نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد 33 / شماره 1 / 1398

10.22092/ijsr.2019.120758.348

تأثیر قارچ‌های میکوریزی و هورمون‌های رشد بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه سیب زمینی

فاطمه مرادی[1]، احمد گلچین و سمانه عبداللهی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان؛ moradi1371.f@gmail.com

استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان؛ agolchin2011@yahoo.com

دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان؛ samaneh.abdollahi87@yahoo.com

دریافت: 97/3/9 و پذیرش: 97/12/18

چکیده

قارچ‌های میکوریزی از جمله ریزجاندارنی هستند که موجب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک، بخصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها می‌شوند. هورمون‌های رشد نیز با تأثیر بر گسترش ریشه‌زایی می‌توانند بر رشد و جذب مواد غذایی مؤثر باشند. لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزی بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی پر مصرف گیاه سیب‌زمینی رقم فونتانه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در گلخانه به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح هورمون رشد (بدون هورمون (شاهد)، جیبرلیک اسید (GA)، ایندول استیک اسید (IAA) و نفتالین استیک اسید (NAA)) و چهار سطح قارچ میکوریزی (بدون تلقیح قارچ (شاهد)، تلقیح با قارچ فونلیفورمیس موسه‌آ، تلقیح با قارچ رایزوفاگوس اینترارادیسز و تلقیح با مخلوط دو قارچ بود. نتایج حاصل نشان داد که کاربرد هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد تر، درصد ماده خشک و متوسط قطر غده و نیز غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم غده داشت. بیش‌ترین عملکرد تر، درصد ماده خشک و غلظت نیتروژن غده در تیمار تلقیح شده با مخلوط دو قارچ + GA، بیش‌ترین مقدار متوسط قطر غده و غلظت پتاسیم غده در تیمار تلقیح شده با قارچ فونلیفورمیس موسه‌آ + GA و بیش‌ترین غلظت فسفر غده در تیمار تلقیح شده با رایزوفاگوس اینترارادیسز + NAA اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد توأم قارچ میکوریزی و هورمون رشد بیش‌ترین تأثیر را در افزایش عملکرد و غلظت عناصر پر مصرف غده سیب زمینی داشت.

واژه‌های کلیدی: جیبرلیک اسید ، نفتالین استیک اسید، ایندول استیک اسید، فونلیفورمیس موسه‌آ، رایزوفاگوس اینترارادیسز

[1]. نویسنده مسول، آدرس: زنجان، دانشگاه زنجان- دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* .L) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی خانواده سولاناسه است که سالیانه با تولید 325 میلیون تن محصول پس از گندم، برنج و ذرت رتبه چهارم را در جهان از نظر میزان تولید به خود اختصاص داده است (هاریس، 2012). این محصول بخش مهمی از تولیدات کشاورزی در کشورهای درحال توسعه را شامل می‌شود. به همین دلیل، افزایش عملکرد آن منجر به افزایش کار و درآمد، بهبود امنیت غذایی و جلوگیری از به زیر کشت رفتن اراضی جدید برای تولید غذا می‌شود (بیرچ و همکاران، 2012). به گزارش مرکز اطلاع رسانی فائو کشور ایران با تولید بیش از 5 میلیون تن سیب زمینی در سال 2016 در رده 13 جهان قرار گرفته است. ایران هم‌چنین بزرگ‌ترین تولید کننده سیب زمینی در خاورمیانه و دومین کشور تولید کننده سیب زمینی در بین کشورهای اسلامی بعد از بنگلادش می‌باشد (فائو، 2017).

یکی از راهکارهای تولید بهینه محصول سیب‌زمینی و حفظ سلامت محیط‌زیست، فراهم‌سازی شرایط لازم و ضرورت استفاده بیش‌تر از ریزجانداران خاکزی و کودهای زیستی می‌باشد. از جمله مهم‌ترین کودهای زیستی می‌توان به قارچ‌های میکوریز آربوسکولار اشاره کرد. میکوریز نوعی زندگی همزیستی بین قارچ و ریشه گیاهان می‌باشد که با تأمین مواد فتوسنتزی تولید شده توسط گیاهان به‌عنوان منبع کربن آلی، قارچ غیر خودکفا[1] به حیات خود ادامه داده و بقا و تکثیر آن تضمین می‌گردد. در مقابل، این رابطه همزیستی سبب بهبود رشد گیاه از طریق افزایش جذب مواد غذایی، تحریک سنتز مواد تنظیم‌کننده رشد و افزایش راندمان فتوسنتز می‌شود (نوریس و همکاران، 1992). قارچ‌های میکوریزی با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح جذب ریشه باعث بهبود استقرار گیاه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی مخصوصاً فسفر، روی، مس و نیتروژن می‌شوند (کلارک و زتو، 2000).

به‌طور کلی رشد و نمو طبیعی یک گیاه، بیش‌تر توسط اثرات متقابل هورمون‌های تحریک‌کننده و بازدارنده تنظیم می‌شود. بعضی از هورمون‌های گیاهی محرک رشد هستند، درحالی‌که هورمون‌های دیگری همین فرآیندها را کند، یا به تأخیر می‌اندازند. اکسین‌ها و جیبرلین‌ها به عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد در طویل شدن سلولی، سیتوکینین‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در تقسیم سلولی، آبسیزیک اسید به‌عنوان یک ماده با اثرات بازدارندگی و اتیلن به‌عنوان یک ماده فرار مؤثر در فرایندهای رشد و نموی می‌باشد (احمدی و همکاران، 1383). در رابطه با تأثیر هورمون‌ها بر روی غده‌زایی، نتایج تحقیقات نشان داده است که هورمون‌های گیاهی نقش برجسته و مهمی در غده‌زایی دارند. برخی از این هورمون‌ها موجب القاء غده‌زایی برخی نیز دارای اثر بازدارندگی می‌باشند (ویرادینهو و استرویک، 1989 و اوتا و همکاران، 1979). شارما و همکاران (1998) گزارش کردند که جیبرلیک اسید سبب افزایش رشد ساقه، رشد استولون[2] و وزن خشک سیب‌زمینی گردید. نفتالین استیک اسید یک اکسین مصنوعی است که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد و توسعه باروری طبقه بندی شده است (سوان و ساکر، 1998). باچم و همکاران (2000) نتیجه گرفتند که جیبرلیک اسید در غلظت‌های بالا رشد طولی استولون را تحریک می‌کند ولی در غلظت‌های پایین عاملی برای غده‌زایی است. به‌علاوه این تنظیم‌کننده قادر به شکستن خواب غده‌ها است. پراکاش و همکاران (2007) نشان دادند کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی روی پنبه، باعث زودرسی محصول، جذب بالای عناصر غذایی و تعادل بین رشد رویشی و زایشی شد. جیبرلیک اسید از مهم‌ترین جیبرلین‌ها می‌باشد که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان نظیر گلدهی دخالت دارد (آذرنیا و ایسوند، 2014).

نقش قارچ میکوریزی در افزایش مقدار نیتروژن در گیاهان با تحریک آنزیم نیترات رداکتاز و افزایش سطوح آنزیم دیکیناز گلوکان به خوبی مشخص شده است (شرامتی و همکاران، 2005). کوپتا و همکاران (2002) گزارش کردند که تلقیح گیاه نعناع با قارچ *گلوموس فاسیکولاتوم* به‌صورت معنی‌داری عملکرد محصول (پیکره رویشی) و درصد همزیستی ریشه را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، افزایش داد و هم‌چنین با افزایش جذب آب و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه موجب تولید فرآورده بیش‌تر و بهبود رشد نظیر ارتفاع و ماده خشک شد. با توجه به اهمیت محصول سیب‌زمینی در کشور و تأثیرات مثبت قارچ‌های میکوریزی بر خصوصیات خاک، افزایش تولید محصولات کشاورزی، کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تولید محصول سالم و از طرفی تنوع در گونه قارچ‌های میکوریزی، هم‌چنین با در نظر گرفتن تأثیر هورمون‌های رشد بر ریشه‌زایی و افزایش جذب مواد غذایی توسط

---

1. Heterotrophic fungus

2. Stolon

گیاه، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزی و هورمون‌های رشد گیاهی بر عملکرد و جذب عناصر غذایی پرمصرف در گیاه سیب‌زمینی رقم فونتانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات متقابل قارچ‌های میکوریزی و هورمون‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در بخش غده گیاه سیب‌زمینی رقم فونتانه آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال 1395 در گلخانه دانشگاه زنجان به اجرا درآمد. فاکتور اول آزمایش شامل چهار سطح هورمون رشد (بدون هورمون (شاهد)، جیبرلیک اسید (GA)، ایندول استیک اسید (IAA) و نفتالین استیک اسید (NAA)) و فاکتور دوم شامل چهار سطح قارچ میکوریزی (بدون تلقیح قارچ (شاهد)، تلقیح با قارچ *فونلیفورمیس موسه‌آ*، تلقیح با قارچ *رایزوفاگوس اینترارادیسز* و تلقیح با مخلوط دو قارچ بود. بنابراین با لحاظ نمودن سه تکرار در مجموع 48 واحد آزمایشی داشتیم. مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی از بخش خصوصی تهیه شده و شامل خاک، بقایای ریشه و اندام‌های قارچی بود. خاک مورد استفاده در این آزمایش از عمق صفر تا 20 سانتی‌متری یک خاک زراعی تهیه و پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل بافت خاک، نیتروژن کل، آهک کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری گردید (اسپارک و همکاران، 1996). غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز نیز پس از عصاره‌گیری با DTPA (اسپارک و همکاران، 1996) با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت شد.

هر واحد آزمایشی از 20 کیلوگرم خاک تشکیل شده بود که به عمق 20 سانتی‌متر در جعبه‌های پلاستکی ریخته شد. درون هرکدام از جعبه‌ها پنج بذر سیب‌زمینی رقم فونتانه کشت گردید. مقدار 10 گرم از مایه تلقیح هرکدام از قارچ‌های *فونلیفورمیس موسه‌آ* و *رایزوفاگوس اینترارادیسز* و مخلوطی از هر دو نوع قارچ (پنج گرم از هرکدام) هنگام کاشت پای هر بذر در عمق 10 سانتی‌متری خاک ریخته و روی آن لایه‌ای خاک اضافه و سپس بذر روی آن قرار گرفت. یک تیمار هم بدون تلقیح قارچ بود، البته به منظور یکسان شدن شرایط برای تمام تیمارها، مقدار 10 گرم از مایه تلقیح قارچ به مدت 40 دقیقه در دمای 120 درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو، استریل و مشابه سایر تیمارها به خاک اضافه گردید. 40 روز پس از کاشت و قبل از گلدهی مقدار 100 میلی‌لیتر از هورمون‌های رشد GA، IAA و NAA با غلظت 25 میلی‌گرم در لیتر دو بار با فاصله زمانی هفت روز، روی برگ‌های سیب‌زمینی هر بوته اسپری گردید و یک تیمار هم بدون هورمون رشد بود. گلدان‌ها به‌مدت پنج ماه در شرایط گلخانه‌ای در دمای 17 تا 21 درجه سانتی‌گراد نگهداری و به‌طور منظم دو روز یکبار تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه (FC) با آب مقطر آبیاری شدند. در طول دوره رشد گیاه کود اوره طی سه مرحله (به فاصله یک هفته از یکدیگر) به میزان یک گرم در لیتر (1/38 گرم نیتروژن برای 20 کیلوگرم خاک معادل 450 کیلوگرم اوره در هکتار) برای جلوگیری از کمبود عنصر نیتروژن اضافه گردید. در پایان دوره رشد غده‌ها برداشت و وزن تر و متوسط قطر غده اندازه‌گیری و نمونه‌ها در آون به مدت 48 ساعت در دمای 60 درجه سانتی‌گراد خشک گردید. سپس نمونه‌ها با آسیاب برقی پودر شدند و پس از هضم نمونه‌ها غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم غده به روش‌های مرسوم موسسه خاک و آب اندازه‌گیری گردید (احیایی و بهبهانی‌زاده، 1372). داده‌های به‌دست آمده به کمک نرم افزار آماری SAS نسخه 9/1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این مطالعه در جدول 1 ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر هورمون‌های رشد، قارچ‌های میکوریزی و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد تر، درصد ماده خشک، و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم غده گیاه سیب‌زمینی رقم فونتانه در سطح احتمال یک درصد ($p < 0/01$) و بر متوسط قطر غده گیاه سیب زمینی در سطح احتمال پنج درصد ($p < 0/05$) معنی‌دار بود (جدول 2).

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در مطالعه

بافت خاک	نیتروژن کل	آهک کل	EC	pH	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز
	(%)		($dS.m^{-1}$)		(میلی گرم بر کیلوگرم)					
لومی	0/014	12/8	1/5	7/6	10	250	3/5	0/26	0/84	3/15

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس تأثیر قارچ‌های میکوریزی، هورمون‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها بر اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف غده گیاه سیب زمینی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد تر غده	درصد ماده خشک غده	متوسط قطر غده	غلظت		
					نیتروژن	فسفر	پتاسیم
قارچ میکوریزی	3	3603/2**	30/89**	0/89**	0/16**	0/05**	0/005**
هورمون رشد	3	2171**	35/04**	0/30*	0/46**	0/03**	0/07**
قارچ میکوریز× هورمون رشد	15	1969/55**	35/26**	0/33*	0/52**	0/07**	4/03**
بلوک	3	819/55**	11/10**	0/48*	0/49**	0/0004ns	0/002**
خطا	24	9/65	1/11	0/12	0/006	0/0004	0/0005
ضریب تغییرات (%)	-	8/14	8/51	5/63	4/73	6/11	7/59

*و** به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشند و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

شاخص‌های رشد گیاه

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزی بر عملکرد تر، درصد ماده خشک و متوسط قطر غده نشان داد که کم‌ترین مقدار شاخص‌های رشد غده مربوط به تیمار بدون تلقیح با قارچ+بدون هورمون بود. تلقیح با قارچ‌های میکوریزی و کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش شاخص‌های رشد غده گردید. به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد تر غده با میانگین 556/05 گرم در جعبه و بیش‌ترین درصد ماده خشک غده با میانگین 29/52 درصد مربوط به تیمار مخلوط دو قارچ+GA بود که به ترتیب 96/55 و 136/35 درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح با قارچ+بدون هورمون افزایش داشت (جدول 3). هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقدار متوسط قطر غده با میانگین‌های 6/83 و 6/67 سانتی‌متر به ترتیب در تیمارهای تلقیح شده با قارچ *فونلیفورمیس موسه‌آ*+GA و تیمار مخلوط دو قارچ+GA اندازه‌گیری شد. به‌طوری‌که متوسط قطر غده در این تیمارها به ترتیب 18/78 و 16 درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح با قارچ+بدون هورمون افزایش یافتند (جدول 3).

جدول 3- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریزی و هورمون رشد بر اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف غده گیاه سیب زمینی

نوع قارچ میکوریزی	نوع هورمون رشد	عملکرد تر غده	درصد ماده خشک غده	متوسط قطر غده	غلظت		
					نیتروژن	فسفر	پتاسیم
		گرم در جعبه	درصد	سانتی‌متر	درصد		
بدون تلقیح با قارچ	بدون هورمون	284/25h	12/49g	5/75d	0/89h	0/23j	1/87h
	NAA	485/65b	23/43ce	5/89cd	1/56fg	0/26hi	2/90b
	IAA	399/9f	24/07ce	6/35ac	1/89c	0/27h	2/65de
	GA	413/15ef	26/34b	6/15ad	1/57fg	0/38c	2/93b
فونلیفورمیس موسه‌آ	بدون هورمون	404/3f	24/19cd	5/96bd	1/70ef	0/32ef	2/53ef
	NAA	443/45bd	23/21cf	6/42ac	1/54g	0/25i	2/34g
	IAA	423/35df	23/72ce	6/36ac	1/84cd	0/40c	2/50f
	GA	434/95ce	22/31df	6/83a	1/54g	0/40c	3/30a
رایزوفاگوس اینترارادیسز	بدون هورمون	423/35df	23/57ce	5/96bd	1/71de	0/34e	2/62de
	NAA	354/75g	24cd	6/29ac	2/05b	0/52a	2/78c
	IAA	399/5f	21/37f	6/47ac	1/88c	0/28h	2/68cd
	GA	450/4bd	22/04ef	6/53ac	1/88c	0/30g	2/90b
مخلوط دو قارچ	بدون هورمون	451/25bd	23/58ce	6/17ad	1/56fg	0/31fg	2/46f
	NAA	456/2bc	23/93ce	6/61ab	1/54g	0/42b	2/77c
	IAA	455/85bc	24/70bc	6/60ab	1/71de	0/35d	2/65de
	GA	556/05a	29/52a	6/67a	2/39a	0/26hi	2/71cd

حروف مشابه هر ستون نشانگر عدم تفاوت می‌باشد.

غلظت عناصر پر مصرف غده

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزی بر غلظت عناصر پر مصرف غده شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزی و هوورمون رشد غلظت عناصر پر مصرف غده را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کم‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم غده به ترتیب با میانگین‌های 0/89، 0/23 و 1/87 درصد مربوط به تیمار بدون تلقیح با قارچ+بدون هورمون بود در حالی‌که بیش‌ترین غلظت نیتروژن غده در تیمار تلقیح شده با مخلوط دو قارچ+GA، بیش‌ترین غلظت فسفر غده در تیمار تلقیح شده با *رایزوفاگوس اینترارادیسز* +NAA و بیش‌ترین غلظت پتاسیم غده در تیمار تلقیح شده با قارچ *فونلیفورمیس موسهآ* +GA اندازه‌گیری شد که به ترتیب 168/54، 126/09 و 76/47 درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح با قارچ+بدون هورمون افزایش داشتند (جدول 3).

بحث

قارچ‌های میکوریزی دو دسته ریسه تولید می‌کنند، دسته اول وارد سیستم ریشه‌ای گیاه شده و سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد. دسته دوم از ریسه‌ها خارج از سیستم ریشه بوده، این ریسه‌ها از خود اسیدهای آلی محلول کننده فسفر نظیر اسید مالیک ترشح کرده که جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند و باعث افزایش ماده خشک می‌گردند (خلوتی و همکاران، 2005). ارتوس و هاریس (1996) گزارش کردند که استفاده از قارچ میکوریزی سرعت رشد گیاه سورگوم را افزایش داده و بر انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر داشته، به‌طوری‌که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی و متناسب با آن درصد ماده خشک افزایش یافت. دلیل افزایش ماده خشک در شرایط کاربرد قارچ میکوریزی، مکانیزم عمل این قارچ در جذب فسفر می‌باشد. دافی و کاسل (2000) تأثیر تلقیح سیب زمینی با گونه *رایزوفاگوس اینترارادیسز* را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که تعداد ریزغده‌های تولیدی در اثر تیمار با قارچ اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت اما وزن متوسط هر غده نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. گولنر و همکاران (2006) بیان داشتند که تلقیح گیاه ذرت با قارچ *رایزوفاگوس اینترارادیسز* سبب افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. در مطالعه‌ای به‌منظور افزایش عملکرد سیب‌زمینی از قارچ AM استفاده شد. نتایج نشان داد که عملکرد غده بر اساس وزن تر در تیمارهای تلقیح شده با قارچ AM 10 تا 20 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (دیویس، 2007). سحر خیز و همکاران (2011) در بررسی تأثیر قارچ AM بر روی گیاه ریحان گزارش کردند که قارچ‌های میکوریزی موجب افزایش طول ریشه و وزن خشک ریشه شد. خانی‌نژاد و همکاران (1393) با بررسی تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزی بر عملکرد دو رقم سیب‌زمینی گزارش کردند که گونه‌های *رایزوفاگوس اینترارادیسز* و *فونلیفورمیس موسهآ* به ترتیب با 52 و 53 گرم در بوته بیش‌ترین وزن غده را در سیب‌زمینی رقم آگریا تولید کردند.

قارچ‌های مایکوریزی با گستراندن هیف‌های خود در خاک باعث افزایش سطح جذب آب و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، کلسیم، منیزیم و آهن در گیاه می‌شوند (اسماعیل‌زاده و همکاران، 2005). تأثیر مثبت تلقیح با قارچ‌های میکوریزی بر رشد گیاه را می‌توان به بهبود تغذیه فسفر، جذب آب توسط هیف و افزایش تراکم طول ریشه نسبت داد (راج‌کومار و همکاران، 2012). آندرد و همکاران (2004) و چن و همکاران (2005) گزارش کردند که تلقیح گیاه با قارچ میکوریزی موجب افزایش رشد و زیست توده بخش هوایی گیاه گردید. آن‌ها دلیل این امر را افزایش جذب عناصر غذایی خصوصاً پتاسیم و فسفر توسط گیاه بیان کردند.

آزکون و همکاران (1997) و لیو و همکاران (2000) بیان کردند که همزیستی با قارچ‌های میکوریزی باعث افزایش جذب و انتقال عناصر متحرک نظیر نیتروژن معدنی شد. محققان بیان کردند که گیاهان لگوم میکوریزی، تثبیت نیتروژن بیش‌تری نسبت به گیاهان غیر میکوریزی داشتند و غلظت نیتروژن در آن‌ها بالاتر بود. دلیل دیگر این امر این است که قارچ میکوریزی به‌طور مستقیم سبب افزایش جذب نیتروژن از طریق میسلیوم‌های خود می‌شوند. از طرف دیگر، آن‌ها با جذب آب و مواد غذایی بیش‌تر گیاه را از نظر فیزیولوژیکی برای تثبیت نیتروژن آماده می‌کنند و در نتیجه تثبیت نیتروژن بیش‌تری انجام می‌شود و غلظت نیتروژن در گیاه افزایش می‌یابد (ژانگ و همکاران، 1995). نتایج اغلب تحقیقات نشان داده است که همزیستی میکوریزی باعث افزایش جذب عناصر غذایی غیر متحرک مانند فسفر و روی توسط گیاه می‌شود (الکراکی و همکاران، 2000). حضور قارچ‌های میکوریزی در محیط رشد گیاه ذرت موجب افزایش 115 درصدی جذب فسفر شده است (کوثری و همکاران، 1991). مطالعات مارشنر و دل (1994) نشان داد که

هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریزی قادر به تأمین 10 درصد از نیاز گیاه همزیست خود به پتاسیم هستند.

هورمون‌های گیاهی نقش برجسته و مهمی در غده زایی دارند. برخی از این هورمون‌ها موجب القاء غده زایی برخی نیز دارای اثر بازدارندگی می‌باشند (اوباتا-ساساموتو و سوزوکی، 1979؛ وروگدنهیل و استرویک، 1989). جیبرلین‌ها به‌عنوان گروه متنوعی از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی تقسیم‌بندی شده‌اند که برخی از مسیرهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را در گیاهان افزایش می‌دهند (هاشم‌آبادی و زرچینی، 2010). از جمله فرایندهای نموی گیاه می‌توان به افزایش طول ساقه، گلدهی یکنواخت، کاهش زمان گلدهی و افزایش اندازه گل دخالت دارند (سری‌واستاوا و سری‌واستاوا، 2007). استوارت (1997) گزارش کردند که GA با تحت تأثیر قرار دادن فرایندهای سلولی از جمله تحریک تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها سبب افزاش رشد رویشی و افزایش طول گیاه شد. شارما و همکاران (1998) گزارش کردند که GA سبب افزایش رشد ساقه، رشد استولون و وزن خشک سیب‌زمینی گردید. لیت و همکاران (2003) گزارش کردند که GA سبب افزایش سطح برگ، میزان ماده خشک و ارتفاع گیاه سویا شد. جمیل و همکاران (2007) پس از بررسی اثر GA بر روی وزن خشک گیاهچه چغندرقند بیان کردند که مصرف تنظیم کننده رشد GA باعث افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز در هنگام جوانه نی جهت تجزیه نشاسته گردید و این مسئله موجب تقویت بنیه بذر شد که نتیجه آن سبب افزایش درصد ماده خشک گیاه گردید. اردهی و داکال (1988) گزارش کردند که استفاده از هورمون GA جذب پتاسیم توسط گیاه را تحریک کرده و موجب جذب بالای پتاسیم در گندم زمستانه گردید. نظار و همکاران (2011) بیان کردند که GA در گیاه لوبیا سبب افزایش غلظت نیتروژن نسبت به شاهد گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر، درصد ماده خشک غده و متوسط قطر غده و غلظت عناصر پرمصرف غده گیاه سیب زمینی رقم فونتانه داشت. از بین تیمارهای قارچی، مخلوط دو قارچ بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار را نسبت به کاربرد تکی هر یک از قارچ‌های میکوریزی *فونلیفورمیس موسه‌آ* و *رایزوفاگوس اینترارادیسز* بر افزایش عملکرد غده سیب زمینی داشت. با این حال استفاده از هورمون، کارآیی قارچ را افزایش داد و تیمارهای توأم هورمون و قارچ دارای بیش‌ترین عملکرد تر، درصد ماده خشک غده و غلظت نیتروژن غده بودند. از بین هورمون‌های رشد گیاه نیز هورمون GA با غلظت 25 میلی‌گرم در لیتر (دو بار با فاصله زمانی هفت روز) تأثیر بیش‌تری بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف غده نسبت به دو هورمون دیگر داشت.

فهرست منابع:

1. احیایی، م.ع. و بهبهانی‌زاده، ا. 1372. شرح روش‌های تجزیه خاک. نشریه فنی شماره 893، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
2. احمدی، ع.، احسان‌زاده، پ. و جباری، ف.1383. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهی. جلد اول، دانشگاه تهران. 653 صفحه.
3. خانی نژاد، س.، خزاعی، ح.ر.، نباتی، ج. و کافی، م. 1393. تأثیر گونه های مختلف قارچ میکوریزا بر عملکرد دو رقم سیب زمینی در شرایط کنترل شده. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 28، شماره 4، صفحه‌های 517 تا 523.
4. Al-Karaki, G.N., and R. Hammad. 2000. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. J. Plant Nut. 24:1311-1323.
5. Andrade, S.A.L., Abreu, C.A., De Abreu, M.F., Silveira, A.P.D., 2004. Influence of lead additions on arbuscular mycorrhiza and Rhizobium symbioses under soybean plants. Appl. Soil Ecol. 26: 123-131.
6. Azarnia, M., and H.R. Eisvand. 2014. Effects of hydro and hormonal priming on yield and yield components of chickpea in irrigated and rain-fed conditions. Crop pro. J. 6:1-18.

7. Azcon, R. and J.M. Barea. 1997. Synthesis of auxins, gibberellins and cytokinins by Azotobacter vinelandi and Azotobacter beijerinckii related to effects produced on tomato plants. Plant Soil. 43: 609-619.
8. Bachem, C., van der Hoeven, R., Lucker, J., Oomen, R., Casarini, E., Jacobsen, E., and R .Visser. 2000. Functional genomic analysis of potato tuber life-cycle. Potato Research. 43: 297-312.
9. Birch, P.R., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J. T. and I. K Toth. 2012. Crops that feed the world 8. Potato: are the trends of increased global production sustainable. Food Security. 4: 477-508.
10. Chen, X., Wu, C., Tang, J., Hu, S., 2005. Arbuscular mycorrhizae enhance metal lead uptake and growth of host plants under a sand culture experiment. Chemosphere. 60: 665-671.
11. Clark, R.B., and S.K. Zeto. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. J. Plant Nut. 7: 867-902.
12. Douds Jr, D.D., Nagahashi, G., Reider, C.,and P.R. Hepperly. 2007. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. Biol. Agric. Hortic. 25: 67-78.
13. Esmaeilzadeh, S., Zare-maivan, H., Ganatim, F., 2005. Vesicular arbuscular mycorrhiza symbiosis in medicinal plants of Tandooreh national park. J. Med. Aromat. Plants. 21: 489-504.
14. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2017. The Future of Food and Agriculture. Trends and Challenges.
15. Gupta, M. L., Prasad, A., Ram, M., and S. Kumar. 2002. Effect of the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus Glomus fasciculatum on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint under field conditions. Bioresour. Technol. 81(1): 77-79.
16. Harris, P.M. 2012. The potato crop the scientific basis for improvement. Springer Science and Business Media.
17. Hashemabadi, D. and M. Zarchini. 2010. Effect of some plant growth regulators on growth and flowering of rosa hybrida poison. Plant Omi. J. 3:167-171.
18. Jamil, M., and E.S. Rah. 2007. Gibberellic acid (GA3) enhance seed water uptake, germination and early seedling growth in sugar beet under salt stress. Biol. Sci. Pak. J. 10:654-658.
19. Khalvati, M. A., Mozafar, A., and U. Schmidhalter. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biol. 7(6): 706-712.
20. Kothari, S.K., Marschner, H., and V. Römheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. Plant and soil. 131:177-185
21. Leite, V.M., Rosolem, C. A., and J.D. Rodrigues. 2003. Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. Sci. Agric. 60:537-541.
22. Liu, Z., Zhang, X., Mao, Y., Zhu, Y.Y., Yang, Z., Chan, C.T., and P. Sheng. 2000. Locally resonant sonic materials. Sci. 289: 1734-1736.
23. Marschner, H. and Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil. 159: 89-102.
24. Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S., and N.A.Khan. 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. J. Plant Physiol. 168: 807-815.

25. Norris, J.R., Read, D. J., and A.K. Varma. 1992. Methods in Microbiology, vol. 24. Techniques for the Study of Mycorrhiza.
26. Obata-Sasamoto, H., and H. Suzuki. 1979. Activities of enzymes relating to starch synthesis and endogenous levels of growth regulators in potato stolon tips during tuberization. Physiol. plant. 45(3): 320-324.
27. Ortas, I., Harris, P. J., and D.L. Rowell. 1996. Enhanced uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plants as influenced by forms of nitrogen. Plant and Soil. 184(2): 255-264.
28. Prakash, A.H., Gopalakrishnan, N. and S.E.S.A. Khade. 2007. Hormonal manipulation to increase cotton productivity. Central Ins. Reg. Coi. J. 4: 201-206.
29. Rajkumar, M., Sandhya, S., Prasad, M.N.V., Freitas, H., 2012. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. Biotechnol. Adv. 30:1562-1574.
30. Saharkhiz, M.J., Zomorodian, K., Rezaei, M.R., Saadat, F., and M.J. Rahimi. 2011. Influence of growth phase on the essential oil composition and antimicrobial activities of Satureja hortensis. Nat Prod. Commun. 6: 1173-1178.
31. Sawan, Z.M., Sakr, R. A.,and O.A. Momtaz. 1998. Effect of 1-naphthaleneacetic acid concentrations and the number of applications on the yield components, yield, and fibre properties of Egyptian cotton. Aust. J. Agric. Res. 49(6): 955-960.
32. Gupta, A.K. 1998. Effects of gibberellic acid and chlorocholine chloride on tuberisation and growth of potato (*Solanum tuberosum* L).Food and Agric. Sci. J. 4: 466-470.
33. Sherameti, I., Shahollari, B., Venus, Y., Altschmied, L., Varma, A., and R. Oelmüller. 2005. The endophytic fungus Piriformospora indica stimulates the expression of nitrate reductase and the starch-degrading enzyme glucan-water dikinase in tobacco and Arabidopsis roots through a homeodomain transcription factor that binds to a conserved motif in their promoters. Biol. Che. J. 280: 26241-26247.
34. Sparks D, Page A, Helmke P, Leppert R, Soltanpur P, Tabatabai M, Johnston C, Sumner M. 1996. Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods. Madison, WI: Soil Science Society of America.
35. Srivastava, N.K. and A.K. Srivastava. 2007. Influence of gibberellic acid on 14 CO_2 metabolism, growth, and production of alkaloids in *Catharanthus roseus*. Photosynthetica. 45:156-160.
36. Stewart, T., and C. Ruckdeschel. 1997. Intellectual capital. The new wealth of organizations. New York
37. Vreugdenhil, D. and P.C. Struik. 1989. An integrated view of the hormonal regulation of tuber formation in potato. Physiol. Plant. 75:525-531.
38. Zhang, F., Hamel, C., Kianmehr, H., and D.L. Smith. 1995. Root-zone temperature and soybean vesicular-arbuscular mycorrhizae: development and interactions with the nitrogen fixing symbiosis. Environ. Exper. Bot. 35:287-298.

Effects of Mycorhizal Fungi and Plant Growth Hormones on Potato Tuber Yield and Concentration of Macronutrients

F. Moradi[1], A. Golchin, and S. Abdollahi
MSc Student, Department of Soil Science, University of Zanjan;
E-mail: moradi1371.f@gmail.com
Professor, Department of Soil Science, University of Zanjan; E-mail: agolchin2011@yahoo.com
PhD Student, Department of Soil Science, University of Zanjan;
E-mail: samaneh.abdollahi87@yahoo.com
Received: May, 2018 and Accepted: March, 2019

Abstract

Mycorhizal fungi increase uptake of phosphorus and other mineral nutrients from unavailable sources. Plant hormones promote root production (rhizogenesis) and thus affect plant growth by increasing uptake of nutrients. Thus, the present study aimed to assess the effects of plant hormones and mycorhizal fungi on yield and macronutrient concentrations of potato (Fontane cultivar). For this purpose, a factorial experiment was conducted in the greenhouse using a randomized complete block design and three replications. The experimental factors were types of plant hormones sprayed [without hormone (control), gibberellic acid (GA), indole acetic acid (IAA) and naphthalene acetic acid (NAA)] and soil inoculation with mycorhizal fungi [without inoculation (control) and inoculation with *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, and *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus intraradices*]. There were significant effects due to soil inoculation by mycorhizal fungi and application of plant hormones on fresh yield, diameter, dry matter content and concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium of potato tuber. The highest fresh yield, dry matter content and nitrogen concentration of potato tuber were measured in treatments inoculated by *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus intraradices* and sprayed with GA. The highest diameter and potassium concentration of potato tuber were obtained from the treatments inoculated by *Funneliformis mosseae* and sprayed with GA. The treatments inoculated by *Rhizophagus intraradices* and sprayed with NAA had the highest concentration of phosphorus in the tuber. Generally, the results of this study indicate that inoculation of soil by mycorhizal fungi and spraying potato plant with growth hormones increase yield and macronutrient concentrations of potato tuber.

Keywords: Gibberellic acid, Naphthalene acetic acid, Indole acetic acid, *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*

[1]. Corresponding author: University of Zanjan, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science