

تأثیر کم محلول‌دهی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم آلبیون در سیستم هیدروپونیک

صلاح‌الدین مصلحتی‌فرد^{۱*} و حمید حسن‌پور^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۷)

چکیده

استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در کشت هیدروپونیک، نه تنها عملکرد محصول را افزایش نمی‌دهد، بلکه خصوصیات کیفی میوه را نیز کاهش داده و به دنبال آن مصرف آب زیادی را به همراه دارد. بنابراین لازم است مقدار محلول غذایی در سیستم‌های تولیدی گلخانه‌ای کاهش یابد. در این مطالعه، توت‌فرنگی رقم آلبیون در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۹ سانتی‌متر و ترکیب بستر کشت کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۱:۱ کشت شده و اثر کم محلول‌دهی با سه سطح (۱۰۰، ۱۴۰ و ۱۸۰ میلی‌لیتر به صورت یک روز در میان) روی برخی از خصوصیات کمی و کیفی این رقم مورد ارزیابی قرار گرفت. بر طبق نتایج به‌دست آمده، تأثیر کم محلول‌دهی روی صفاتی مانند ارتفاع و عرض بوته، تعداد برگ، شکل میوه، pH آب‌میوه، مواد جامد محلول، طعم میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون و سفتی بافت میوه معنی‌دار بود. بیشتر صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده در شرایط تنش کم محلول‌دهی، کاهش یافتند. بیشترین میزان عملکرد تک بوته، مواد جامد محلول، طعم میوه، در تیمار کم محلول‌دهی ۱۴۰ میلی‌لیتر و همچنین بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون و pH آب‌میوه، در تیمار شاهد (۱۸۰ میلی‌لیتر) مشاهده شد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کم محلول‌دهی به‌عنوان یک روش مطمئن می‌تواند در جهت افزایش کیفیت محصول توت‌فرنگی رقم آلبیون در شرایط کشت هیدروپونیک مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: عملکرد، کیفیت میوه، محلول غذایی، مواد جامد محلول

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

* پست الکترونیک: salahmaslahate73@gmail.com

مقدمه

توت فرنگی با نام علمی *Fragaria × ananassa* Dutch از خانواده گل سرخیان بوده و به خوبی با شرایط محیطی متفاوت سازگار شده و در اقلیم‌های معتدله، مدیترانه‌ای، نیمه گرمسیری و حتی در ارتفاعات مناطق گرمسیری کشت می‌شود (پرو و همکاران، ۱۳۹۳). توت فرنگی یکی از مهمترین ریزمیوه‌های مناطق معتدله است که در دهه‌های اخیر در زمره تولیدات مهم و تجاری قرار گرفته است. این محصول به دلیل عطر، طعم و محتویات سرشار از ویتامین آن به خوبی شناخته شده و جایگاه خود را در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر در جهان پیدا کرده است (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸). محتوی ترکیبات شیمیایی موجود در توت فرنگی تحت تأثیر عواملی مانند نوع ژنوتیپ، شیوه کشت، شرایط محیطی، مرحله بلوغ و شرایط انبارداری پس از برداشت قرار می‌گیرد. از مواد موثر مهم آن می‌توان تانن، موسیلاژ، قندهای مختلف، سالیسیلات‌ها و بخصوص اسیدهای میوه را نام برد. توت فرنگی سرشار از ویتامین و فاقد چربی اشباع است و کالری کمی دارد به طوری که در هر ۱۰۰ گرم آن ۳۲ کیلو کالری وجود دارد (عشقی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از چالش‌های جهان امروز، بحران کم‌آبی است و برای حل این مشکل کشورهای مختلف باید منابع آبی خود را به بهترین نحو مدیریت کنند. تجربه نشان می‌دهد نگرانی‌های موجود در خصوص کم‌آبی و بحران آب موجب بروز تنش و اختلاف در مناطق مختلف جهان به خصوص کشورهای فقیر خواهد شد. رشد جمعیت و رشد اقتصادی، بحران کم‌آبی را تشدید می‌کند (فال سلیمان، ۱۳۹۰). کم محلول دهی حالتی از کم آبیاری می‌باشد که عبارت است از استفاده بیشتر و بهتر از واحد حجم آب. در این روش، تنش‌های تنظیم شده و مورد نظر بر ریشه گیاهان اعمال شده و فعل و انفعالات ناشی از آن بررسی و مطالعه می‌گردد (بابایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲).

کم محلول دهی یکی از تنش‌های غیر زنده است که رشد، نمو و تولید را محدود می‌کند و روی فیزیولوژی و مکانیسم‌های بیوشیمیایی تأثیر می‌گذارد، بنابراین این شاخص می‌تواند کیفیت میوه را بهبود و غلظت ترکیبات وابسته به طعم و مواد فیتوشیمیایی را افزایش دهد (هرناندز^۱، ۲۰۱۸).

پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که کم آبیاری در توت فرنگی می‌تواند غلظت برخی از ترکیبات مربوط به طعم (از جمله قندها و اسیدهای آلی) و ظرفیت آنتی‌اکسیدان را به طور قابل توجهی در میوه رسیده افزایش دهد (رفیعی پور و همکاران، ۱۳۹۵). به گزارش شرما^۲ و همکاران (۲۰۱۴) کم آبیاری اگرچه عملکرد محصول را کاهش می‌دهد ولی ممکن است به طور معنی‌داری در مصرف آب صرفه‌جویی شود و اثرات مثبتی در افزایش کیفیت داشته باشد.

در مطالعه‌ای دیگر تنش خشکی روی توت فرنگی باعث کاهش در سطح برگ، وزن خشک برگ و ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، عملکرد و وزن میوه شده ولی مقدار ماده خشک میوه را افزایش داد و با افزایش میزان ماده خشک میوه، قند میوه و برخی اسیدها افزایش یافت (تری و جین‌بردونابا^۳، ۲۰۱۰). همچنین خان^۴ و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که تنش آبی مجموعه‌ای از عوامل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که بر عملکرد و کیفیت گیاهان تأثیر می‌گذارد. در مطالعه‌ای دیگر تنش خشکی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی توت فرنگی از قبیل سطح برگ، وزن خشک برگ و ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، عملکرد کل و وزن میوه را کاهش داد (قادری^۵ و همکاران، ۲۰۱۵). کم آبیاری برای اکثر محصولات زراعی بدون ایجاد کاهش جدی در مقدار محصول، باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد. هر چند بایستی یک حداقلی از رطوبت در طول فصل برای گیاه فراهم باشد (گرتس و رایس^۶، ۲۰۰۹). کم محلول دهی راهکاری است برای به عمل آوردن محصولات کشاورزی تحت شرایط کمبود آب و عناصر غذایی که عموماً با کاهش محصول در واحد سطح همراه است، ولی می‌توان با آب صرفه‌جویی شده سطح زیر کشت آبی را افزایش داد. با توجه به اینکه در شرایط کشت بدون خاک، کاهش میزان محلول و هزینه‌های مواد غذایی بدون کاهش عملکرد و کیفیت میوه یکی از گزینه‌های مدیریتی محسوب می‌شود و همچنین برای تولید ترکیبات کیفی میوه از قبیل رنگ، عطر، طعم و سایر شاخص‌های کیفی فعال شدن مسیرهای بیوسنتزی ثانویه ضروری می‌باشد

4. Khan
5. Ghaderi
6. Geerts and Raes

1. Hernandez
2. Sharma
3. Terry and Giné-Bordonaba

ارومیه گروه علوم باغبانی، در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۹ سانتی‌متر و ترکیب بستر کشت کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۱:۱ کشت شدند.

تهیه محلول غذایی

آب و محلول غذایی مورد نیاز بوته‌ها در تانکر ۱۰۰ لیتری تهیه و به صورت دستی در اختیار بوته‌ها قرار گرفت. فرمول غذایی مورد استفاده براساس روش لینت^۲ (۲۰۰۶)، تنظیم شد (جدول ۱).

(کاپور^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین در پژوهش حاضر برخی از خصوصیات کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون در شرایط کم محلول‌دهی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه انجام شد. نشاءهای توت‌فرنگی رقم آلبیون از گلخانه‌ای معتبر تهیه و پس از رفع نیاز سرمایی به مدت ۲۴۰ ساعت در سردخانه (۴-۰ درجه سانتی‌گراد) دانشگاه

جدول ۱- میزان تقریبی مواد غذایی بر حسب میلی‌گرم در لیتر برای پرورش توت‌فرنگی آبکشت در سیستم دارای بستر فیبر نارگیل (کوکوپیت)

pH	EC	مولیبدن	مس	بر	روی	منگنز	آهن	گوگرد	کلسیم	منیزیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	معتدل (رشد رویشی)
۵/۸	۲	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۷	۰/۲۵	۲/۶	۶/۵	۷۷	۲۲۱	۵۸	۱۸۴	۶۵	۲۰۷	معتدل (باردهی)
								۷۷	۱۴۸	۵۸	۳۰۱	۸۲	۱۸۲	

زمانی که رشد رویشی بوته‌ها به اتمام رسید، تعداد برگ هر کدام از بوته‌ها شمارش و ثبت شد.

طول و عرض میوه و قطر طوقه

طول و عرض میوه و همچنین قطر طوقه با استفاده از کولیس دیجیتالی مدل NO:Z 22855 اندازه‌گیری شد و داده‌ها بر حسب میلی‌متر (با دقت ۰/۰۱) قرائت گردید.

عملکرد کل بوته

وزن میوه‌ها با ترازوی حساس مدل Candg 1300 با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس عملکرد کل بوته از ابتدا تا انتهای تولید میوه برای بازه زمانی ۳۰ روز ثبت شد.

تعیین سفتی بافت میوه

جهت اندازه‌گیری سفتی بافت میوه از دستگاه تجزیه و سنجش بافت مدل XTPlus-TA استفاده شد. از آزمون تک محوری استفاده شد. سرعت پیش آزمون دستگاه ۲ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت آزمون ۱ میلی‌متر بر ثانیه و سرعت پس آزمون ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. پروب مورد استفاده دارای قاعده‌ای مسطح و با قطر ۵ میلی‌متر بود. با استفاده از نمودارهای نیرو-زمان حداکثر نیروی لازم برای نفوذ قرائت گردید (وارگاس^۳ و همکاران، ۲۰۰۶).

مقدار محلول غذایی در سه سطح (۱۰۰، ۱۴۰ و ۱۸۰ میلی‌لیتر) به صورت یک روز در میان از شروع کاشت تا پایان دوره برداشت میوه در اختیار گیاهان قرار داده شد. میوه‌هایی که بیش از ۷۰ درصد رنگ گرفته بودند، برداشت و شاخص‌های کمی بلافاصله پس از برداشت اندازه‌گیری شدند و میوه‌ها برای اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی و کیفی در فریزر ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

صفات مورد بررسی

در این پژوهش صفاتی نظیر: تعداد برگ، ارتفاع و عرض بوته، قطر طوقه، طول، عرض و وضعیت ظاهری میوه، عملکرد کل، سفتی بافت میوه، طعم، pH آب میوه، اسیددیده قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول مورد بررسی قرار گرفت.

ارتفاع و عرض بوته و تعداد برگ

ارتفاع هر کدام از بوته‌ها به وسیله خط‌کش از محل طوقه تا نوک مریستم انتهایی ساقه به عنوان شاخص ارتفاع بوته اندازه‌گیری شد و به سانتی‌متر بیان گردید (بعد از اتمام رشد رویشی بوته). همچنین جهت اندازه‌گیری عرض بوته، پهنای بوته از دو جهت با خط‌کش اندازه‌گیری شد و میانگین آنها به‌عنوان شاخص عرض بوته بر حسب سانتی‌متر بیان گردید.

وضعیت ظاهری میوه

برای ارزیابی وضعیت ظاهری میوه (شکل میوه) از روش مشاهده ظاهری (امتیازدهی عدد ۱-۵) استفاده شد. به این صورت که به میوه‌های عالی از نظر تقارن شکل و ظاهر عدد ۵ و به میوه‌هایی با کیفیت ظاهری پایین‌تر، عدد ۱ تعلق گرفت. در نهایت میانگین امتیازها به عنوان امتیاز اصلی برای شکل میوه در هر تیمار در نظر گرفته شد (دی‌رسند^۱ و همکاران، ۲۰۰۸).

pH میوه

جهت اندازه‌گیری pH میوه، آب‌میوه‌ها با استفاده از دستگاه آب‌میوه گیر گرفته شد، پس از عبور دادن آب‌میوه از کاغذ صافی با قرار دادن الکتروود pH متر در داخل آب‌میوه صاف شده و pH مورد نظر قرائت گردید (کارسو^۲ و همکاران، ۲۰۱۱).

اندازه‌گیری اسیددیده قابل تیتراسیون (TA)

برای این منظور از روش تیتراسیون استفاده شد به این صورت که ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از آب میوه داخل ارلن مایر ریخته شد سپس به آن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. برای اندازه‌گیری اسیدهای قابل تیتراسیون، همزمان با قرائت pH، عمل تیتراسیون توسط هیدروکسیدسدیم (NaOH) ۰/۱ نرمال (۴ گرم در لیتر) تا زمان رسیدن pH عصاره به عدد ۸/۲، انجام شد. بر اساس مقدار هیدروکسیدسدیم مصرفی، مقدار اسید موجود در عصاره میوه به صورت میلی‌گرم اسید در ۱۰۰ گرم عصاره میوه بیان گردید (آیالا-زاوالا^۳ و همکاران، ۲۰۰۷). میزان اسیددیده قابل تیتراسیون توت‌فرنگی برحسب فرمول زیر محاسبه گردید:

$$TA = \left(\frac{S \times N \times F \times E}{C} \right) \times 100$$

TA: مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه توت‌فرنگی

S: مقدار NaOH مصرف شده (ml)

N: نرمالیه NaOH (۰/۱ نرمال)

F: فاکتور NaOH یا ضریب نرمال (۱)

C: مقدار عصاره میوه (۱۰ ml)

E: اکی‌والان اسید سیتریک (۰/۰۶۴)

میزان مواد جامد محلول (TSS)

برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول با قرار دادن چند قطره از عصاره میوه توت‌فرنگی روی رفاکتومتر دستی مدل ATAGO انجام شد و عدد مربوطه از روی ستون مدرج قرائت گردید. قبل از شروع کار، رفاکتومتر کالیبره شده و همچنین پس از هر بار قرائت، رفاکتومتر با آب مقطر شستشو شده و برای قرائت‌های بعدی خشک گردید.

طعم میوه

برای سنجش طعم میوه از روش وکا^۴ و همکاران (۲۰۰۹) استفاده شد به طوری که نسبت مواد جامد محلول به اسیددیده قابل تیتراسیون به عنوان یکی از شاخص‌های طعم منظور گردید.

آنالیز آماری داده‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. سپس داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SAS آنالیز شده و به منظور مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. همچنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

بر طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها، شاخص‌های شکل میوه، ارتفاع و عرض بوته، تعداد برگ، طعم میوه، مواد جامد محلول، اسیددیده قابل تیتراسیون، pH آب‌میوه و سفتی بافت میوه، نسبت به شاهد معنی‌دار اما بقیه صفات اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲ و ۳).

طول و عرض میوه

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) تیمار کم محلول دهی روی صفت طول و عرض میوه اثرات معنی‌داری را نشان نداد. اما با کاهش میزان محلول غذایی مقدار آن‌ها نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با این حال بیشترین میزان طول و عرض میوه در گیاهان تیمار شده با سطح محلول دهی ۱۸۰ میلی‌لیتر و کمترین آن‌ها در سطح محلول دهی ۱۰۰ میلی‌لیتر مشاهده شد (جدول ۴). در توت‌فرنگی کم آبیاری به طور کلی با کاهش اندازه میوه و عملکرد همراه است (لیو^۵ و همکاران، ۲۰۰۸). پایین بودن رطوبت در

4. Voca

5. Liu

1. De Resende

2. Caruso

3. Ayala-Zavala

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر کم محلول‌دهی بر صفات کمی توت‌فرنگی رقم آلبیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول میوه	عرض میوه	شکل میوه	قطر طوقه
کم محلول‌دهی	۲	۲۳/۷۲۴ ^{ns}	۱۹/۸۱۱ ^{ns}	۱/۵۸ [*]	۱۱۹/۰۶۹ ^{ns}
خطای آزمایشی	۹	۱۰/۶۱۷	۵/۲۰۹	۰/۲۷۷	۸۱/۹۳۴
ضریب تغییرات (%)		۸/۳۷۷	۷/۲۶۶	۲۴/۳۲۵	۲۰/۷۵

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر کم محلول‌دهی بر صفات کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم آلبیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد برگ	عملکرد کل	طعم میوه	TSS	TA
کم محلول‌دهی	۲	۷۰/۷۵ ^{**}	۱۵۲۷/۰۳۴ ^{ns}	۹/۱۰۹ ^{**}	۵/۷۷ ^{**}	۰/۰۸۲ ^{**}
خطای آزمایشی	۹	۷/۸۳۳	۵۷۵/۶۳۳	۰/۴۷۶	۰/۲۴۳	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (%)		۱۲/۱۶	۲۶/۸۹۷	۱۰/۲۹۶	۷/۳۴۹	۷/۵۳۶

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم محلول‌دهی بر صفات کمی میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون

تیمار	طول میوه (mm)	عرض میوه (mm)	ارتفاع بوته (cm)	عرض بوته (cm)	تعداد برگ	قطر طوقه (mm)	شکل میوه
D180	۴۰/۸۸ ^a	۳۳/۳۸ ^a	۱۱/۲۰ ^a	۳۱/۷۵ ^a	۲۷/۷۵ ^a	۵۰/۰۳ ^a	۲/۷۵ ^a
D140	۳۹/۴۲ ^a	۳۱/۸۴ ^a	۱۰/۲۵ ^b	۳۰/۰۰ ^{ba}	۲۱/۵۰ ^b	۴۲/۶۶ ^a	۲/۲۵ ^{ba}
D100	۳۶/۱۲ ^a	۲۹/۰۰ ^a	۹/۲۳ ^c	۲۷/۵۰ ^b	۱۹/۷۵ ^b	۳۹/۳۴ ^a	۱/۵۰ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ در آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند. (D180: ۱۸۰ میلی‌لیتر یک روز در میان (شاهد)، D140: ۱۴۰ میلی‌لیتر یک روز در میان، D100: ۱۰۰ میلی‌لیتر یک روز در میان).

می‌تواند رشد آن را متوقف نماید (سادات‌میری و همکاران، ۱۳۹۲).

قطر طوقه، ارتفاع، عرض و تعداد برگ در بوته

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) در اثر تیمارهای کم محلول‌دهی ارتفاع و تعداد برگ در بوته در سطح احتمال ۱٪ و عرض بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود، اما قطر طوقه اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. براساس جدول مقایسه میانگین، بیشترین میزان قطر طوقه، ارتفاع، عرض و تعداد برگ در بوته در گیاهانی که ۱۸۰ میلی‌لیتر محلول غذایی دریافت کرده بودند، ثبت شد. در حالی که کمترین مقدار آن‌ها در گیاهانی که ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی دریافت کرده بودند، گزارش شد (جدول ۴). آزمایش‌های مختلف نشان داده‌اند که مهمترین علت کاهش رشد رویشی گیاه در شرایط تنش کم محلول‌دهی به دلیل کاهش تقسیمات سلولی، اختلال در فتوسنتز، کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد، مسدود شدن آوندهای چوب و آبکش و در نهایت عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع و عرض

تیمارهای کم محلول‌دهی می‌تواند تورژسانس و تقسیم سلولی در میوه را کاهش داده و طول و عرض میوه را تحت تأثیر قرار دهد (رفیعی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

وضعیت ظاهری میوه (شکل میوه)

شکل میوه در اثر تیمار کم محلول‌دهی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارزیابی برای شکل میوه در گیاهانی که ۱۸۰ میلی‌لیتر محلول غذایی دریافت کرده بودند، ثبت شد. میوه‌هایی که فقط محلول غذایی ۱۰۰ میلی‌لیتر به صورت یک روز در میان را دریافت کرده بودند، کمترین درجه شکل را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). تنش شدید کم محلول‌دهی (۱۰۰ و ۱۴۰ میلی‌لیتر یک روز در میان) تعداد میوه‌های عالی را از نظر شکل، کاهش داد. از دلایل بدشکلی و کاهش حجم و اندازه میوه‌ها می‌توان کاهش فتوسنتز و کاهش حجم سلول‌ها تحت شرایط کم آبیاری (کم محلول‌دهی) در مقایسه با محلول‌دهی کامل را ذکر کرد. به صورتی که کمبود آب و خشکی موجب کاهش فعالیت بیوشیمیایی فتوسنتز گیاه شده و با در اختیار قرار گرفتن مقدار کربوهیدرات کمتر در اختیار میوه، حتی

بوته، تعداد برگ و قطر طوقه می باشد (میرشکاری، ۱۳۹۰). در مطالعات قبلی نیز کم آبیاری در توت فرنگی، رشد رویشی، سطح برگ و همچنین میزان کلروفیل را در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش داد، که مشابه با نتایج تحقیق حاضر بود (قادی و همکاران، ۲۰۱۵).

عملکرد کل

تأثیر تیمار کم محلول دهی بر میزان عملکرد کل اختلاف معنی داری را در سطوح مختلف محلول دهی نشان نداد (جدول ۳). با این حال عملکرد کل در تنش کم محلول دهی (۱۴۰ میلی لیتر) نسبت به شاهد (۱۸۰ میلی لیتر) افزایش پیدا کرد، اما مقدار آن در شرایط تنش شدید کم محلول دهی (۱۰۰ میلی لیتر) به مقدار قابل توجهی کاهش یافت (شکل ۱). کاهش عملکرد در تنش شدید کم محلول دهی (۱۰۰ میلی لیتر یک روز در میان) را می توان به علت کاهش پتانسیل آب در آوندهای چوبی نسبت داد که در این حالت، حرکت آب در داخل گیاه دچار اختلال گردیده و در اثر آن وزن تر میوه و در نهایت عملکرد کاهش پیدا می کند (لی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). کاهش عملکرد در شرایط تنش کم محلول دهی به علت کاهش میزان فتوسنتز (بسته شدن روزنه) در شرایط کم آبی، اختلال در ساز و کار فتوسنتز بوده که در ادامه باعث اختلال در متابولیسم سلول ها شده و میزان عملکرد و اجزای آن را کاهش می دهد (بقالیان^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). در سایر پژوهش های انجام شده نیز کم آبی باعث کاهش عملکرد کل گردید (جین بردونابا و تری^۳، ۲۰۱۶).

طعم میوه و مواد جامد محلول

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) تیمار کم محلول دهی روی میزان طعم میوه و مواد جامد محلول در سطح احتمال یک درصد اثرات معنی داری را نشان داد. بیشترین میزان طعم میوه و مواد جامد محلول در گیاهانی که ۱۴۰ میلی لیتر محلول غذایی دریافت کرده بودند، ثبت شد. در حالیکه کمترین مقدار آن ها در گیاهانی که ۱۸۰ میلی لیتر (شاهد) محلول غذایی دریافت کرده بودند، گزارش شد (شکل ۲ و ۳). این افزایش مواد جامد محلول در شرایط کم محلول دهی را می توان به دلیل کاهش آب دریافتی توسط میوه و افزایش نسبت قند و ماده خشک به آب در میوه نسبت داد. به دلیل اینکه در شرایط کم محلول دهی

که یک تنش خشکی جزئی به حساب می آید، تولید هورمون اسید آبسزیک افزایش می یابد و بر کاهش پتانسیل اسمزی غلبه می کند. در نتیجه میزان آب کمتر و مواد جامد محلول بیشتری در سلول تجمع می یابد (تری و جین بردونابا، ۲۰۱۰). به دلیل اینکه شاخص طعم، حاصل نسبت مواد جامد محلول بر اسیدیته می باشد، می توان استنباط کرد که با مواد جامد محلول رابطه مستقیم دارد. همان طور که در مطالعه حاضر با افزایش مواد جامد محلول شاخص طعم میوه نیز افزایش پیدا کرد. در مطالعه تری و جین بردونابا (۲۰۱۰) مونوساکاریدها و نسبت قند به اسید به طور کلی در میوه های توت فرنگی تیمار شده با کم آبیاری نسبت به شاهد بیشتر بود. همچنین در پژوهشی، تری^۴ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که نسبت قند به اسیدیته در گیاهانی که در شرایط خشکی رشد کرده بودند به مراتب از گیاهانی که با آبیاری کامل، آبیاری شده بودند، بیشتر بود، که مطابق با نتایج این پژوهش بود.

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر تیمار کم محلول دهی بر اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳). کاهش محلول غذایی میزان اسیدیته قابل تیتراسیون را نسبت به شاهد کاهش داد، بنابراین باعث افزایش کیفیت میوه ها شد. بیشترین میزان آن در سطح محلول دهی شاهد (۱۸۰ میلی لیتر) و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید کم محلول دهی (۱۰۰ میلی لیتر) گزارش شد (شکل ۴). کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در تیمار کم محلول دهی به دلیل افزایش تجزیه نشاسته، افزایش فروکتوز و گلوکز، کاهش انتقال ساکارز از برگ ها به خارج و مهمتر از آن تجزیه اسیدهای آلی می باشد (جین بردونابا و تری، ۲۰۱۶).

pH آب میوه

تأثیر تیمار کم محلول دهی بر میزان pH آب میوه اختلاف معنی داری را در سطح احتمال ۱٪ نشان داد (جدول ۳). بیشترین میزان pH آب میوه در تنش کم محلول دهی شاهد (۱۸۰ میلی لیتر) و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید کم محلول دهی (۱۰۰ میلی لیتر) مشاهده شد، تنش کم محلول دهی باعث کاهش میزان pH آب میوه توت فرنگی گردید (شکل ۵). با افزایش شدت تنش کم محلول دهی pH

3. Giné-Bordonaba and Terry

4. Terry

1. Li

2. Baghalian

نتایج متفاوتی نسبت به هم ارائه شده است، این نتایج متناقض ممکن است از روش‌های مختلف ارزیابی بافت، شدت تنش، فعل و انفعالات قوی ژنوتیپ با محیط و فعل و انفعالات پیچیده در میان مکانیسم‌های متعددی که در بافت میوه نهایی دخیل هستند، ناشی شود (ریپول^۴ و همکاران، ۲۰۱۴).

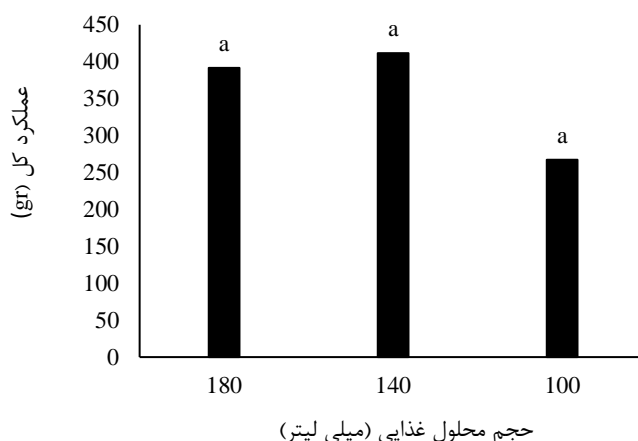
نتیجه‌گیری کلی

استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در کشت هیدروپونیک به‌صورت گلخانه‌ای، باعث هدر رفت کود و در نتیجه افزایش هزینه‌های تولید و همچنین افزایش زه‌آب گلخانه‌ای می‌شود، لذا کاهش در میزان محلول غذایی می‌تواند گزینه‌ای مدیریتی برای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و صرفه‌جویی در مقدار آب باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، اعمال تنش کم‌محلول‌دهی شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده را نسبت به شاهد بهبود بخشید. همچنین با افزایش میزان قند و کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون، باعث افزایش طعم میوه شده و با بهبود سفتی بافت میوه، ماندگاری پس از برداشت آن را افزایش می‌دهد. بنابراین کم‌محلول‌دهی به عنوان یک روش مطمئن می‌تواند در جهت افزایش کیفیت محصولات گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

آب‌میوه روند نزولی پیدا کرد که با نتایج هادی‌راد و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت داشت. همچنین در پژوهشی بیشترین میزان pH عصاره میوه در گیاهانی که بیشترین میزان محلول غذایی را دریافت کرده بودند، ثبت شد و با قاطعیت می‌توان گفت که تجمع اسیدهای آلی در اثر فعالیت متابولیت‌های اولیه هستند (تایز^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

سفتی بافت میوه

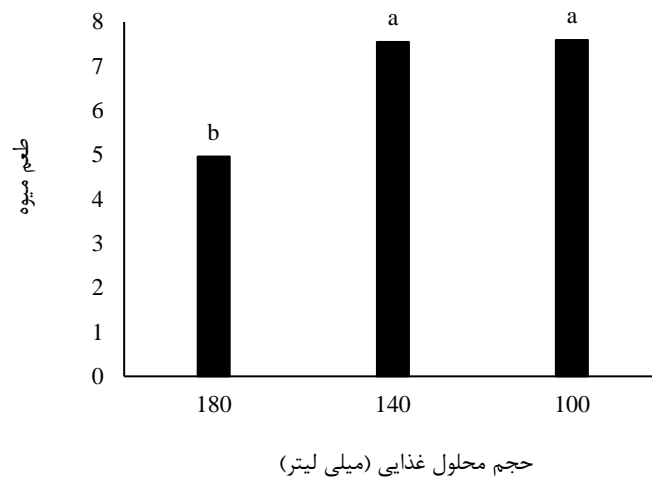
بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر تیمار کم محلول‌دهی بر سفتی بافت میوه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان سفتی بافت میوه در گیاهانی که ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی دریافت کرده بودند، ثبت شد. در حالیکه کمترین مقدار آن‌ها در گیاهانی که ۱۸۰ میلی‌لیتر (شاهد) محلول غذایی دریافت کرده بودند، گزارش شد (شکل ۶). محتمل‌ترین فرضیه‌ها این است که کم‌آبیاری از طریق تأثیر بر اندازه سلول، تورژسانس^۲ سلول، انتقال املاح و تجمع املاح فعال اسمزی در سطح سلول بر بافت میوه تأثیر می‌گذارد (اراندا^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). پایین بودن میزان سفتی در محلول‌دهی شاهد در مقایسه با کم‌محلول‌دهی ملایم به این دلیل است که در شرایط محلول‌دهی شاهد بیشتر متابولیت‌های اولیه فعالیت دارند و متابولیت‌های ثانویه که شاخص‌های کیفی را از قبیل سفتی افزایش می‌دهند به میزان کمتری فعال می‌باشند. در مطالعات انجام شده بر روی تأثیر کم‌آبی بر سفتی و استحکام بافت میوه،



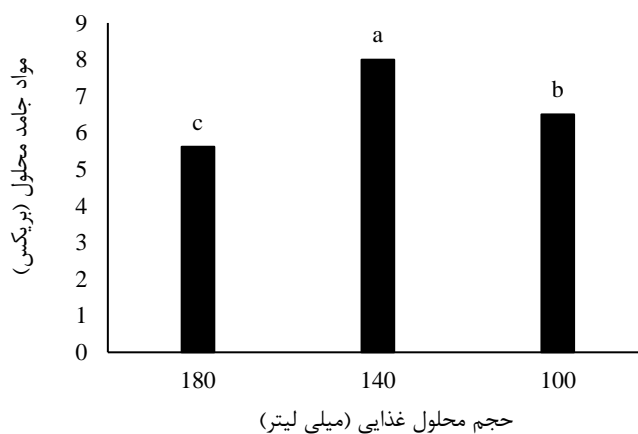
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم محلول‌دهی بر میزان عملکرد کل بوته توت‌فرنگی رقم آلبیون. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

3. Aurand
4. Ripoll

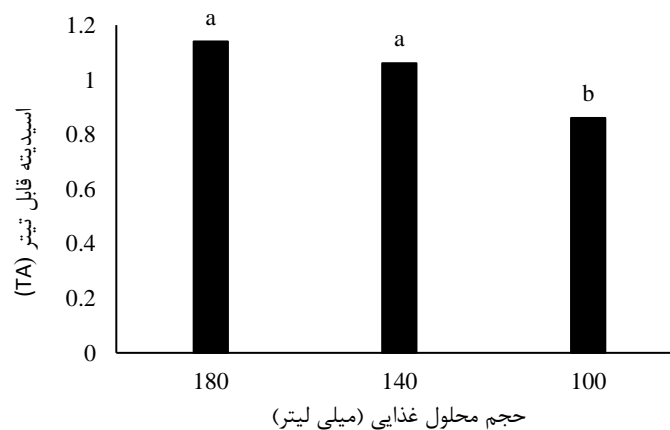
1. Taiz
2. Torges



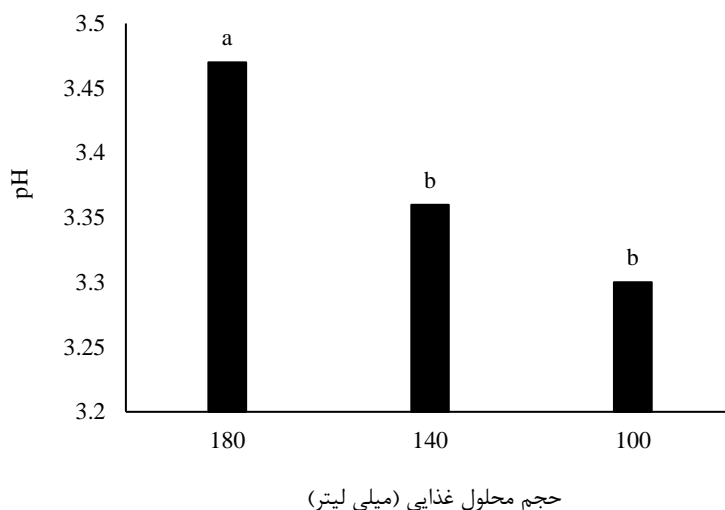
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم محلول دهی بر میزان طعم میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



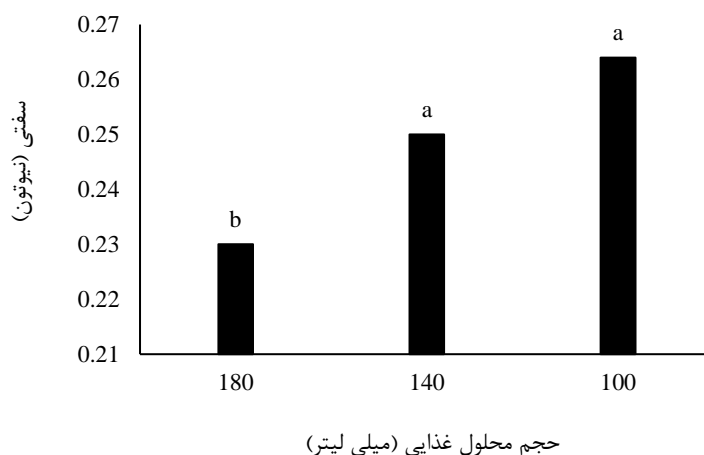
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم محلول دهی بر میزان مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم محلول دهی بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم محلول‌دهی بر pH آب میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کم محلول‌دهی بر میزان سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون. ستون‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

منابع

بابایی‌مقدم، ا.، شاه‌نظری، ع.، ضیاتباره، ا. و آقاجانی‌مازندرانی، ق. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی روش‌های مختلف کم آبیاری در کشت هیدروپونیک از طریق اعمال تنش شوری بر خصوصیات فیزیکی ریشه لوبیا چشم بلبلی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۱۹(۱۱): ۱۱-۱۸.

پروه، ط.، جوادی، ت. و قادری، ن. ۱۳۹۳. اثر تنش اسمزی و کاربرد خارجی گلاسیسین‌بتائین روی برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی توت‌فرنگی رقم پاروس. دومین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری، اسفندماه، تبریز.

رفیعی‌پور، م.، غلامی، م. و ساری‌خانی، ح. ۱۳۹۵. اثر تنش کم آبی و برخی عناصر غذایی بر ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم کاماروسا، پایان‌نامه دکتری تخصصی، دانشکده علوم باغبانی دانشگاه بوعلی سینا. ۱۴۵ ص.

- سادات میری، ف.، شاه نظری، ع.، ضیاء تبار احمدی، م. و زبردست رستمی، ز. ۱۳۹۲. اثر کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد کمی و کیفی میوه پرتقال. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۱(۲۸): ۸۰-۸۶.
- عشقی، س.، هاشمی، م.، محمدی، ع.، بدیعی، ف.، محمدحسینی، ز.، احمدی صومعه، ک. و قناتی، ک. ۱۳۹۱. تأثیر پوشش نانومولسیون حاوی کیتوزان بر افزایش ماندگاری و ویژگی‌های کیفی میوه توت فرنگی پس از برداشت. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۲(۸): ۹-۱۹.
- فاطمی، ل.، طباطبایی، ج. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سیلیسیوم بر شدت فتوستنز و غلظت عناصر غذایی گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله دانش کشاورزی، ۱(۱۱): ۱۰۷-۱۱۸.
- فال سلیمان، م. ۱۳۹۰. نقش مدیریت بهینه مصرف آب کشاورزی جهت افزایش بهره‌وری و پایداری منابع آب دشت‌های بحرانی در نواحی خشک و کم آب کشور. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۹(۱۶): ۲۰۰-۲۱۸.
- میرشکاری، ب. ۱۳۹۰. تأثیر زمان آبیاری و کود نیتروژن بر دوره رشد و محتوای شامازولین بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) در منطقه سرد و نیمه خشک. مجله گیاهان دارویی و معطر، ۲۷(۱): ۱۷۳-۱۸۷.
- هادی‌راد، م.، اصغری، م. و عصاره، م. ۱۳۹۵. تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر کیفیت میوه انار رقم رباب (*Punica granatume* L.) تحت شرایط تنش خشکی. دو فصلنامه علمی- پژوهشی خشک بوم، ۱(۶): ۱۶-۲۸.
- Aurand, R., Faurobert, M., Page, D., Maingonnat, J.F., Brunel, B., Causse, M. and Bertin, N. 2012. Anatomical and biochemical trait network underlying genetic variations in tomato fruit texture. *Euphytica*, 187(1): 99-116.
- Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.Y., Wang, C.Y. and González-Aguilar, G.A. 2007. High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Science and Biotechnology*, 45: 166-173.
- Baghalian, K., Abdoshah, S.H., Khalighi-Sigaroodi, F. and Paknejad, F. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria inodora* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(20): 201-207.
- Caruso, G., Villari, G., Melchionna, G. and Conti, S. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 129(3): 479-485.
- De Resende, J.T.V., Camargo, L.K., Argandoña, E.J., Marchese, A. and Camargo, C.K. 2008. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits. *Horticultura Brasileira*, 26: 371- 374.
- Geerts, S. and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management*, 96(9): 1275-1284.
- Ghaderi, N., Nourmohammadi, S. and Javadi, T. 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria × ananassa*) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal Agricultural Scientia Technology*, 17: 167-178.
- Giné-Bordonaba, J. and Terry, L.A. 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit and leaves. *Scientia Horticulturae*, 199: 63-70.
- Herrera-Hernández, M.G., González-Chavira, M.M., Guzmán-Maldonado, H. and Pons-Hernández, J.L. 2018. Controlled water deficit as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. *Scientia Horticulturae*, 234: 354-360.
- Kapur, B., Saridaş, M.A., Çeliktöpus, E., Kafkas, E. and Kargi, S.P. 2018. Health and taste related compounds in strawberries under various irrigation regimes and bio-stimulant application. *Food Chemistry*, 263: 67-73.
- Khan, A., Anwar, Y., Hasan, M., Iqbal, A., Ali, M., Alharby, H. and Hasanuzzaman, M. 2017. Attenuation of drought stress in Brassica seedlings with exogenous application of Ca²⁺ and H₂O₂. *Plants*, 6(2): 20:1-13
- Li, H., Li, T., Gordon, R.J., Asiedu, S.K. and Hu, K. 2010. Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 165-174.
- Liu, X.Q., Ko, K.Y., Kim, S.H. and Lee, K.S. 2008. Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 269-281.

- Lynette, M. 2006. Hydroponic strawberry production: A technical guide to the hydroponic production of strawberries (First ed.). Suntec (NZ) Ltd publications.
- Ripoll, J., Urban, L., Staudt, M., Lopez-Lauri, F., Bidet, L.P. and Bertin, N. 2014. Water shortage and quality of fleshy fruits making the most of the unavoidable. *Journal of Experimental Botany*, 65(15): 4097-4117.
- Sharma, S.P., Leskovar, D.I., Crosby, K.M., Volder, A. and Ibrahim, A.M.H. 2014. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 136: 75-85.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A. 2014. *Plant physiology and development* (Sixth ed.). Oxford University Press.
- Terry, L.A., Chope, G.A. and Bordonaba, J.G. 2007. Effect of water deficit irrigation and inoculation with *Botrytis cinerea* on strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26): 10812-10819.
- Terry, L.A. and Giné-Bordonaba, J. 2010. Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chemistry*, 122: 1020-1026.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A. and González-Martínez, C. 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest biology and technology*, 41(2): 164-171.
- Voca, S., Jakobek, L., Druzic, J., Sindrak, Z., Dobricevic, N., Seruga, M. and Kovac, A. 2009. Quality of strawberries produced applying two different growing systems *Calidad de fresas producidas aplicando dos diferentes sistemas de cultivo*. *CyTA-Journal of Food*, 7(3): 201-207.