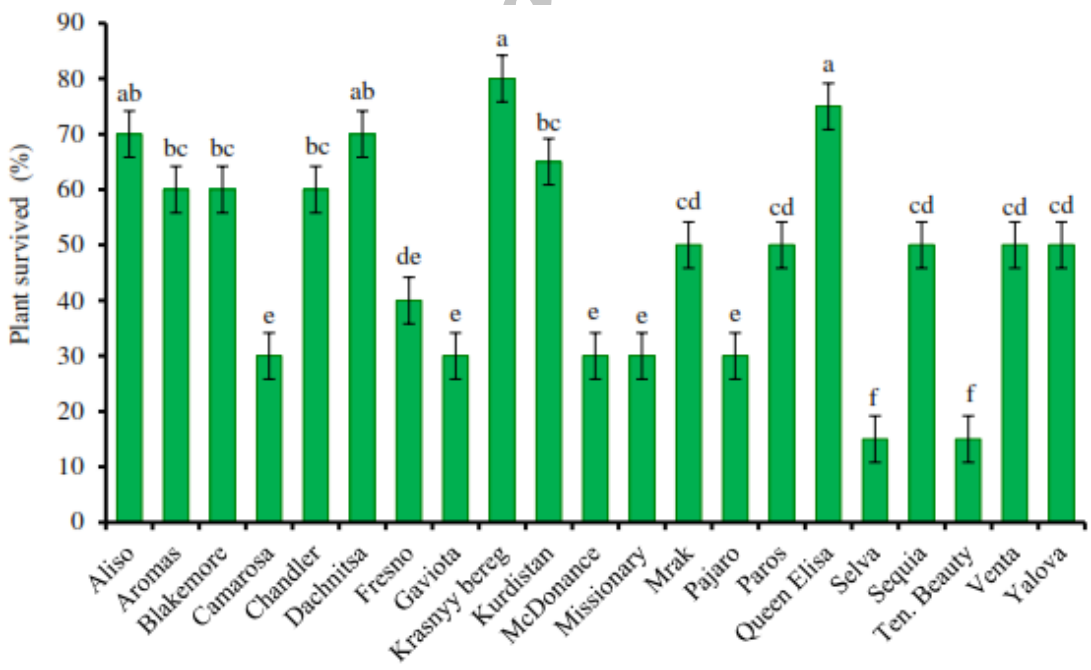
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. تأثیر سرمای شدید زمستان ۱۳۹۲ بر میزان توسعه و شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه در نژادگان‌های توت‌فرنگی

Figure 3. Effect of freezing temperatures of winter 2014 on the extent and intensity of crown browning



شکل ۴. درصد زنده‌مانی نژادگان‌های توت‌فرنگی پس از زمستان گذرانی سال ۱۳۹۲

Figure 4. The survival rate of strawberry cultivars after overwintering in 2014

نتایج ارزیابی مقاومت به سرمای زمستان ۱۵ نژادگان توت‌فرنگی نشان داد، پس از رویارویی نژادگان‌ها با سرمای زمستان، سطح پوشش برگی در همهٔ نژادگان‌های کاهش شدیدی یافت (Yao *et al.*,

www.SID.ir

2009) که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. بنا به گزارش Nestby & Bjørgum (1999)، با کاهش دما به ۱۶ ºC-، کاهش قابل‌توجهی در طول برگچهٔ میانی همهٔ نژادگان‌های توت‌فرنگی مشاهده شد اگرچه پاسخ نژادگان‌ها به دماهای پایین یکسان نبود. ظهور لکه‌های قهوه‌ای روشن در بافت طوقهٔ توت‌فرنگی می‌تواند نشانگر دیگر آسیب‌های پنهان مانند کاهش اندازهٔ برگ باشد (Marini & Boyce, 1979). سطح برگ همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد زنده‌مانی اما همبستگی مثبتی با میزان آسیب یخ‌زدگی طوقه، دمای LT_{50} طوقه و شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه نشان داد (جدول ۶).

طول دم برگ

نژادگان‌های توت‌فرنگی از نظر طول دم برگ تفاوت معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) با یکدیگر نشان دادند. نژادگان‌های 'میشنری'، 'مک دونانس'، 'تنسی بیوتی' و 'سکویا' به ترتیب بیشترین اندازهٔ طول دم برگ و نژادگان‌های 'ونتا'، 'چندلر'، 'گاویوتا'، 'کراسنی برگ'، 'یالوا' و 'داچنیتسا' به ترتیب کمترین اندازهٔ طول دم برگ را در مقایسه با دیگر نژادگان‌های مورد بررسی داشتند (جدول۵). بنا به گزارش Nestby & Bjørgum (1999)، در سه نژادگان توت‌فرنگی با کاهش هر چه بیشتر دما در شرایط مهارشده، طول و قطر دم برگ بیشتر کاهش یافت و به عبارتی رشد رویشی بوته به‌شدت تحت تأثیر دماهای یخ‌زدگی قرار گرفت که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. همبستگی مثبتی بین طول دم برگ با سطح برگ، آسیب یخ‌زدگی و دمای LT_{50} طوقه وجود داشت (جدول ۶).

شمار برگ

تفاوت معنی‌داری بین نژادگان‌های توت‌فرنگی از لحاظ شمار برگ در هر بوته ملاحظه شد ($p\leq$۰/۰۱). نژادگان‌های 'کوین الیزا'، 'کردستان'، 'آلیسو'، 'سکویا'، 'کراسنی برگ' و 'ونتا' به ترتیب بیشترین شمار برگ در بوته را داشتند درحالی‌که نژادگان‌های 'تنسی بیوتی'، 'فرزنو'، 'پاجارو'، 'گاویوتا' و 'میشنری' به ترتیب کمترین شمار برگ را در هر بوته داشتند (جدول۵).

وضعیت رشد بوته می‌تواند عامل مهمی برای زنده‌مانی در زمستان باشد (Turner *et al*., 1993). سرمازدگی بافت طوقه می‌تواند منجر به تولید برگ‌های کمتر در سال بعد شود (Fisher, 2004). در بررسی‌های انجام گرفته در شرایط زمستان‌های معتدل سنندج، 'نژادگان‌های میشنری'، 'بلیک مور' و 'تنسی بیوتی' پس از نژادگان‌های 'کردستان'، 'سکویا' و 'کوین الیزا'، بیشترین شمار برگ را داشتند (Karami & Gholami, 2012)، درحالی‌که در سرمای شدید ایستگاه تحقیقات کشاورزی قاملو، شمار برگ در این نژادگان‌ها به‌شدت کاهش یافت که مؤید حساسیت این نژادگان‌ها به دماهای پایین است.

همبستگی مثبتی بین شمار برگ بوته با درصد زنده‌مانی وجود داشت. همبستگی منفی و معنی‌داری نیز بین شمار برگ در بوته با اندازهٔ برگ، شاخص آسیب طوقه، دمای LT_{50} برگ و طوقه و شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه مشاهده شد (جدول ۶).

عملکرد بوته

بر پایهٔ مقایسهٔ میانگین عملکرد بوته، نژادگان 'کوین الیزا' با تولید ۴۳۹ گرم میوه در بوته، بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد و پس از آن نژادگان‌های 'داچنیتسا'، 'کراسنی برگ'، 'آروماس' و 'ونتا' به ترتیب بیشترین عملکرد و نژادگان‌های 'تنسی بیوتی'، 'چندلر' و 'بلیک مور' به ترتیب کمترین عملکرد را در مقایسه با دیگر نژادگان‌های توت‌فرنگی داشتند (جدول ۵). در پژوهش دیگری عملکرد و اجزای عملکرد نژادگان‌های توت‌فرنگی مورد ارزیابی در این آزمایش، در شرایط زمستان‌های معتدل سنندج ارزیابی شد. نتایج نشان داد، نژادگان 'کوین الیزا' با تولید ۸۵۳ گرم میوه در بوته بیشترین عملکرد را داشت و پس از آن نژادگان‌های 'پاروس'، 'ونتانا' و 'تنسی بیوتی' به ترتیب بیشترین عملکرد و نژادگان‌های 'گاویوتا'، 'پاجارو'، 'چندلر' و 'کراسنی برگ' کمترین عملکرد را داشتند (Karami & Gholami, 2012). مقایسهٔ عملکرد نژادگان‌ها در این

Archive of SID

www.SID.ir

دو آزمایش نشان داد، عملکرد بسیاری از نژادگان‌های توت‌فرنگی در اقلیم سردسیر ایستگاه تحقیقات کشاورزی قاملو به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته است. آسیب یخزدگی یکی از عامل‌هایی است که بیشترین تأثیر را بر عملکرد محصول توت‌فرنگی دارد، به‌طوری‌که پیش‌بینی عملکرد سال بعد را غیرممکن می‌سازد (Nestby & Bjørgum, 1999).

همبستگی مثبتی بین عملکرد بوته با درصد زنده‌مانی و شمار برگ مشاهده شد. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد با اندازهٔ برگ، طول دم برگ، میزان آسیب یخزدگی برگ و طوقه، دمای LT_{50} طوقه و شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه مشاهده شد (جدول ۶). بنا بر نتایج همبستگی می‌توان استنباط کرد نژادگان‌هایی که اندازهٔ سطح برگ و طول دم برگ کمتری دارند، ساختار و شکل بوته در آن‌ها متراکم‌تر است که موجب پوشش و حفاظت طوقهٔ توت‌فرنگی در برابر تنش سرما می‌شود درحالی‌که نژادگان‌هایی که شکل بوته به‌صورت باز و گسترده است و طوقه به‌طور مستقیم در معرض نوسان شدید دمایی قرار می‌گیرد، میزان آسیب یخزدگی طوقه، قهوه‌ای شدن بافت طوقه و کاهش عملکرد سال بعد در آن‌ها بیشتر است.

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین صفات رویشی و عملکرد نژادگان‌های توت‌فرنگی در شرایط تنش دماهای پایین

Table 5. Mean comparison of vegetative traits and yield of strawberry cultivars after exposure to freezing temperatures*

Cultivars	Leaf Area (Sep.2013) (cm^2)	Leaf Area (June, 2014) (cm^2)	Petiol Long (cm)	Leaf number per plant	Yield gr/plant
Aliso	30.43^{ghi}	31.25^{c}	19.06^{abcde}	45.67^{c}	255.89^{d}
Aromas	31.08^{fgh}	24.67^{fg}	16.35^{bcdef}	20.33^{ij}	343.74^{b}
Blakemore	32.3^{fg}	22.23^{h}	17.47^{bcdef}	24.67^{gh}	190.75^{h}
Camarosa	43.59^{c}	29.34^{d}	16.80^{bcdef}	$27f^{g}$	237.06^{ef}
Chandler	36.54^{d}	22.08^{h}	14.47^{ef}	$22h^{i}$	188.57^{h}
Dachnitsa	31.48^{fgh}	21.81^{h}	15.20^{cdef}	33^{e}	354.18^{b}
Fresno	50.81^{a}	41.53^{b}	19.08^{abcde}	13^{lm}	215.19^{g}
Gaviota	36.18^{d}	25.33^{efg}	14.53^{def}	17^{k}	209.22^{g}
Krasnyy bereg	20.21^{j}	19.79^{ij}	14.70^{def}	42^{d}	353.12^{b}
Kurdistan	28.51^{i}	20.88^{hi}	17.89^{abcdef}	53.67^{b}	278.99^{c}
McDonance	29.27^{hi}	21.01^{hi}	20.95^{ab}	31.33^{e}	207.31^{g}
Missionary	49.35^{a}	48.14^{a}	22.28^{a}	18^{jk}	210.08^{g}
Mrak	33.29^{ef}	25.96^{ef}	17.80^{abcdef}	28^{f}	248.47^{de}
Pajaro	31.12^{fgh}	23.98^{g}	16.67^{bcdef}	15.33^{kl}	206.46^{g}
Paros	34.87^{de}	25.66^{ef}	18.72^{abcde}	26^{fg}	255.02^{d}
Queen Elisa	44.40^{c}	26.33^{e}	16.86^{bcdef}	59.33^{a}	439.08^{a}
Selva	32.93^{efg}	18.88^{j}	16.36^{bcdef}	22^{hi}	251.44^{d}
Sequia	46.74^{b}	25.34^{efg}	19.42^{abcd}	42.67^{cd}	230.40^{f}
Ten. Beauty	43.21^{c}	40.67^{b}	19.83^{abc}	11^{m}	186.79^{h}
Venta	31.59^{fgh}	28.22^{d}	13.60^{f}	41.67^{d}	342.53^{b}
Yalova	35.24^{de}	20.08^{ij}	15.11^{cdef}	33^{e}	208.26^{g}

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 1% probability level, using. Dancan's Multiple Rang Test.

جدول۶. ضریب همبستگی پیرسون بین صفات مورد ارزیابی در ۲۱ نژادگان توت‌فرنگی

Table6. Pearson correlation coefficients among evaluated traits of 21 strawberry cultivars

	LA92	C.INJ.	$L._{LT50}$	$C._{LT50}$	C.Brwn.	Surv.	L.NO.	LA93	Pet.L.
C.INJ.	0.288^{*}								
$L._{LT50}$	NS	0.482^{**}							
$C._{LT50}$	0.431^{**}	0.919^{**}	0.544^{**}						
C.Brw.	0.370^{**}	0.669^{**}	0.446^{**}	0.733^{**}					
Surv.	-0.332^{**}	-0.460^{**}	-0.390^{**}	-0.554^{**}	-0.863^{**}				
L.NO.	-0.262^{*}	-0.543^{**}	-0.301^{*}	-0.591^{**}	-0.640^{**}	0.646^{**}			
LA93	0.710^{**}	0.363^{**}	NS	0.417^{**}	0.317^{*}	-0.263^{*}	-0.371^{**}		
Pet.L.	0.378^{**}	0.301^{*}	NS	0.288^{*}	NS	NS	NS	0.492^{**}	
Yield	-0.252^{*}	-0.521^{**}	NS	-0.604^{**}	-0.633^{**}	0.602^{**}	0.639^{**}	NS	-0.302^{*}

ns, *, **: Non-significant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01, respectively.

LA92=Leaf Area 92.7; C.INJ.=Crown Injury; $L._{LT50}$= Leaf LT_{50}; $C._{LT50}$= Crown LT_{50}; C.Brwn.=Crown Browning; Surv.=Survival; L.NO.=Leaf Number; LA93= Leaf Area 93.3; Pet.L.=Petiol Length.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش نشان داد، میزان آسیب یخزدگی طوقه، شدت قهوه‌ای شدن بافت طوقه، درصد زنده‌مانی و توان رشد دوباره، شاخص‌های مناسب و قابل‌اعتمادی برای غربالگری نژادگان‌های توت‌فرنگی متحمل به سرما هستند. بنا بر نتایج این آزمایش، هرگونه قهوه‌ای شدن بافت طوقه در نتیجهٔ کاهش شدید دما طی زمستان، تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد توت‌فرنگی در بهار سال بعد خواهد گذاشت. نژادگان‌های 'کراسنی برگ' و 'داچنیتسا' که از بلاروس وارد کشور شده‌اند، تحمل بسیار خوبی در برابر دماهای پایین نشان دادند، اما میوهٔ این نژادگان‌ها بازارپسندی مطلوبی ندارد. این نژادگان‌ها می‌توانند در اصلاح رقم‌های توت‌فرنگی متحمل به سرما استفاده شوند. بنا بر نتایج این آزمایش نژادگان‌های 'کویین الیزا'، 'ونتا'، 'آروماس' و 'کردستان'، برای توسعهٔ توت‌فرنگی در اقلیم‌های سرد پیشنهاد می‌شوند. این نژادگان‌های متحمل به سرما، افزون بر سازگاری مطلوب با شرایط اقلیمی مناطق سردسیر و خاک‌های آهکی، عملکرد بالا و کیفیت مطلوب میوه نیز دارند.

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات مالی دانشگاه بوعلی سینا و امکانات تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان اجرا شد که بدین‌وسیله از مدیریت محترم مرکز تحقیقات کشاورزی کردستان و کارکنان ایستگاه تحقیقات کشاورزی قاملو، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Allison, P. D. (2010). *Survival analysis using SAS: a practical guide*. Sas Institute.Second Edition.336 pages.
2. Boyce, B. & Reed R. (1983). Effects of bed height and mulch on strawberry crown temperatures and winter injury. *Advances in strawberry production 2*(1), 12-14.
3. Doving, A. & Mage, F. (2001). Prediction of strawberry fruit yield. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science*, *51*(1), 35-42.
4. Ershadi, A., Karimi, R. & Mahdei, K. N. (2016). Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1), 1-10.
5. Fisher, P. (2004). Cold Acclimation in Strawberries: How strawberry plants get ready for winter. *Ohio Fruit ICM News*. Retrieved Sep. 7, 2014, from: http://www.fruit.cornell.edu/berry/production/pdfs/strcoldacclim.pdf.
6. Gilmour, S. J., Sebolt, A. M., Salazar, M. P., Everard, J. D. & Thomashow, M. F. (2000). Overexpression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. *Plant Physiology*, 124(4), 1854-1865.
7. Hancock, J. F. (2000). Strawberries. In: *Temperate fruit crops in warm climates* (pp. 445-455). Springer Netherlands.
8. Hochmuth, G. J. & Albregts, E. (1994). *Fertilization of strawberries in Florida*. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, EDIS.
9. Karami, F. & Gholami, M. (2012). Interrelationships of traits and path analysis of yield in strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.). In *VII International Strawberry Symposium*. *Acta Horticulturae*, 1049, 415-421.
10. Koehler, G., Wilson, R. C., Goodpaster, J. V., Sønsteby, A., Lai, X., Witzmann, F. A., You, J. S., Rohloff, J., Randall, S. K. & Alsheikh, M. (2012). Proteomic study of low-temperature responses in strawberry cultivars (*Fragaria× ananassa*) that differ in cold tolerance. *Plant physiology*, 159(4), 1787-1805.
11. Ledesma, N. A., Nakata, M. & Sugiyama, N. (2008). Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs.'Nyoho'and 'Toyonoka'. *Scientia Horticulturae*, 116(2), 186-193.
12. Lee, S. H., Singh, A. P., Chung, G. C., Kim, Y. S. & Kong, I. B. (2002). Chilling root temperature causes rapid ultrastructural changes in cortical cells of cucumber (Cucumis sativus L.) root tips. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), 2225-2237.
13. Lindén, L., Palonen, P. & Lindén, M. (2000). Relating freeze-induced electrolyte leakage measurements to lethal temperature in red raspberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(4), 429-435.
14. Lindén, L. (2002). *Measuring cold hardiness in woody plants*. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture and forestry.University of Helsinki, Finland. 57p.

Archive of SID

www.SID.ir

15. Lindén, L., Seppänen, M., Väinölä, A. & Palonen, P. (2008). Cold hardiness research on agricultural and horticultural crops in Finland. *Agricultural and Food Science*, 8(4-5), 459-477.
16. Lukoševičiūtė, V., Rugienius, R., Baniulis, D., Savickienė, N., Brazaitytė, A., Ruzgas, V., Jarienė, E., Kupčinskienė, E., Liobikas, J. & Šlepetienė, A. (2014). *Characterization of cold acclimation and cold hardiness of strawberry in vitro and in vivo*. Ph.D. Thesis. Aleksandro Stulginskio universitetas. Lithuania.
17. Marini, R. P. & Boyce, B. R. (1979). Influence of low temperatures during dormancy on growth and development of 'Catskill' strawberry plants. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 104, 159-162.
18. Nestby, R. & Bjørgum, R. (1999). Freeze injury to strawberry plants as evaluated by crown tissue browning, regrowth and yield parameters. *Scientia Horticulturae*, 81(3), 321-329.
19. Nestby, R., Lieten, F., Pivot, D., Lacroix, C. R. & Tagliavini, M. (2005). Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs: a review. *International journal of fruit science*, 5(1), 139-156.
20. Palonen, P. & Buszard, D. (1997). Current state of cold hardiness research on fruit crops. *Canadian journal of plant science*, 77(3), 399-420.
21. Prášil, I. & Zámečník, J. (1998). The use of a conductivity measurement method for assessing freezinginjury: I. Influence of leakage time, segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree of injury. *Environmental and Experimental Botany*, 40(1), 1-10.
22. Rohloff, J., Eidem, P., Davik, J. & Alsheikh, M. (2012). Metabolic cold acclimation of 'Polka' and 'Honeoye' strawberries under natural field conditions. In:*VII International Strawberry Symposium,*18 Feb., Beijing, China. pp. 463-466.
23. Turner, J., Tanino, K. & Stushnoff, C. (1993). Evaluation of low temperature hardiness of strawberry plants under field and controlled conditions. *CanadianJournal of Plant Science*, 73(4), 1123-1125.
24. Wang, S. Y. & Camp, M. J. (2000). Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 85(3), 183-199.
25. Warmund, M. R. (1993). Ice Distribution in Earliglow' Strawberry Crowns and Tissue Recovery following Extracellular Freezing. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(5), 644-648.
26. Wiemken, V., Kossatz, L. & Ineichen, K. (1996). Frost hardiness of Norway spruce grown under elevated atmospheric CO_2 and increased nitrogen fertilizing. *Journal of Plant Physiology*, 149(3), 433-438.
27. Yao, S., Luby, J. J. & Wildung, D. K. (2009). Strawberry cultivar injury after two contrasting Minnesota winters. *HortTechnology*, 19(4), 803-808.
28. Yao, S. R., Luby, J. J. & Hummer, K. E. (2012). Cold hardiness and foliar disease resistance of Northern American and Asian *Fragaria*. *Journal of the American Pomological Society*, 66(2), 46-55.

Archive of SID

www.SID.ir