علوم باغبانی ایران
دورۀ ۴۶، شمارۀ ۴، زمستان ۱۳۹۴ (ص ۶۲۲-۶۱۳)

بررسی اثر سیستم کشت، رقم و محلول‌های غذایی مختلف بر برخی از پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی گیاه سیب‌زمینی

حمیدرضا روستا[1*] و مجید رشیدی[2]
۱ و ۲. دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکدۀ کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۷ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۶/۲۲)

چکیده

هواکشت، فناوری جدیدی برای تولید ریزغدۀ سیب‌زمینی محسوب می‌شود. به منظور شناسایی محلول غذایی و رقم سیب‌زمینی مناسب برای تولید ریزغده در سیستم هواکشت و مقایسۀ آن با سیستم هیدروپونیک کلاسیک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با سه فاکتور سیستم کشت (هیدروپونیک کلاسیک و هواکشت)، محلول غذایی (محلول چنگ و همکاران، APCoAB و محلول هیدروپونیک تجاری اصفهان)، و سه رقم سیب‌زمینی (مارفونا، سانتانا و مورن) انجام شد. صفات تعداد برگ، سطح برگ، طول استولون، وزن خشک ساقه و ریشه، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم ۲ (F_v/F_m)، شاخص کارایی فتوسنتزی (PI)، ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که گیاهان سیستم هواکشت بدون ارتباط به نوع رقم و محلول غذایی در مقایسه با گیاهان سیستم هیدروپونیک کلاسیک افزایش درخور توجهی در پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی نشان دادند که احتمالاً به دلیل دسترسی بهتر به عناصر غذایی و هوادهی کامل ریشه‌ها بود. به‌طوری‌که وزن خشک ریشه و بخش‌های هوایی گیاه و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در سیستم هواکشت بالاتر از سیستم هیدروپونیک کلاسیک بود. همچنین، گیاهان تغذیه‌شده با محلول تجاری هیدروپونیک اصفهان در مقایسه با محلول چنگ و همکاران و محلول APCoAB رشد رویشی بیشتری داشتند، که به دلیل بالا بودن نیتروژن در این محلول غذایی بود.

واژه‌های کلیدی: ریزغده، کشت بدون خاک، هواکشت.

مقدمه

برای تولید سیب‌زمینی، اغلب از غده برای تکثیر استفاده می‌شود که آلودگی غده‌ها به بیماری‌های ویروسی از دلایل مهم عملکرد پایین این گیاه محسوب می‌شود. در کشور ما، به‌رغم تلاش‌های فراوان، تولید بذر سالم و عاری از عوامل بیماری‌زا هنوز نیاز کامل کشور را تأمین نمی‌کند. هرساله غده‌های بذری از کشورهایی نظیر هلند، آلمان، استرالیا و هند وارد ایران می‌شود. کشورهای کرۀ جنوبی (Wan *et al*., 1994) و ایتالیا (Ranalli *et al*., 1994) فن تولید ریزغده را به‌منزلۀ یک روش کلیدی برای تولید غدۀ بذری مورد توجه قرار داده‌اند. در تولید ریزغده‌های عاری از ویروس، دو فاکتور مهم اندازۀ غده و تعداد غده حائز اهمیت‌اند. در کشت مکانیزۀ سیب‌زمینی، یکنواختی در اندازۀ ریزغده‌ها خیلی مهم است. تفاوت در اندازۀ ریزغده‌ها مشکلات فراوانی را در هنگام کشت ایجاد خواهد کرد. در تولید ریزغده، عملکرد نیز فاکتور بسیار اساسی خواهد بود و به لحاظ اقتصادی بسیار بااهمیت

* تلفن: ۰۹۱۳۹۸۷۸۱۰۱
E-mail: roosta-h@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

است. درحقیقت، تعداد ریزغدهٔ تولیدی در هر متر مربع بسیار مهم است. چنانچه بتوان در هر متر مربع تعداد ریزغده بیشتری تولید کرد، فضای کمتری نیاز خواهد بود که به کنترل و مدیریت بهتر تولید از جمله کنترل آفات منجر خواهد شد. مجموعهٔ این مزایا، درنهایت، به کاهش هزینه‌های تولید منجر خواهد شد (Struik & Wiersema, 1999). پس از تکثیر گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای، باید به تولید ریزغده‌های عاری از ویروس اقدام کرد. ریزغده‌ها را می‌توان در طول سال در شرایط گلخانه‌ای از کشت گیاهچه‌های درون‌شیشه‌ای با استفاده از کشت خاکی و بدون خاک (هواکشت) تولید کرد (Struik & Wiersema, 1999). تولید ریزغدهٔ سیب‌زمینی در شرایط گلخانه و در خاک معمولی و برداشت یک‌مرحله‌ای ریزغده‌ها در آخر دورهٔ رشد، متداول‌ترین روش تولید ریزغده است که با سهولت و ارزانی انجام می‌پذیرد. یکی از معایب بزرگ تولید ریزغدهٔ سیب‌زمینی با استفاده از این روش، تعداد کم ریزغده به ازای هر گیاهچه است (Movahhedi, 2011). هواکشت نوع خاصی از سیستم‌های هیدروپونیک است که ریشه‌های گیاهان در یک محفظهٔ بسته قرار دارد و به‌طور متناوب با یک محلول غذایی به کمک پمپ و زمان‌سنج محلول‌پاشی می‌شود (Hayden *et al*., 2004). هواکشت یک فناوری جدید برای تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی محسوب می‌شود. با این روش، گیاه بدون نیاز به خاک به رشد فوق‌العاده دست پیدا می‌کند. این روش، ساده‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای افزایش بازدهی در تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی است. در این روش، ریشه‌ها در هوا معلق‌اند و محلول غذایی به‌صورت کوچک‌ترین ذرات قابل جذب توسط ریشهٔ گیاه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. درواقع مزیت این روش تهویهٔ مناسب ریشه‌هاست (Soffer & Burger, 1988). در این فناوری، همچنین برداشت غده به مرگ گیاه منجر نمی‌شود، درحالی‌که در سایر روش‌ها، از جمله تولید در بستر خاک، برداشت زمانی حاصل می‌شود که عمر فیزیولوژی گیاه به اتمام رسیده باشد. لیکن در روش هواکشت مینی‌تیوبر (ریزغده) چندین بار برداشت می‌شود؛ بدون آنکه آسیبی به گیاه برسد. بنابراین، عملکرد غدهٔ بذری به چندین برابر روش سنتی کشت در مزرعه و سیستم‌های معمولی هیدروپونیک می‌رسد. در حال حاضر، مرکز بین‌المللی سیب‌زمینی[1] در کشور پرو از این روش جهت افزایش تولید و کاهش هزینه‌های تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی استفاده می‌کند. این روش تا ۱۰ برابر مؤثرتر از روش‌های معمول تولید ریزغدها در بستر خاکی است و مزیت دیگر آن برداشت ریزغده‌ها در اندازهٔ دلخواه است. نتایج اولیه در این مرکز بسیار موفقیت‌آمیز است؛ به‌طوری‌که در برخی ارقام، حدود ۱۰۰ ریزغده از هر گیاهچه به‌دست آمده است؛ درحالی‌که با استفاده از روش کلاسیک می‌توان فقط ۵ تا ۱۰ ریزغده از هر گیاهچه تولید کرد (Anonymous, 2008). با استفاده از سیستم هواکشت، تعداد ریزغده‌های تولیدی به‌طور معناداری افزایش می‌یابد. بنابراین، این سیستم نقش بسزایی در افزایش تعداد غده و درنتیجه عملکرد دارد و نیز تولید ریزغده‌های با اندازهٔ یکسان را امکان‌پذیر می‌کند (Otazu, 2010). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که سیستم هواکشت ساده‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای افزایش بازدهی در تولید ریزغده‌های سیب‌زمینی است (CIP, 2008; Movahhedi, 2011). ارقام سیب‌زمینی از نظر تعداد، وزن و اندازهٔ غدهٔ تولیدی با همدیگر متفاوت‌اند. بعضی از ارقام به‌طور ژنتیکی تعداد غدهٔ کم و با وزن و اندازهٔ زیاد تولید می‌کنند، اما در ارقام دیگر تعداد غدهٔ بیشتر و میانگین وزن آن‌ها کم است (Rolot *et al*., 2002). با توجه به نیاز غذایی گیاه سیب‌زمینی، مدیریت صحیح تغذیه برای کسب اطمینان از حصول حداکثر عملکرد و کیفیت محصول به‌دست‌آمده از مینی‌تیوبرهای بذری بسیار اساسی است. با توجه به اهمیت محلول غذایی و رقم مناسب در این سیستم، آزمایشی برای مقایسهٔ رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی سه رقم مختلف سیب‌زمینی در سیستم‌های کشت هواکشت (اروپونیک) و هیدروپونیک کلاسیک و سه محلول غذایی مختلف اجرا شد.

1. International Potato Center (CIP)

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایهٔ کاملاً تصادفی در گلخانهٔ هیدروپونیک دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان که نور طبیعی و دمای ۳±۲۴ درجهٔ سلسیوس در روز و ۳±۲۱ درجه در شب و میانگین رطوبت نسبی ۵۶ درصد داشت، در فصل زمستان و بهار طراحی و اجرا شد. فاکتورها شامل سیستم‌های مختلف کشت (هواکشت و هیدروپونیک کلاسیک)، محلول غذایی (چنگ و همکاران، APCoAB و محلول تجاری هیدروپونیک اصفهان) (جدول ۱) و ارقام سیب‌زمینی (مارفونا، مورن، سانتانا) بود و در سه تکرار انجام شد. در این پژوهش، برای تولید غده‌های مینی‌تیوبر سیب‌زمینی در سیستم هواکشت، ابتدا طراحی این سیستم و سپس ساخت و اجرای آن انجام گرفت. اجزای این سیستم عبارت‌اند از:

۱. مخزن استقرار گیاهان: این مخزن جهت انتقال گیاهچه‌ها روی آن‌ها و تولید ریزغده داخل آن‌ها استفاده می‌شد. بدین منظور، در این پژوهش از سه وان پلاستیکی با ابعاد ۷۰ ×۸۰×۱۲۰ سانتی‌متر استفاده شد؛ ۲. نازل: نازل‌ها به گونه‌ای بودند که محلول غذایی را به‌صورت کاملاً پودرشده درمی‌آوردند؛ به‌طوری‌که توسط گیاه به‌راحتی قابل جذب باشد. بدین منظور درون هر وان چهار نازل برنجی با فواصل ۳۰ سانتی‌متر نصب شد؛ ۳. مخزن محلول غذایی: مخزن محلول غذایی به حجم ۱۰۰ لیتر از جنس فایبرگلاس تهیه شد که در زیر مخزن تولید ریزغده قرار گرفت؛ ۴. پمپ‌های (۲ واتی، ساخت ایتالیا) اسپری‌کنندهٔ محلول غذایی و جمع‌آوری بازیافت محلول غذایی: این پمپ محلول غذایی را به نازل‌هایی که باید توانایی پودرکردن محلول غذایی را داشته باشد می‌رساند. پس از اسپری‌کردن مواد غذایی به داخل مخازن و روی ریشه‌ها، محلول غذایی مازاد از داخل مخازن جمع‌آوری و بازیافت می‌شد و به مخزن محلول غذایی باز می‌گشت؛ ۵. سیستم ضدعفونی‌کنندهٔ محلول غذایی: یکی از مسائل بسیار مهم در سیستم هواکشت، مسئلهٔ آلودگی است. بدین منظور، از لامپ‌های UV جهت ضدعفونی استفاده شد؛ ۶. سیستم کنترل: یکی از نکات بسیار مهم در سیستم هواکشت، زمان اسپری‌کردن محلول غذایی است، که برای این منظور یک تابلو برق طراحی شد که در آن از تایمرهای دیجیتالی استفاده شد؛ به‌طوری‌که با فاصلهٔ زمانی هر ۱۴ دقیقه به مدت ۱۵ ثانیه با اتصال برق به پمپ‌های آب محلول غذایی مورد نیاز گیاهان را اسپری می‌کرد.

مواد گیاهی که در سیستم هواکشت استفاده شد گیاهان درون‌شیشه‌ای بودند. پس از گذشت حدود ۲۰ روز از رشد گیاهان در شرایط کنترل‌شده، گیاهان برای کشت در سیستم هواکشت اوایل بهمن به گلخانهٔ شیشه‌ای منتقل شدند. سپس، طوقهٔ گیاه به‌وسیلهٔ یک لایه پنبه پوشیده شد و بر روی هر وان یک یونولیت قرار داده شد تا گیاهچه‌های سیب‌زمینی در داخل منفذهای تعبیه‌شده بر روی یونولیت مستقر شوند. برای این کار، بر روی یونولیت‌ها با فواصل ۱۰×۱۰ سانتی‌متر منفذهایی ایجاد شد تا گیاهچه‌های سیب‌زمینی در درون این منفذها استقرار یابند. همچنین، به منظور مقایسهٔ سیستم هواکشت با سیستم کلاسیک یک‌سری از گیاهان داخل بستر کشت شدند. برای این منظور، از گلدان‌های ۴ لیتری یونولیتی حاوی پرلایت و کوکوپیت به نسبت مساوی (حجمی: حجمی) استفاده شد و در داخل هر گلدان ۲ نشاء مقاوم‌شده کشت شد. محلول‌دهی به میزان ۱۵۰ میلی‌لیتر در هر گلدان و دو بار در روز با محلول‌های ذکرشده برای گیاهان سیستم کشت کلاسیک انجام شد. دو ماه پس از انتقال نشاء، نخستین برداشت ریزغدهٔ سیب‌زمینی انجام شد و غده‌ها شمارش و توزین شدند. برداشت‌های بعدی در سیستم هواکشت هر دو هفته یک بار صورت گرفت. برداشت ریزغده در سیستم هیدروپونیک کلاسیک فقط یک بار و در سیستم هواکشت چهار بار انجام شد (داده‌ها نشان داده نشده). پارامترهای رویشی که در این آزمایش اندازه‌گیری شد، شامل سطح برگ، تعداد برگ، طول استولون و وزن خشک اندام هوایی و ریشه بود. در پایان آزمایش، برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل و مجموع کارتنوئیدها در گیاهان ابتدا ۰/۲۵ گرم برگ تازه را خرد کردیم و آن را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییدیم تا به صورت تودهٔ یکنواختی درآید. سپس

Archive of SID

www.SID.ir

مخلوط حاصل در لوله‌های فالکون ۲۰ میلی‌لیتر ریخته شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور 3500 rpm سانتریفیوژ شد. میزان جذب نور محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵، ۶۵۲ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد و درنهایت غلظت کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Arnon, 1949):

Chlorophyll a (mg / g) =

$$\{۱۲/۷ (OD_{۶۶۳})-۲/۶۹ (D_{۶۴۵})\}\times\{V / ۱۰۰۰ \times W\}$$

Chlorophyll b (mg / g) =

$$\{۲۲/۹ (OD_{۶۴۵})-۴/۶۸ (D_{۶۶۳})\}\times\{V / ۱۰۰۰ \times W\}$$

Total Chlorophyll (mg / g) =

$$\{(OD_{۶۵۲})-۱۰۰۰ / ۳۴/۵\}\times\{V / ۱۰۰۰ \times W\}$$

Carotenoids =

$$\{۷/۶ (D / ۴۸۰)-۱/۴۹ (OD/۵۱۰)\}\times\{V / ۱۰۰۰\times W\}$$

که در فرمول فوق، D = قرائت دستگاه، V= حجم استون مصرف‌شده (۱۰ میلی‌لیتر)، W= حجم نمونهٔ استفاده‌شده (۰/۲۵گرم) است.

آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت و مقایسهٔ میانگین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون دانکن انجام شد.

جدول ۱. محلول‌های استفاده‌شده در آزمایش

محلول (۳) Chang et al. (2008)	محلول APCoAB	محلول تجاری
عناصر پرمصرف (میلی‌گرم بر لیتر)		
KH_2PO_4 = ۵۹۸	$NH_4H_2PO_4$ = ۱۱۵	KH_2PO_4 = ۱۹۲
KNO_3= ۴۰	KNO_3= ۶۰۶	KNO_3= ۲۳۷
$Ca(NO_3)_2.4H_20$ = ۳۶۵	$Ca(NO_3)_2.4H_20$ = ۹۴۴	$Ca(NO_3)_2.4H_20$ = ۶۴۹
$MgSO_4.7H_20$ = ۱۸۵	$MgSO_4.7H_20$ = ۴۹۳	$MgSO_4.7H_20$ = ۸۶
NH_4NO_3= ۳۵۲		$Mg(NO_3)_2.6H_20$ = ۲۵۸
		$NH_4H_2PO_4$= ۸۰
عناصر کم‌مصرف (میلی‌گرم بر لیتر)		
H_3BO_3= ۲/۹	H_3BO_3= ۲/۸۳	H_3BO_3= ۲/۹
Fe-EDDHA = ۲۳	Fe-EDDHA = ۹/۴	Fe-EDDHA = ۲۳
$ZnSO_4$= ۰/۲۲	$ZnSO_4$= ۰/۲۲	$ZnSO_4$= ۰/۲۲
$MnSO_4$= ۱	$MnCl_2$= ۱/۸۱	$MnSO_4$= ۱
$CuSO_4$= ۰/۱	$CuSO_4$= ۰/۰۸	$CuSO_4$= ۰/۱
H_2MoO_4= ۰/۰۲	H_2MoO_4= ۰/۰۲	H_2MoO_4= ۰/۰۲

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر، گیاهان سیستم هواکشت بسته به نوع رقم و محلول غذایی در مقایسه با گیاهان سیستم هیدروپونیک افزایش در پارامترهای رویشی نشان دادند (جدول‌های ۲ و ۳). رقم مورن تغذیه‌شده با محلول تجاری اصفهان در سیستم هواکشت در مقایسه با سیستم هیدروپونیک و دیگر ارقام کشت‌شده در سیستم هواکشت افزایش معناداری در سطح برگ، تعداد برگ، طول استولون، وزن خشک ساقه و ریشه نشان داد (جدول‌های ۲ و ۳ و شکل ۱). نوع سیستم کشت از عواملی است که در تولید ریزغدهٔ سیب‌زمینی اهمیت زیادی دارد (Tukaki & Mahler, 1989) محققان نشان دادند که سیستم هواکشت در مقایسه با سیستم هیدروپونیک کلاسیک رشد بیشتر گیاهان را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد و این موضوع با افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و همچنین افزایش در طول شاخساره، تعداد برگ و تعداد غده در گیاهان غده‌ای همبستگی دارد (Weathers & Zobel, 1992). کاهو (He & Lee, 1998)، گوجه‌فرنگی (Cho *et al*., 1996)، خیار (Park

Archive of SID

www.SID.ir

& Chiang, 1997) و همچنین گونه‌های زینتی و دارویی از جمله گل داودی (Molitor *et al*., 1999)، آنتوریوم (Fascella & Zizzo, 2007)، بنت‌القنسول (Molitor *et al*., 1999) و مارچوبه (Christie & Nichols, 2004) هنگامی که در سیستم هواکشت کشت شدند افزایش چشمگیری در پارامترهای رویشی و عملکرد در مقایسه با سیستم هیدروپونیک کلاسیک نشان دادند. سطح برگ یکی از عوامل بسیار مهم در رشد گیاه است و با افزایش سطح برگ به همان نسبت فتوسنتز یا ماده‌سازی افزایش می‌یابد (Taiz & Zeiger, 2006) که این خود موجب ماده‌سازی و افزایش میزان مادهٔ خشک گیاهی می‌شود. در پژوهش حاضر، بیشترین میزان سطح برگ و تعداد برگ در محلول تجاری مشاهده شد و با توجه به این موضوع که بیشترین غلظت نیتروژن در مقایسه با دو محلول دیگر در محلول تجاری موجود بود، این عامل احتمالاً سبب رشد رویشی بهتر گیاهان رشدکرده در این محلول شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که رقم‌های مورن تغذیه‌شده با محلول تجاری اصفهان و سانتانا تغذیه‌شده با محلول APCoAB بدون داشتن اختلاف معنادار با همدیگر بیشترین طول استولون را در سیستم هواکشت داشتند. به‌طورکلی، طول استولون در گیاهان سیستم هواکشت در مقایسه با گیاهان سیستم هیدروپونیک ۳۳۶/۵ درصد بیشتر بود. تحقیقات انجام‌شده از سوی Khalilian *et al.* (1991) مؤید این نکته است که فشردگی یا کاهش تخلخل خاک باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت خاک در برابر نفوذ ریشه می‌شود و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم رشد گیاه را کاهش می‌دهد. کاهش رشد ریشه و دسترسی آن به مواد غذایی، کاهش تهویهٔ خاک و کاهش سرعت حرکت آب و مواد غذایی به طرف ریشه از دلایل ذکرشده برای این کاهش رشد است (Ian *et al*., 2010). با توجه به مطالب ذکرشده، کاهش طول استولون در سیستم هیدروپونیک کلاسیک احتمالاً به‌دلیل محدودیت ناشی از حجم کم گلدان است که از رشد استولون‌ها جلوگیری می‌کند (Correa *et al*., 2008).

جدول ۲. برهم‌کنش سیستم کشت، رقم و محلول غذایی بر تعداد برگ، سطح برگ و طول استولون در سیب‌زمینی

محلول غذایی	رقم	تعداد برگ (تعداد برگ در هر گیاه)		سطح برگ (سانتی‌متر مربع درهر گیاه)		طول استولون (سانتی‌متر)	
		هیدروپونیک	هواکشت	هیدروپونیک	هواکشت	هیدروپونیک	هواکشت
چنگ و همکاران (۲۰۰۸)	مارفونا	۱۴/۷^{j}	۱۵/۰^{ij}	۱۴۴۵^{ihj}	۱۹۱۷^{fg}	۵/۴^{g}	۱۸/۶^{f}
	سانتانا	۱۹/۴^{fg}	۲۵/۵^{e}	۱۴۵۷^{ijh}	۲۲۹۷^{e}	۶/۶^{g}	۲۴/۰^{e}
	مورن	۱۵/۵^{ij}	۳۶/۷^{c}	۱۱۳۸^{j}	۴۴۱۵^{c}	۶/۸^{g}	۲۷/۷^{ed}
APCoAB محلول	مارفونا	۱۶/۳^{ij}	۱۸/۲^{ghi}	۱۷۶۷^{hg}	۲۲۹۱^{f}	۴/۸^{g}	۳۱/۵^{d}
	سانتانا	۲۱/۷^{f}	۳۸/۶^{c}	۱۷۰۸^{ihg}	۴۶۸۸^{c}	۷/۴^{g}	۴۹/۴^{a}
	مورن	۱۴/۶^{j}	۵۰/۷^{b}	۱۱۹۲^{j}	۵۸۵۹^{b}	۲۲/۲^{g}	۳۸/۸^{c}
محلول تجاری	مارفونا	۱۶/۲^{hij}	۱۸/۳^{ghi}	۱۶۹۱^{ihg}	۲۳۰۱^{f}	۵/۴^{g}	۳۱/۶^{d}
	سانتانا	۱۸/۴^{gh}	۲۹/۶^{d}	۱۵۵۱$^{i-g}$	۳۳۹۰^{d}	۷/۶^{g}	۴۳/۲^{b}
	مورن	۱۹/۰^{hij}	۵۳/۵^{a}	۱۲۸۰^{ij}	۶۲۶۳^{a}	۶/۰^{g}	۵۰/۳^{a}
میانگین سیستم کشت		۱۷/۰۲^{B}	۳۱/۹۰^{A}	۱۴۷۹^{B}	۳۷۹۴^{A}	۶/۲۹^{B}	۳۵/۰۱^{A}

* حروف متفاوت در ستون‌ها یا ردیف‌های مربوط به هر صفت نشانهٔ اختلاف معنادار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن است.
Asia-Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology= APCoAB

همچنین، دربارهٔ وزن خشک اندام هوایی و ریشه، بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی در رقم مورن تغذیه‌شده با محلول تجاری اصفهان در سیستم هواکشت مشاهده (جدول ۳) شد. به‌طور کلی، رقم مورن در هر سه محلول، چه در سیستم کشت هیدروپونیک و چه در سیستم هواکشت، بیشترین وزن

Archive of SID

www.SID.ir

خشک اندام هوایی را در مقایسه با رقم‌های مارفونا و سانتانا داشت؛ به‌طوری‌که کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی در رقم مارفونا تغذیه‌شده با محلول چنگ و همکاران و در سیستم هیدروپونیک مشاهده شد. همچنین، رقم مورن در سیستم هواکشت بیشترین وزن خشک ریشه را داشت، اما رقم مارفونا کمتر تحت تأثیر سیستم کشت قرار گرفت و در هر دو سیستم کشت کمترین مقدار را داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که کمترین مقدار وزن خشک ریشه در رقم مارفونا تغذیه‌شده با محلول چنگ و همکاران در سیستم هیدروپونیک مشاهده شد. این تفاوت در میزان وزن خشک اندام هوایی و ریشهٔ بین دو سیستم کشت احتمالاً به دلیل جذب بهتر نیتروژن در سیستم هواکشت است که مطابق با نتایج کانگ (Kang *et al.*, 1996) روی سیب‌زمینی در سیستم هواکشت است. همچنین، وزن خشک زیاد در رقم مورن به این دلیل است که این رقم به‌طورکلی پتانسیل بالای ژنتیکی برای رشد رویشی دارد که درنتیجه سبب جذب بهتر نیتروژن (داده‌ها نشان داده نشده است) و افزایش رشد رویشی می‌شود.

جدول ۳. برهم‌کنش سیستم کشت، رقم و محلول غذایی بر میزان وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سیب‌زمینی

محلول غذایی	رقم	وزن خشک اندام هوایی (گرم در هر گیاه)		وزن خشک ریشه (گرم در هر گیاه)	
		هیدروپونیک	هواکشت	هیدروپونیک	هواکشت
چنگ و همکاران (۲۰۰۸)	مارفونا	۸/۷۱^{hi}	۵/۴۹^{j}	۱/۲۲^{g}	۲/۱۴^{de}
	سانتانا	۱۵/۵۴^{fg}	۲۳/۳۰^{cd}	۱/۵۹^{efg}	۳/۰۴^{c}
	مورن	۱۷/۹۹^{fe}	۲۷/۹۱^{b}	۱/۲۳^{g}	۳/۹۷^{a}
محلول APCoAB	مارفونا	۸/۹۷^{h}	۵/۶۱^{ji}	۲/۰۱^{def}	۱/۶۵$^{d-g}$
	سانتانا	۱۸/۶۶^{g}	۲۶/۲۸^{bc}	۱/۵۹^{efg}	۳/۳۵^{bc}
	مورن	۲۰/۶^{de}	۲۴/۵۴^{c}	۱/۳۵^{g}	۳/۸۱^{ab}
محلول تجاری	مارفونا	۸/۷۴^{ht}	۷/۷۳^{hi}	۱/۲۸^{g}	۱/۷۶$^{d-g}$
	سانتانا	۱۴/۸۱^{g}	۱۸/۵۰^{fe}	۱/۴۷^{fg}	۱/۸۴^{def}
	مورن	۱۹/۳۷^{e}	۳۴/۳۰^{a}	۱/۲۳^{g}	۴/۱۱^{a}
میانگین سیستم کشت		۱۴/۷۲^{B}	۱۸/۷۴^{A}	۱/۴۴^{B}	۲/۸۶^{A}

* حروف متفاوت در ستون‌ها یا ردیف‌های مربوط به هر صفت نشانهٔ اختلاف معنادار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن است.
Asia-Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology= APCoAB

شکل ۱. نمای کلی از ریشه‌ها و استولون‌ها در سیستم هواکشت در این آزمایش

Archive of SID

www.SID.ir

کلروفیل فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m)

استفاده از کلروفیل فلورسانس، روشی اطمینان‌بخش و غیرمخرب برای نشان‌دادن وضعیت فتوسنتزی گیاه و قضاوت در مورد وضعیت فیزیولوژیکی آن است (Rizza *et al*., 2001). نسبت F_v/F_m حداکثر عملکرد کوانتومی واکنش فتوشیمیایی فتوسیستم II را نشان می‌دهد و پارامتر مهمی برای تعیین وضعیت دستگاه فتوسنتزی است. در پژوهش حاضر، در بین گیاهان دو سیستم کشت، رقم مورن بالاترین میزان F_v/F_m و مارفونا کمترین میزان را داشت، ولی این تفاوت معنادار نبود. در گندم زمستانه، حداکثر عملکرد کوانتوم فتوسیستم II تحت‌تأثیر تنش‌های محیطی قرار نگرفت و بلکه تنها رقم بر آن مؤثر بود (Shangguan *et al*., 2000). بالابودن میزان فتوسنتز می‌تواند از افزایش در هدایت روزنه‌ای برگ ناشی باشد. بدیهی است شرایطی که کارایی فتوسنتز را در گیاه افزایش دهد، باعث افزایش تولید خالص خواهد شد. همچنین، با توجه به وجود رابطهٔ مثبت قوی بین میزان نیتروژن و کلروفیل، که می‌تواند به علت تأثیر این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل در گیاه باشد، زیاد بودن میزان نیتروژن در رقم مورن در هر دو سیستم کشت (داده‌ها نشان داده نشده است) باعث شد تا میزان F_v/F_m بالایی در مقایسه با سایر رقم‌ها داشته باشد. دلیل دیگر زیاد بودن میزان F_v/F_m می‌تواند به نقش آهن و منگنز در فرایندهای فتوسنتزی و در تشکیل مولکول کلروفیل برگردد و با توجه به اینکه میزان آهن و منگنز در رقم مورن در بالاترین سطح قرار داشت (داده‌ها نشان داده نشده است)، نتایج مشاهده‌شده می‌تواند دلیل افزایش F_v/F_m در رقم مذکور باشد، که با نتایج پژوهش انجام‌گرفته بر روی مرکبات (Pestana *et al*., 2003) مطابقت دارد.

شاخص کارایی فتوسنتزی (PI)

سرزنده‌بودن گیاه را می‌توان به‌وسیلهٔ شاخص کارایی فتوسنتز ارزیابی کرد (Strasser *et al*., 2000). نتایج پژوهش حاضر (جدول ۴) نشان داد رقم‌های مورن و مارفونا در سیستم هواکشت به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میزان PI را داشتند. این نتایج در سیستم هیدروپونیک کلاسیک نیز به همین صورت بود؛ به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان PI به ترتیب در مورن و مارفونا مشاهده شد. بررسی اثر منیزیم بر فعالیت فتوسنتزی چغندر قند نشان داد که کمبود منیزیم باعث ایجاد تنظیم کاهشی در فتوسیستم I و II به ترتیب به خاطر آسیب شدید به مراکز واکنشی و خسارت به گیرنده‌های نوری می‌شود. در هر دو فتوسیستم، این تغییرات به کاهش میزان کل انتقال خطی الکترون و درنتیجه افت شاخص عملکرد منجر شد (Hermans *et al*., 2004). تغییرات ایجادشده به‌واسطهٔ کمبود منیزیم باعث محدودکردن انتقال ساکارز از برگ‌های بالغ و به تبع آن کاهش نرخ فتوسنتز شد (Hermans *et al*., 2004). با استناد به نتایج این پژوهشگران، و با توجه به نقش انکارناپذیر منیزیم در انتقال الکترون و آهن در فتوسنتز نوری II و ایجاد گراناهای تیلاکوئید (Kaftan *et al*., 2002) و با در نظر گرفتن نتایج این پژوهش در مورد غلظت منیزیم (داده‌ها نشان داده نشده) می‌توان بیان کرد که رقم مورن به دلیل جذب و نگهداری منیزیم و آهن بالاتر در شاخساره در سیستم هواکشت بالاترین میزان شاخص کارایی فتوسنتزی و احتمالاً بالاترین میزان فتوسنتز در مقایسه با سایر گیاهان سیستم هواکشت و گیاهان هیدروپونیک را داشت.

جدول ۴. اثر متقابل سیستم کشت و رقم بر نسبت کلروفیل فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و میزان شاخص کارایی فتوسنتز (PI) سیب‌زمینی

رقم	F_v/F_m		PI	
	هیدروپونیک	هواکشت	هیدروپونیک	هواکشت
مارفونا	۰/۷۷^{ab}	۰/۷۵^{b}	۲/۱۶^{cd}	۲/۰۳^{d}
سانتانا	۰/۷۷^{ab}	۰/۷۵^{b}	۲/۵۸^{bc}	۲/۲۹^{cd}
مورن	۰/۸۳^{a}	۰/۷۹^{ab}	۲/۹۷^{ab}	۳/۱۲^{a}

* حروف متفاوت در ستون‌ها یا ردیف‌های مربوط به هر صفت نشانهٔ اختلاف معنادار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن است.

رنگیزه‌های گیاهی

بخشی از انرژی خورشید، که به وسیلهٔ کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها جذب می‌شود، درنهایت از طریق تشکیل پیوندهای شیمیایی به صورت انرژی شیمیایی ذخیره می‌شود. این تبدیل انرژی از صورتی به صورت دیگر، فرایند پیچیده‌ای است که به وجود تعداد زیادی

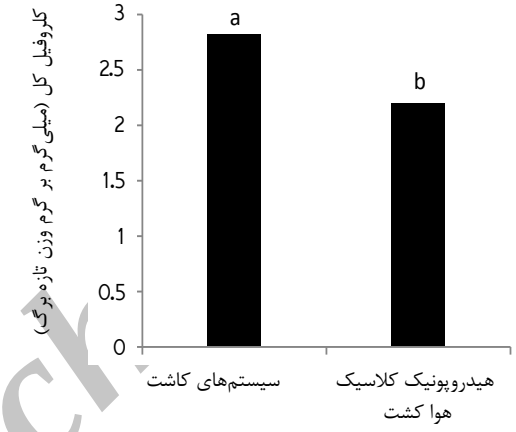
Archive of SID

www.SID.ir

مولکول رنگدانه و گروهی از پروتئین‌های انتقال‌دهندهٔ الکترون وابسته است. در پژوهش حاضر، بیشترین کلروفیل کل در سیستم هواکشت دیده شد (شکل ۲). با مد نظر داشتن نقش حیاتی منیزیم و آهن در فرایند فتوسنتز و با توجه به اینکه بیشترین میزان عناصر ذکرشده در سیستم هواکشت گزارش شد (داده‌ها نشان داده نشده)، این میزان بالای عناصر مذکور می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان کلروفیل باشد. همچنین، در آزمایشی میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل گیاهان نخودفرنگی و چغندر قند، که به ترتیب تحت تنش کمبود آهن و منیزیم قرار گرفته بودند، کاهش پیدا کرد (Hermans *et al*., 2004; Nenova, 2006) و نتایج این پژوهش در تطابق با یافته‌های تحقیق حاضر بود.

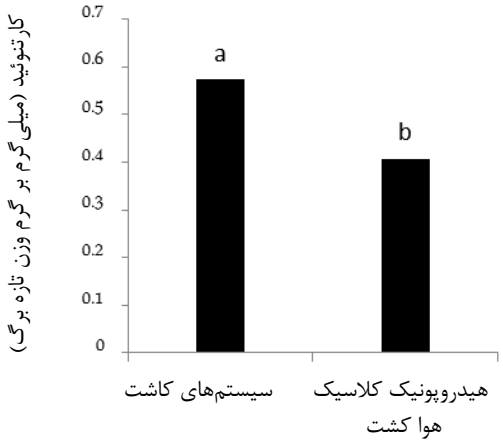
کارتنوئیدها

کارتنوئیدها اغلب تأثیر زیادی در حفاظت نوری دارند. انرژی نوری جذب‌شده به وسیلهٔ کارتنوئیدها به‌سرعت به کلروفیل‌ها منتقل می‌شوند؛ به‌طوری‌که کارتنوئیدها تحت عنوان رنگدانه‌های کمکی (یا فرعی) نامیده می‌شوند. در پژوهش حاضر، اثر نوع سیستم کشت بر میزان کارتنوئیدهای برگ به‌طور چشمگیری معنادار شد؛ به‌طوری‌که میزان کارتنوئیدها در گیاهان روییده در سیستم هواکشت بالاتر از گیاهان سیستم هیدروپونیک کلاسیک بود (شکل ۳). تغذیهٔ بهتر گیاهان در سیستم هواکشت و غلظت بالای عناصری مثل نیتروژن و آهن (داده‌ها نشان داده نشده) در این گیاهان تأثیر مهمی در افزایش رنگدانه‌های گیاهی در این سیستم داشته است.



شکل ۲. اثر نوع سیستم کشت بر میزان کلروفیل کل برگ شکل

* حروف متفاوت نشانهٔ اختلاف معنادار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن است.



شکل ۳. اثر نوع سیستم کشت بر میزان کارتنوئید برگ‌های سیب‌زمینی

* حروف متفاوت نشانهٔ اختلاف معنادار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن است.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری کلی

گیاهان پرورش‌یافته در سیستم هواکشت در مقایسه با گیاهان سیستم هیدروپونیک کلاسیک افزایش درخور توجهی در پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی نشان دادند، که احتمالاً به دلیل دسترسی بهتر به عناصر غذایی و هوادهی کامل ریشه‌ها بود. به‌طوری‌که وزن خشک ریشه و بخش‌های هوایی گیاه و محتوای‌رنگدانه‌های فتوسنتزی در سیستم هواکشت بالاتر از سیستم هیدروپونیک کلاسیک بود. همچنین، گیاهان تغذیه‌شده با محلول تجاری رشد رویشی بهتری داشتند، که به دلیل بالابودن نیتروژن در این محلول غذایی بود. PI در رقم مورن در هر دو سیستم کشت نسبت به سایر رقم‌ها بالاتر بود.

REFERENCES

1. Anonymous. (2008). International Potato Center, Lima, Peru, Website at http//www.cipotato.org/potato/potato.htm.
2. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
3. Chang, D. C., Park, C. S. & Kim, S. Y. (2008). Physiological growth responses by nutrient in aeroponically grown potatoes. *American Journal of Potato Research*, 85, 315-323.
4. Cho, Y. D., Kang, S. G., Kim, Y. D., Shin, G. H. & Kim, K. T. (1996). Effects of culture systems on growth and yield of cherry tomatoes in hydroponics. *Journal of Agricultural Science*, 38, 563-567.
5. Christie, C. B. & Nichols, M. A. (2004). Aeroponics a production system and research tool. *Acta Horticulturae*, 648, 185-190.
6. Correa, R. M., Pinto, J. E. B. P., Pinto, C. A. B. P., Faquin, V., Reis, E. S., Monteiro, A. B. & Dyer, W. E. (2008). A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems *Horticultural Science*, 116, 17-20.
7. Fascella, G. & Zizzo, G.V. (2007). Preliminary results of aeroponic cultivation of *Anthurium andreanum* for cut flower production. *Acta Horticulturae*, 747, 233-240.
8. Hayden, A. L., Brigham, L. A. & Giacomelli, G. A. (2004). Aeroponic cultivation of ginger (*Zingiber officinalis*) rhizomes. *Acta Horticulturae*, 659, 397-402.
9. He, J. & Lee, S. K. (1998). Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) to different rootzone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. *Journal of Plant Physiology*, 152, 387-391.
10. Hermans, C., Johnson, G. N., Strasser, R. J. & Verbruggen, N. (2004). Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta*, 220(2), 344-355.
11. Ian, J., Bingham, A., Glyn Bingoush, A. & Robert, M. (2010). Soil compaction-n interaction in barley: Root growth and tissue composition, *Soil and Tillage Research*, 106, 241- 246.
12. Kaftan, D., Brumfeld, V., Nevo, R., Scherz, A. & Reich, Z. (2002). From chloroplasts to photosystems: in situ scanning force microscopy on intact thylakoid membranes. *Journal of Experimental botany*, 21, 6246-6253.
13. Kang, J.G., Yang, S.Y. & Kim, S.Y. (1996). Effects of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. *Journal of the Korean Socirty for HortScience*, 37, 761-766.
14. Khalilian, A., Hood, C. E., Palmer, J. H., Garner, T. H. & Bathke, G. R. (1991). Soil compaction and crop response to wheat/soybean inter seeding, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 34(6), 2299-2303.
15. Molitor, H. D., Fischer, M. & Popadopoulos, A. P. (1999). Effect of several parameters on the growth of chrysanthemum stock plants in aeroponics. Volume I. *Acta Horticulturae*, 481, 179-187.
16. Movahhedi, Z. (2011). *Investigation of the effect of environmental factors on minituber induction of potato in aeroponic system*. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University, Iran. (in Persian)
17. Nenova, V. (2006). Efect of iron supply on growth and photosystem II efficiency of pea plants. *General and Applied Plant Physiology*, Special Issue, 81-90.
18. Otazu, V. (2010). Manual on quality seed potato production using aeroponics. *International potato Centre* (CIP). Lima, Peru. 44 pp.
19. Park, H. S. & Chiang, M. H. (1997). Effects of form and concentration of nitrogen in aeroponic solution on growth, chlorophyll, nitrogen contents and enzyme activities in *Cucumis sativus* L. *Plant Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 38(60), 642-646.
20. Pestana, M., Vaennes, A. and Araújo Faria, E. (2003). Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1(1), 46-51.

Archive of SID

www.SID.ir

21. Ranalli, P., Bassi, F., Ruaro, G., Del Re, P., Di Candilo, M. & Mandolino, G. (1994). Microtuber and mini-tuber production and field performance compared with normal tubers. *Potato Research*, 37, 383-391.
22. Rizza, F., Pagani, D., Stanca, A. M. & Cattivelli, L. (2001). Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and spring oats. *African Journal of Agricultural Research*, 120, 389-396.
23. Rolot, J., Seutin, H. & Michelant, D. (2002). Production de minituber cules depomme de terre par hydroponie. *Biotechnology Agronomy Society and Environment*, 6(3), 155-161.
24. Shangguan, Z., Shao, M. & Dyckmans, J. (2000). Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter whet. *Journal of plant physiology*, 156, 45-51.
25. Soffer, H. & Burger, D. W. (1988). Effects of dissolved oxygen concentration in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. *Amerrican Journal of potato Research*, 113, 218-221.
26. Strasser, R. J., Srivastava, A. & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a too to characterize and screen photosynthetic samples. *Photosynthesis Research*, 94, 445-483.
27. Struik, P. C. & wiersema, S. G. (1999). Seed potato technology. Wagemingen Pers, Wagemingen, *Plant Cell, Tissus and Organ Culture*, 65, 173-174.
28. Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, (3rd ed).
29. Tukaki, L. & Mahler, R. L. (1989). Evaluation of potting mix composition on potato plantlet tuber production under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 12, 1055-1068.
30. Wan, W. Y., Cao, W. & Tibbitts, T. W. (1994). Tuber initiation in hydroponically grown potatoes by alteration of solution pH. *Horticultural Science*, 29, 621-623.
31. Weathers, P. J. & Zobel, R. W. (1992). Aeroponics for the culture of organisms, tissues and cells. *Biotechnology Advances*, 10(1), 93-115.

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Horticultural Science, Vol. 46, No. 4, Winter 2016

Investigation of the effect of culture system, cultivar and different nutrient solutions on some growth and physiological parameters of potato plant

Hamid Reza Roosta[1*] and Majid Rashidi[2]
1, 2. Associate Professor and Former M.Sc. Student, Faculty of Agriculture, Department of Horticultural Sciences, Vali-E-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
(Received: Apr. 27, 2014 - Accepted: Sep. 13, 2014)

ABSTRACT

Aeroponic is a new technology for potato minituber production. In order to recognition of the suitable nutrient solution and potato variety for minituber production in aeroponics in comparison with classic hydroponics, a factorial experiment was carried out with three factors of culture systems (aeroponics and hydroponics), nutrient solutions (Chang *et al*., 2008; APCoAB and commercial nutrient solution of Esfahan), and three cultivars of potato (Marfana, Santana and Morn). Leaf number, leaf area, stolon length, shoot and roots dry mass, photosynthetical pigments content, photochemical quantum yield of PS II photochemistry (F_v/F_m), photosynthetical performance index (PI) were investigated. Results showed that plants growing in aeroponics exhibited a considerable increase in growth and physiological parameters regardless of cultivar and nutrient solution, compared to classic hydroponic system. It might be due to the better nutrient availability and aeration of roots in this system. Also, root and shoot dry mass of plants and photosynthetic pigment contents were higher in aeroponic than classic hydroponic grown plants. In addition, plants nourished with Esfahan economical nutrient solution had higher vegetative growth compared to Chang *et al*. (2008) and APCoAB nutrient solution, which was due to the higher N in this solution.

Keywords: aeroponic, minituber, soilless culture, tuber seed.

Archive of SID

* Corresponding author E-mail: roosta-h@yahoo.com Tel: +98 913 9878101

www.SID.ir