

## تأثیر کشت درون محلول غذایی در عکس‌العمل روزه‌های هوایی به تنش خشکی در گیاه برگ بیدی پرورش یافته در شرایط رطوبت نسبی بالا

عبدالحسین رضایی نژاد<sup>۱\*</sup> و اولکه ون میترن<sup>۲</sup>

\*- نویسنده مسؤول: استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (Rezaeinejad.Hossein@gmail.com)

۲- دانشیار گروه باغبانی دانشگاه واخینگن هلند

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۳

### چکیده

این تحقیق با استفاده از روش نوین اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیلی تحت اکسیژن پایین به بررسی تأثیر کشت درون محلول غذایی در عکس‌العمل روزه‌های هوایی به تنش خشکی در برگ‌بیدی پرورش یافته در رطوبت نسبی بالا پرداخته است. بر اساس نتایج، روزه‌های گیاهان پرورش یافته در خاک در رطوبت بالا قادر به بسته‌شدن کامل در مقابل تنش خشکی نبودند؛ اما وقتی در محلول غذایی پرورش داده شدند روزه‌هایی را تولید کردند که به سرعت در برابر تنش خشکی بسته شدند. همچنین روزه‌های گیاهان با تقسیط ریشه در خاک و آب در رطوبت بالا به سرعت در مقابل تنش خشکی بسته شدند. حذف ریشه‌های درون محلول غذایی در تقسیط ریشه باعث شد که روزه‌ها عکس‌العمل سریع خود را از دست بدهند. ظاهراً ریشه‌های درون محلول غذایی علائم مثبت ناشناخته‌ای را تولید و به برگ‌ها می‌فرستند که در تولید روزه‌های کارآمد موثر است.

**کلید واژه‌ها:** روزه‌های هوایی، رطوبت نسبی هوا، تنش خشکی، کشت درون محلول غذایی، برگ‌بیدی

### مقدمه

خصوصاً واکنش روزه‌های هوایی به تأثیر کوتاه مدت عوامل محیطی مانند تنش خشکی، تغییر شدت نور و رطوبت نسبی هوا تحقیقات زیادی انجام شده است (آسمن، ۱۹۹۳). اما تأثیر طولانی مدت عوامل محیطی در طی رشد و نمو گیاه هم در تکامل روزه‌های هوایی و عکس‌العمل بعدی آن‌ها به شرایط محیطی حائز اهمیت می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی که در طی رشد و نمو بر تکامل و رفتار روزه‌های هوایی موثر می‌باشد رطوبت نسبی هواست (توره و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۱). تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که گیاهان تولید شده از طریق کشت بافت و قلمه‌های برگ دار ریشه دار شده در رطوبت نسبی بالا در حین انتقال با تلفات فراوانی

روزه‌های هوایی نقشی اساسی در روابط آبی و فتوسنتز گیاه دارند و عکس‌العمل آن‌ها به شرایط مختلف محیطی از عوامل اساسی موثر در رشد، نمو و عملکرد محصولات زراعی و باغی می‌باشد. علاوه بر این، عکس‌العمل سریع آن‌ها در مقابل شرایط محیطی (از جمله رطوبت نسبی پایین هوا در نزد مصرف‌کننده) از عوامل مهم در حفظ تعادل آبی و افزایش عمر نگهداری گل‌های بریده است. روزه‌های هوایی برای واکنش مناسب، عوامل مختلف محیطی را حس کرده و قادر به تلفیق دقیق آن‌ها با علائم درونی گیاه می‌باشند (کرنز و آسمن<sup>۱</sup>، ۱۹۹۳؛ هترینگتون و وودوارد<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳). در

3- Torre et al.

1- Kearns & Assmann

2- Hetherington & Woodward

محلول غذایی در مقایسه با کشت خاکی در تکامل روزنه‌های هوایی در گیاهان پرورش یافته در شرایط رطوبت نسبی بالا مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش ها

این تحقیق بر روی گیاه زینتی برگ‌بیدی<sup>۱۲</sup> (شکل ۱) در گروه باغبانی دانشگاه واخنینگن هلند در سال ۱۳۸۵ انجام گردید. گیاه برگ‌بیدی با دارا بودن روزنه‌های درشت و امکان تکثیر و رشد سریع به عنوان یک گیاه مدل در تحقیقات مربوط به روزنه‌های هوایی استفاده می‌شود (فرانکس و فرکوهر<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۱). گیاه مذکور به روش تقسیم بوته و به صورت گلدانی در اتاقک‌های رشدی با دمای پیوسته  $21 \pm 0.5$  درجه سانتی‌گراد، رطوبت  $5 \pm 55$  یا  $5 \pm 90$  درصد و شدت نور  $10 \pm 120$  میکرومول بر مترمربع بر ثانیه پرورش داده شد (رضایی نژاد و همکاران، ۲۰۰۶؛ رضایی نژاد و ون میترن<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۷؛ ۲۰۰۸). در کشت خاکی، از نوعی کمپوست تجاری<sup>۱۵</sup> و آبیاری منظم استفاده شد و در سیستم کشت درون محلول غذایی از محلول هوگلند و هوادهی منظم محلول غذایی استفاده گردید. در سیستم تقسیط ریشه<sup>۱۶</sup> نصف ریشه‌های یک گیاه در خاک و نصف دیگر در محلول غذایی هوگلند پرورش داده شدند.



- 12- *Tradescantia virginiana*
- 13- Franks and Farquhar
- 14- Rezaei Nejad & van Meeteren
- 15- Potgrond 4, Hortimeea, Lent, The Netherlands
- 16- Split root system

همراه هستند (سانتاماریا و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۳؛ فوردهام و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱). در سال‌های اخیر مشخص گردیده است که در صورت بالابودن رطوبت نسبی هوای گلخانه در طی پرورش گل‌های بریده مهمی چون رز و سوسن، عمر گل بریده آن‌ها پایین می‌آید (مورتنسن و گیزلرود<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷؛ ۱۹۹۹؛ ۲۰۰۰؛ توره و همکاران، ۲۰۰۱؛ این و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷؛ پیترسن و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۷). این موضوع به عملکرد روزنه‌های هوایی نسبت داده شده به طوری که روزنه‌های هوایی گیاهان پرورش یافته در شرایط رطوبت بالا قادر به بسته شدن در رطوبت‌های نسبی پایین تر و شرایط تنش خشکی نیستند (مارین و همکاران<sup>۶</sup>، ۱۹۸۸؛ فوردهام و همکاران، ۲۰۰۱؛ توره و فیلد<sup>۷</sup>، ۲۰۰۱؛ رضایی نژاد و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۵). حد بحرانی رطوبت نسبی هوا برای تولید روزنه‌های هوایی با عکس‌العمل ضعیف در مقابل تنش خشکی ۸۵ درصد گزارش شده است (مورتنسن و فیلد، ۱۹۹۵؛ ۱۹۹۸). از سوی دیگر در آزمایش‌هایی بر روی گیاهان مختلف نشان داده شده که در شرایط تنش خشکی و شوری روزنه‌های کوچکتر اما کارآمدتری تولید می‌شود. در این تحقیقات به نقش ریشه در تولید و ارسال موادی چون هورمون اسید آبسزیک بالاتر نسبت به شرایط بدون تنش در تکامل روزنه‌های هوایی اشاره شده است (اسپنس و همکاران<sup>۹</sup>، ۱۹۸۶؛ زیبا<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۴؛ بلات<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۰). اما در مورد نقش محیط کشت و تاثیر احتمالی آن در تکامل روزنه‌ها در شرایط رطوبت نسبی بالای گلخانه هیچ‌گونه اطلاعاتی به صورت مستند در دست نیست و به همین دلیل، در این تحقیق تاثیر کشت درون

- 1- Santamaria *et al.*
- 2- Fordham *et al.*
- 3- Mortensen & Gislerød
- 4- In *et al.*
- 5- Pettersen *et al.*
- 6- Marin *et al.*
- 7- Torre & Fjeld
- 8- Rezaei Nejad *et al.*
- 9- Spence *et al.*
- 10- Xia
- 11- Blatt

میکرومول بر متر مربع بر ثانیه توسط لامپ هالوزن ۲۵۰ وات تامین گردید. برای تنظیم ترکیب گازی هوا از سیلندره‌های گاز نیتروژن، اکسیژن و دی اکسید کربن متصل به کنترل‌کننده‌های جریان گاز و دستگاه ثبات جریان گاز استفاده و ترکیب گازی تولید شده به یک محفظه<sup>۶</sup> غیرقابل نفوذ به هوای بیرونی که در زیر دستگاه تصویربرداری قرار داشت فرستاده می‌شد. جهت اندازه‌گیری قسمتی از برگ درون محفظه قرار گرفته و به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط نوری با شدت ۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه قرار داده تا حالت پایدار در انتقال الکترون ایجاد گردد و سپس اندازه‌گیری انجام شد (رضایی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۶؛ رضایی‌نژاد و ون‌میترن<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷؛ رضایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). در زمان اندازه‌گیری دمای داخل محفظه  $1 \pm 22$  درجه سانتی‌گراد بود. همچنین رطوبت نسبی هوای ورودی به داخل محفظه  $2 \pm 40$  درصد بود (رضایی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۶؛ رضایی‌نژاد و ون‌میترن، ۲۰۰۷؛ رضایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). برای اندازه‌گیری عکس‌العمل روزنه‌های گیاه در برابر تنش ابتدا برگ‌ها از گیاه مادر جدا و قاعده آن‌ها درون آب قرار گرفته و در حالت بدون تنش (شاهد) اندازه‌گیری انجام شد. سپس برای ایجاد حالت تنش خشکی، برگ‌ها از داخل آب خارج شدند و بعد از دو ساعت دوباره اندازه‌گیری  $\Phi_{PSII}$  صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری سرعت تعرق، ابتدا برگ‌ها از گیاهان مادری در تیمارهای مختلف جدا شده و بلافاصله به اتاق آزمایش (رطوبت نسبی ۴۰ درصد، شدت نور ۱۰۰ میلی مول بر متر مربع در ثانیه و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) انتقال داده شدند. سپس قاعده برگ‌ها درون لوله‌های کوچک حاوی آب قرار داده شده و با پلاستیک روی آن‌ها را پوشانده و به مدت یک ساعت در شرایط تاریکی قرار گرفتند تا به حداکثر محتوای



شکل (۱) تصاویری از گیاه برگ‌بیدی  
*Tradescantia virginiana* مورد استفاده در

### این تحقیق

برای بررسی عملکرد روزنه‌ها از سیستم عکس برداری فلورسانس کلروفیلی در شرایط اکسیژن پایین استفاده گردید. در این روش نوین با اندازه‌گیری عملکرد نسبی کوانتومی انتقال الکترون در فتوسیستم II فتوستتر ( $\Phi_{PSII}$ ) بدون تخریب برگ وضعیت باز یا بسته بودن روزنه‌ها مشخص می‌شود. این عدد بین ۰ تا ۱ می‌باشد و بالا بودن آن نشان‌دهنده بالاتر بودن میزان باز بودن روزنه‌هاست (رضایی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۶؛ ۱۳۸۹). برای اندازه‌گیری  $\Phi_{PSII}$  از یک دستگاه تصویربرداری فلورسانس کلروفیلی<sup>۱</sup> مجهز به دوربین سی‌سی‌دی<sup>۲</sup> و متصل به کامپیوتر و نرم‌افزار مربوطه<sup>۳</sup> استفاده گردید که با گرفتن دو عکس متوالی از  $\Phi_{PSII}$  در حالت تعادل نوری ( $F_s$ ) و اشباع نوری ( $F'_m$ ) و محاسبه  $\Phi_{PSII}$  براساس فرمول شماره (۱) تصویر نهایی  $\Phi_{PSII}$  ثبت گردیده و داده‌های لازم جهت تولید نمودار فراوانی نقاط برگ<sup>۴</sup> در طیف‌های مختلف  $\Phi_{PSII}$ ، میانگین  $\Phi_{PSII}$  و انحراف معیار به دست آمد.

$$\Phi_{PSII} = (F'_m - F_s) / F'_m \quad (1) \text{ فرمول شمار}$$

شدت نور پیوسته ۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه وسط لامپ‌های نارنجی<sup>۵</sup> و اشباع نوری با شدت ۲۵۰۰

1- FluorCam700MF, Photon Systems Instruments, Brno, Czech Republic

2- CCD

3- FluorCam software, version 5.0

4- Frequency distribution histogram

5- Orang light-emitting diodes

6- Cuvette

7- Rezaei Nejad & Van Meeteren

گرفت. در هر اندازه گیری نمونه برداری از گیاهان به صورت تصادفی انجام شد و تعداد نمونه برداری ها متفاوت بود که تعداد تکرار در زیر نویس هر نمودار ذکر گردیده است. در اندازه گیری های انجام شده با دستگاه فلورسانس کلروفیلی با توجه به اعمال تنش در حین اندازه گیری، داده ها به صورت فاکتوریل دوفاکتوره و در اندازه گیری میزان هورمون اسید آبسزیک، داده ها به صورت کاملاً تصادفی آنالیز شدند. برای آنالیز داده های سرعت تعرق از رگرسیون غیرخطی با فرمول شماره (۲) استفاده گردید.

$$[Y = a * \exp^{-k * X} + b] \quad (2) \text{ فرمول شمار}$$

میانگین چهار تکرار برای ایجاد منحنی ها استفاده و از نظر آماری ارزش  $F$  پارامترهای رگرسیون غیرخطی حاصله با هم مقایسه شدند. آنالیز داده ها و رسم نمودارها توسط برنامه های Excel، Prism 4 و MSTAT-C انجام و میانگین ها توسط آزمون چنددامنه ای دانکن مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده تاثیر بسیار معنی دار رطوبت نسبی در زمان رشد و نمو بر عکس العمل روزنه های هوایی در مقابل تنش خشکی می باشد. در حالت شاهد که هیچ گونه تنشی بر گیاه وارد نشده، روزنه ها در همه گیاهان پرورش یافته در رطوبت پایین و بالا به طور کامل باز بوده و در نتیجه میزان  $\Phi_{PSII}$  بالا بوده و تفاوت معنی داری مشاهده نشد ( $0/01 \pm 0/69$  و  $0/01 \pm 0/71$ ) به ترتیب در رطوبت های نسبی پایین و بالا). اما در عکس العمل به تنش خشکی، روزنه های گیاهان پرورش یافته در رطوبت ۵۵٪ بسته شده و در نتیجه میزان  $\Phi_{PSII}$  بسیار پایین بود ( $0/03 \pm 0/32$ ) ولی در گیاهان پرورش یافته در رطوبت ۹۰٪ عکس العمل روزنه ها به تنش ناقص بوده و به طور کامل بسته نشده، در نتیجه میزان  $\Phi_{PSII}$  ( $0/03 \pm 0/59$ ) بسیار بالاتر از گیاهان پرورش یافته در رطوبت پایین بود (نمودار ۱).

نسبی آب برسند. سپس به مدت نیم ساعت در شرایط نوری با وجود پوشش پلاستیکی قرار گرفته تا ضمن حفظ محتوای نسبی، روزنه هایشان به طور کامل باز شود. سپس پوشش پلاستیکی برداشته شد و برگ ها درون لوله های خالی قرار داده شده و بر روی ترازوهای دیجیتال متصل به کامپیوتر قرار دادند و سرعت تعرق به صورت وزنی به مدت شش ساعت اندازه گیری شد. سپس با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ<sup>۱</sup> مساحت برگ ها اندازه گیری و سرعت تعرق بر حسب میلی مول در متر مربع در ثانیه محاسبه گردید (رضایی نژاد و ون میترن، ۲۰۰۵).

برای اندازه گیری هورمون اسید آبسزیک برگ های تازه بالغ جوان از گیاهان در صبح زود برداشت، وزن تر آن ها یادداشت گردیده و بلافاصله درون نیتروژن مایع قرار گرفتند. سپس توسط خشک کن انجمادی<sup>۲</sup> خشک شده و پس از اندازه گیری وزن خشک آسیاب گردیدند. سه میلی لیتر آب مقطر به ۵۰ میلی گرم از نمونه پودر شده اضافه شده و پس از مخلوط شدن درون دستگاه شیکر در دمای چهار درجه سانتی گراد در طول شب قرار گرفتند و روز بعد ابتدا به مدت ده دقیقه با دور ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ<sup>۳</sup> شده و رسوب آن ها جدا گردید و سپس با استفاده از روش الایزای غیرمستقیم میزان هورمون اندازه گیری گردید (رضایی نژاد و ون میترن، ۲۰۰۷).

تمامی گیاهان مورد استفاده در این تحقیق از یک گیاه اولیه طی چند مرحله تقسیم بوته حاصل گردیدند و از نظر ژنتیکی یکسان بودند. در آزمایشات مربوط به رطوبت در هر تیمار ۱۶ گلدان و در آزمایش های تقسیم ریشه به علت مشکل بودن اجرا در هر تیمار چهار گلدان به صورت کاملاً تصادفی کشت گردید. هر گیاه به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد و از هر گیاه در هر اندازه گیری فقط یک برگ بالغ جوان مورد استفاده قرار

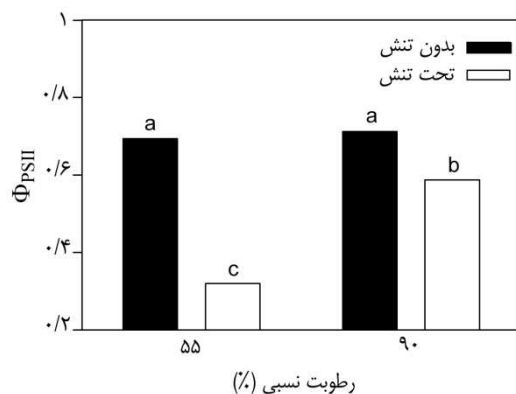
1- LI-COR, model 3100 Area Meter

2- Freeze dryer

3- Hettich Universal 16R centrifuge, Germany

به‌طور معنی‌داری بیشتر از روزه‌های گیاهان پرورش یافته در خاک بسته شده و در نتیجه میزان  $\Phi_{PSII}$  بسیار پایین‌تر بود ( $0/01 \pm 0/54$  و  $0/02 \pm 0/41$  به ترتیب در خاک و محلول غذایی) (نمودار ۲). برای اطمینان از نتایج حاصله از اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیلی، سرعت تعرق گیاهان پرورش یافته در خاک یا محلول غذایی در شرایط رطوبت بالا اندازه‌گیری و با هم مقایسه شدند. با جدا کردن برگ از گیاه مادری به‌منظور ایجاد تنش خشکی، سرعت تعرق در برگ هر دو گروه گیاهان پرورش یافته در خاک یا محلول غذایی با گذشت زمان کاهش یافت؛ اما سرعت تعرق در گیاهان پرورش یافته در محلول غذایی به‌طور معنی‌داری از گیاهان پرورش یافته در خاک در عکس‌العمل به تنش خشکی پایین‌تر بود، به‌طوری‌که سرعت تعرق نهایی در گیاهان کشت‌شده درون محلول غذایی  $0/07$  میلی‌مول در متر مربع در ثانیه و در گیاهان کشت‌شده درون خاک  $0/17$  میلی‌مول در متر مربع در ثانیه بود (نمودار ۳). این موضوع نشان‌دهنده عکس‌العمل سریع‌تر روزه‌های هوایی در گیاهان پرورش یافته در محلول غذایی به تنش خشکی است.

برای بررسی علت تفاوت عکس‌العمل روزه‌های هوایی گیاهان پرورش یافته در محلول غذایی و خاک تحت شرایط رطوبت بالا، در برخی گیاهان نصف ریشه‌ها در محلول غذایی و نصف دیگر در خاک پرورش داده شد و عکس‌العمل روزه‌های آن‌ها در برابر تنش خشکی با گیاهانی که تمام ریشه‌های آن‌ها درون خاک بود مقایسه گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تاثیر بسیار معنی‌دار محیط کشت (خاک در مقابل سیستم تقسیط ریشه در خاک بعلاوه محلول غذایی) بر عکس‌العمل روزه‌های هوایی گیاهان پرورش یافته در رطوبت نسبی بالا در مقابل تنش خشکی می‌باشد. در حالت شاهد که هیچ‌گونه تنشی بر گیاه وارد نشده روزه‌ها در همه گیاهان پرورش یافته در رطوبت بالا در خاک یا خاک بعلاوه محلول غذایی به‌طور کامل باز بوده و در نتیجه میزان  $\Phi_{PSII}$  بالا بود و تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید



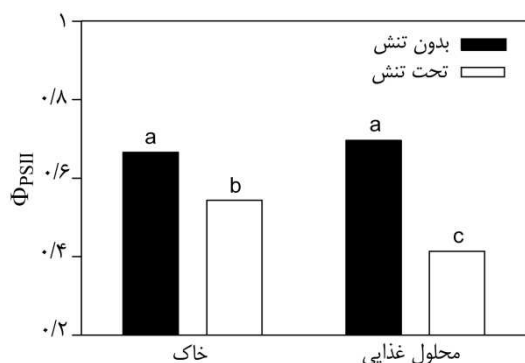
### نمودار (۱) میانگین $\Phi_{PSII}$ (اندازه‌گیری شده در شرایط اکسیژن پایین) در برگ گیاهان پرورش یافته در رطوبت‌های ۵۵ و ۹۰ درصد تحت شرایط شاهد (بدون تنش خشکی) و دو ساعت بعد از تنش خشکی.

میانگین‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند ( $P < 0/05$  و  $N=6$ ).

این نتایج با نتایج مطالعات قبلی که تاثیر تنش خشکی، هورمون اسید آبسزیک و تاریکی را بر گیاهان پرورش یافته در شرایط رطوبت نسبی بالا و پایین از طریق اندازه‌گیری مستقیم میزان باز بودن روزه‌ها، اندازه‌گیری هدایت روزه ای و اندازه‌گیری میزان تعرق بررسی کرده بودند مطابقت دارد (توره و فیلد، ۲۰۰۱؛ رضایی‌نژاد و ون‌میترن، ۲۰۰۵).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تاثیر بسیار معنی‌دار محیط کشت (خاک در مقابل محلول غذایی) بر عکس‌العمل روزه‌های هوایی گیاهان پرورش یافته در رطوبت نسبی بالا در مقابل تنش خشکی می‌باشد. در حالت شاهد که هیچ‌گونه تنشی بر گیاه وارد نشده روزه‌ها در همه گیاهان پرورش یافته در رطوبت بالا در خاک یا محلول غذایی به‌طور کامل باز بوده و در نتیجه میزان  $\Phi_{PSII}$  بالا بوده و تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ( $0/01 \pm 0/68$  و  $0/01 \pm 0/70$  به ترتیب در خاک و محلول غذایی)؛ اما در عکس‌العمل به تنش خشکی، روزه‌های گیاهان پرورش یافته در محلول غذایی

خروج پتاسیم<sup>۲</sup> که باعث خروج این یون از سلول روزنه می شود (بلات، ۲۰۰۰). هورمون اسید آبسزیک یکی از مهم ترین ترکیبات شناخته شده موثر در بسته شدن روزنه هاست که باعث افزایش فعالیت کانال خروج پتاسیم و ممانعت از فعالیت کانال ورود پتاسیم می شود (آسمن، ۹۳؛ بلات، ۲۰۰۰). در تحقیقات قبلی نشان داده شد که میزان این هورمون در گیاهان پرورش یافته در رطوبت نسبی بالا به طور معنی داری کم تر از میزان آن در گیاهان پرورش یافته در رطوبت پایین است (رضایی نژاد و ون میترن، ۲۰۰۷).



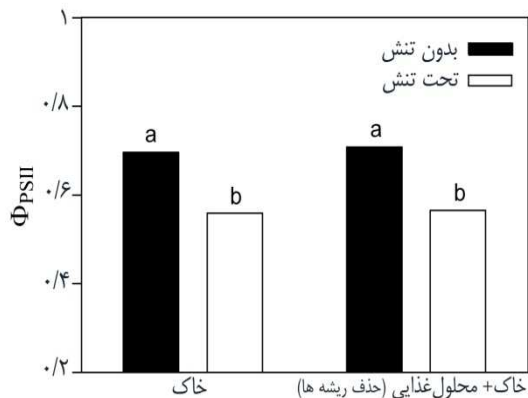
**نمودار (۲) میانگین  $\Phi_{PSII}$  (اندازه گیری شده در شرایط اکسیژن پایین) در برگ گیاهان پرورش یافته در خاک یا محلول غذایی در رطوبت نسبی ۹۰ درصد تحت شرایط شاهد (بدون تنش خشکی) و دو ساعت بعد از تنش خشکی.**

میانگین های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد ( $P < 0.05$  و  $N=6$ ).

( $0.70 \pm 0.01$  و  $0.69 \pm 0.01$  به ترتیب در خاک و خاک + محلول غذایی)؛ اما در عکس العمل به تنش خشکی، روزنه های گیاهان پرورش یافته با تقسیط ریشه در خاک بعلاوه محلول غذایی به طور معنی داری بیش تر از روزنه های گیاهان پرورش یافته در خاک بسته شده و در نتیجه میزان  $\Phi_{PSII}$  بسیار پایین تر بود ( $0.59 \pm 0.01$  و  $0.39 \pm 0.03$  به ترتیب در خاک و خاک + محلول غذایی) (نمودار ۴).

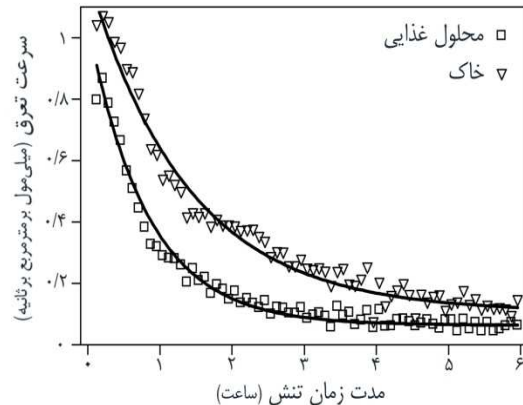
وقتی ریشه های درون محلول غذایی قطع و بعد از ده روز اندازه گیری  $\Phi_{PSII}$  انجام شد ( $0.56 \pm 0.02$  و  $0.57 \pm 0.03$  به ترتیب در خاک و خاک + محلول غذایی)، روزنه های گیاه عکس العمل ضعیفی به تنش خشکی نشان دادند که مشابه عکس العمل روزنه های گیاهانی بود که فقط در خاک پرورش یافته بودند و تفاوت معنی داری در عکس العمل روزنه ها به تنش خشکی در هر دو تیمار مشاهده نشد (نمودار ۵). این موضوع به خوبی بیانگر تولید و ارسال علائمی از ریشه های درون محلول غذایی به برگ هاست که در نمو و تکامل روزنه های کارآمد موثر است.

وقتی سلول های روزنه در حالت تورژسانس هستند، روزنه ها باز می شوند. این حالت هنگامی اتفاق می افتد که پتانسیل آب داخل سلول های روزنه منفی تر از خارج این سلول ها باشد. برای برقراری این اختلاف پمپ های یونی خاصی در غشای سلولی سلول های روزنه فعال شده و باعث ورود یون هایی مانند پتاسیم به داخل سلول های روزنه شده و در نتیجه پتانسیل آب کم تر شده و باعث ورود آب به سلول های روزنه شده و تورژسانس اتفاق می افتد. از طرفی خروج این یون ها از سلول های روزنه باعث پلاسمولیز سلول های روزنه و بسته شدن روزنه می شود (آسمن، ۹۳؛ بلات، ۲۰۰۰). انتقال یون پتاسیم از غشای سلولی سلول های روزنه از طریق دو کانال شناخته شده صورت می گیرد: ۱- کانال ورود پتاسیم<sup>۱</sup> که ورود پتاسیم به داخل سلول را تسریع می کند و ۲- کانال



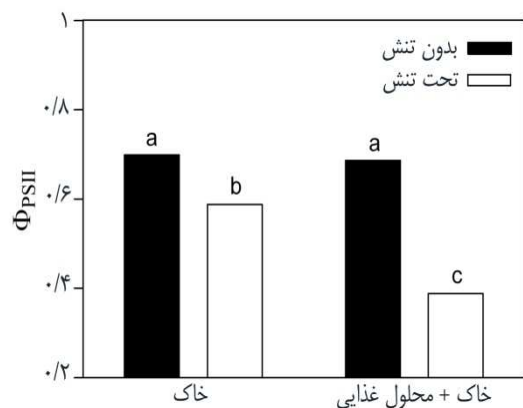
نمودار (۵) میانگین  $\Phi_{PSII}$  (اندازه گیری شده در شرایط اکسیژن پایین) در برگ گیاهان پرورش یافته در خاک یا سیستم تقسیط ریشه (خاک + محلول غذایی) ده روز پس از قطع ریشه های درون محلول غذایی در رطوبت نسبی ۹۰ درصد تحت شرایط شاهد (بدون تنش خشکی) و دو ساعت بعد از تنش خشکی. میانگین های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ می باشد ( $P < 0.05$  و  $N=4$ ).

همچنین وقتی گیاهان پرورش یافته در رطوبت نسبی پایین به رطوبت بالا انتقال یافتند، در طی یک روز میزان هورمون اسید آبسزیک در آن ها کاهش پیدا کرده و به سطح معمول آن در گیاهان پرورش یافته در رطوبت نسبی بالا رسید (رضایی نژاد و ون میترن، ۲۰۰۸). براساس این نتایج، علت تفاوت عملکرد روزنه های هوایی گیاهان پرورش یافته در رطوبت بالا به پایین بودن میزان هورمون اسید آبسزیک نسبت داده شده بود (رضایی نژاد و ون میترن، ۲۰۰۷؛ ۲۰۰۸). به همین دلیل در تحقیق حاضر میزان هورمون اسید آبسزیک برگ گیاهان پرورش یافته در خاک یا محلول غذایی در شرایط رطوبت بالا و پایین اندازه گیری و با هم مقایسه شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده تاثیر بسیار معنی دار رطوبت نسبی هوا بر میزان هورمون اسید آبسزیک برگ می باشد. میزان هورمون اسید آبسزیک در برگ گیاهان پرورش یافته در رطوبت نسبی ۵۵ درصد ( $1064 \pm 97$  نانوگرم در هر گرم وزن خشک) به طور معنی داری بیشتر از میزان این هورمون در



نمودار (۳) تغییرات سرعت تعرق در برگ گیاهان پرورش یافته در خاک یا محلول غذایی در رطوبت نسبی ۹۰ درصد طی شش ساعت تنش خشکی.

هر نقطه نشان دهنده میانگین سرعت تعرق در چهار تکرار است و در هر تکرار در هر تیمار چهار برگ از چهار گیاه مختلف و در کل از ۳۲ برگ از ۳۲ گیاه مختلف استفاده شده است.



نمودار (۴) میانگین  $\Phi_{PSII}$  (اندازه گیری شده در شرایط اکسیژن پایین) در برگ گیاهان پرورش یافته در خاک یا سیستم تقسیط ریشه (خاک + محلول غذایی) در رطوبت نسبی ۹۰ درصد تحت شرایط شاهد (بدون تنش خشکی) و دو ساعت بعد از تنش خشکی.

میانگین های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ می باشد ( $P < 0.05$  و  $N=4$ ).

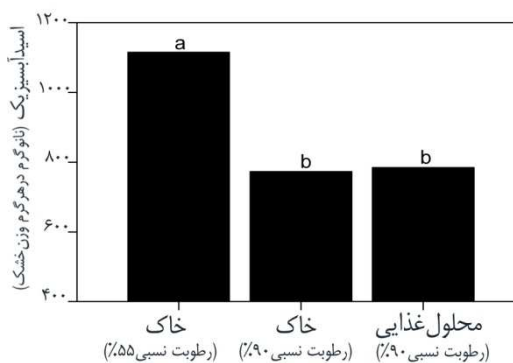
رضایی نژاد و ون میترن: تاثیر کشت درون محلول غذایی در عکس العمل روزنه های ...

علائمی در تکامل روزنه‌های کارآمد موثرند. براساس نتایج این تحقیق، میزان هورمون اسید آبسزیک (مهم ترین ترکیب شناخته شده‌ی موثر در بسته شدن روزنه‌ها) بیانگر علت این رفتار روزنه‌ها نیست. ازطرفی احتمال تولید و انتقال سایر هورمون‌ها مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین نیز منتفی است. زیرا نتایج تحقیقات سایر محققان نشان می‌دهد این هورمون‌ها عمدتاً باعث باز شدن روزنه‌ها می‌شوند (دود<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳). بنابراین تعیین ماهیت این علائم نیازمند انجام تحقیقات بیشتری است.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از وزارت علوم، تحقیقات و فن‌آوری جمهوری اسلامی ایران به خاطر حمایت مالی از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

برگ گیاهان پرورش یافته در رطوبت نسبی ۹۰ درصد ( $63 \pm 773$  نانوگرم در هر گرم وزن خشک) بود که این امر تاییدکننده نتیجه آزمایش‌های قبل بود (رضایی نژاد و ون میترن، ۲۰۰۷)؛ اما محیط کشت تاثیری در میزان این هورمون در رطوبت نسبی ۹۰ درصد نداشت به طوری که میزان آن در برگ گیاهان پرورش یافته در خاک و یا محلول غذایی مشابه بود ( $63 \pm 773$  و  $60 \pm 784$  نانوگرم در هر گرم وزن خشک به ترتیب در خاک و محلول غذایی در رطوبت نسبی ۹۰ درصد) (نمودار ۶)؛ بنابراین با توجه به نتیجه این آزمایش می‌توان گفت میزان هورمون اسید آبسزیک نمی‌تواند بیانگر دلیل عکس‌العمل متفاوت روزنه‌های هوایی در دو محیط کشت مختلف تحت شرایط رطوبت نسبی یک سان باشد.



### نمودار (۶) میزان هورمون اسید آبسزیک

در برگ گیاهان پرورش یافته در خاک و یا محلول غذایی در رطوبت‌های نسبی ۵۵ و ۹۰ درصد.

میانگین‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند ( $P < 0.05$  و  $N=6$ ).

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در رطوبت نسبی بالا (شرایطی که تکامل روزنه‌های هوایی به گونه‌ای تغییر می‌کند که عکس‌العمل سریع خود را در مقابل تنش خشکی از دست می‌دهند)، سیستم کشت درون محلول غذایی می‌تواند باعث تولید روزنه‌های هوایی کارآمدتری شود. همچنین در این تحقیق ثابت شده است که ریشه‌های درون محلول غذایی با تولید



## منابع

۱. رضایی نژاد، ع.، هرینسن، ج. و ون میترن، ا. ۱۳۸۹. بررسی امکان استفاده از فلورسانس کلروفیلی برای مطالعه رفتار روزنه‌های هوایی در گیاهان تحت تنش خشکی. فصلنامه رستنی‌ها، ۱۱(۱): ۳۵-۴۱.
2. Assmann, S.M. 1993. Signal transduction in guard cells. *Annual Review of Cell Biology*, 9: 345-375.
3. Blatt, M.R. 2000. Cellular signaling and volume control in stomatal movements in plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 16: 221-41.
4. Cutler, J.M., Rains, D.W., and Loomis, R.S. 1977. The importance of cell size in the water relations of plants. *Physiologia Plantarum*, 40: 255-60.
5. Dodd, I.C. 2003. Hormonal interactions and stomatal responses. *Journal of Plant Growth Regulators*, 22: 32-46.
6. Fordham, M.C., Harrison-Murray, R.S., Knight, L., and Clay, C.M. 2001. Decline in stomatal response to leaf water deficit in *Corylus maxima* cuttings. *Tree Physiology*, 21: 489-96.
7. Fordham, M.C., Harrison-Murray, R.S., Knight, L., and Evered, C.E. 2001. Effects of leaf wetting and high humidity on stomatal function in leafy cuttings and intact plants of *Corylus maxima*. *Physiologia Plantarum*, 113: 233-40.
8. Franks, P.J., and Farquhar, G.D. 2001. The effect of exogenous abscisic acid on stomatal development, stomatal mechanics and leaf gas exchange in *Tradescantia virginiana*. *Plant Physiology*, 125: 935-942.
9. Hetherington, A.M., and Woodward, F.I. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 424: 901-908.
10. In, B.C., Motomura, S., Inamoto, K., Doi, M., and Mori, G. 2007. Multivariate analysis of relations between preharvest environmental factors, postharvest morphological and physiological factors, and vase life of cut 'Asami Red' roses. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 76: 66-72.
11. Kearns, E.V., and Assmann, S.M. 1993. The Guard Cell-Environment Connection. *Plant Physiology*, 102: 711-715.
12. Marin, J.A., Gella, R., and Herrero, M. 1988. Stomatal structure and functioning as a response to environmental changes in acclimated micropropagated *Prunus cerasifera* L. *Annals of Botany*, 62: 663-70.
13. Mortensen, L.M., and Fjeld, T. 1995. High air humidity reduces the keeping quality of cut roses. *Acta Horticulturae*, 405: 148-155.
14. Mortensen, L.M., and Fjeld, T. 1998. Effects of air humidity, lighting period and lamp type on growth and vase life of roses. *Scientia Horticulturae*, 73: 229-237.

15. Mortensen, L.M., and Gislerød, H.R. 1997. Effects of air humidity and air movement on the growth and keeping quality of roses. *Gartenbauwissenschaft*, 62: 273-277.
16. Mortensen, L.M., and Gislerød, H.R. 1999. Influence of air humidity and lighting period on growth, vase life and water relations of 14 rose cultivars. *Scientia Horticulturae*, 82: 289-298.
17. Mortensen, L.M., and Gislerød, H.R. 2000. Effect of air humidity on growth, keeping quality, water relations, and nutrient content of cut roses. *Gartenbauwissenschaft*, 65: 40-44.
18. Pettersen, R.I., Moe, R., and Gislerød, H.R. 2007. Growth of pot roses and post-harvest rate of water loss as affected by air humidity and temperature variations during growth under continuous light. *Scientia Horticulturae*, 114: 207-213.
19. Rezaei Nejad, A., and van Meeteren, U. 2005. Stomatal response characteristics of *Tradescantia virginiana* grown at high relative air humidity. *Physiologia Plantarum*, 125: 324-332.
20. Rezaei Nejad, A., Harbinson, J., and van Meeteren, U. 2006. Dynamics of spatial heterogeneity of stomatal closure in *Tradescantia virginiana* altered by growth at high relative air humidity. *Journal of Experimental Botany*, 57: 3669-3678.
21. Rezaei Nejad, A., and van Meeteren, U. 2007. The role of abscisic acid in disturbed stomatal response characteristics of *Tradescantia virginiana* during growth at high relative air humidity. *Journal of Experimental Botany*, 58: 627-636.
22. Rezaei Nejad, A., and van Meeteren, U. 2008. Dynamics of adaptation of stomatal behaviour to moderate or high relative air humidity in *Tradescantia virginiana*. *Journal of Experimental Botany*, 59: 289-301.
23. Santamaria, J.M., Davies, W.J., and Atkinson, C.J. 1993. Stomata of micropropagated *Delphinium* plants respond to ABA, CO<sub>2</sub>, light and water potential, but fail to close fully. *Journal of Experimental Botany*, 44: 99-107.
24. Spence, R.D., Wu, H., Sharpe, P.J.H., and Clark, K.G. 1986. Water stress effects on guard cell anatomy and the mechanical advantage of the epidermal cells. *Plant, Cell and Environment*, 9: 197-202.
25. Torre, S. and Fjeld, T. 2001. Water loss and postharvest characteristics of cut roses grown at high or moderate relative air humidity. *Scientia Horticulturae*, 89: 217-226.
26. Torre, S., Fjeld, T., and Gislerød, H.R. 2001. Effects of air humidity and K/Ca ratio in the nutrient supply on growth and postharvest characteristics of cut roses. *Scientia Horticulturae*, 90: 291-304.
27. van Meeteren, U., Rezaei Nejad, A., and Harbinson, J. 2009. Effect of (changes in) air humidity on transpiration and (adaptation of) stomatal closure of *tradescantia* leaves during water stress. *Acta Horticulturae*, 847: 115-122.

- 28.Xia, M.Z. 1994. Effects of soil drought during the generative development phase of faba bean (*Vicia faba*) on photosynthetic characters and biomass production. Journal of Agricultural Science, 122: 67-72.