کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی
دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۵ (۷۸-۶۷)
DOI: 10.22059/jbioc.2016.58618

تأثیر برخی عامل‌های زیست‌بوم شناختی بر همزیستی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار با سیب‌زمینی در استان آذربایجان غربی

۱. مینا کلاه‌نمدی چورسی؛ ۲. ابراهیم صداقتی*؛ ۳. محمد مرادی؛ ٤. حسین علایی
۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
۲ و ٤. استادیاران گروه گیاه‌پزشکی، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
۳. استادیار پژوهش مؤسسهٔ تحقیقات پستهٔ کشور، رفسنجان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۹/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/۱۰/۲۲)

چکیده

قارچ‌ریشه‌های (میکوریز) آربوسکولار به دلیل اثرات بسیار سودمندی که در رشد و نمو گیاهان و افزایش مقاومت آن‌ها به شرایط نامساعد دارند، موردتوجه بسیاری از محققان در نظام کشاورزی پایدار هستند. عامل‌های مختلف زنده و غیرزنده می‌تواند توسعه ارتباط قارچ‌ریشه‌ایی را تحت تأثیر قرار دهند. به‌منظور بررسی برخی عامل‌های مؤثر بر همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با گیاه سیب‌زمینی، نمونه‌برداری از کشتزارهای استان آذربایجان غربی در شهریور ۱۳۹۱ انجام شد. اطلاعاتی مانند رقم سیب‌زمینی، عملکرد، تناوب زراعی و برنامهٔ کودی برای هر نمونه گردآوری شد. بررسی‌های آزمایشگاهی شامل درصد استقرار یا کلنیزاسیون ریشه با قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار، آلودگی ریشه با درون‌رست (اندوفیت)های دیواره تیره، جمعیت اسپور، EC، pH و بافت خاک روی ۳۱ نمونه خاک و ریشه انجام شد. نتایج نشان داد بین درصد استقرار قارچ‌ریشه‌ها و جمعیت اسپوری خاک با عملکرد سیب‌زمینی ارتباط مستقیم وجود دارد. به‌طورکلی نظام تک‌کشتی و تناوب با گیاهان میزبان مناسب قارچ‌ریشه به‌ویژه خانواده لگومینوز باعث بهبود استقرار قارچ‌ریشه‌هایی شد. همچنین پیشینهٔ کشت، نوع کوددهی و ریزموجودات (میکروارگانیسم‌های) خاک، کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ها را تحت تأثیر قرار دادند.

کلیدواژگان: سیب‌زمینی، فراوانی اسپور، قارچ‌ریشه آربوسکولار، کلنیزاسیون.

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از محصولات مهم و با ارزش کشاورزی است که قسمت عمده‌ای از نیازهای غذایی بشر را تأمین می‌کند. ایران سومین تولیدکنندهٔ این محصول در آسیا بوده و میانگین میزان عملکرد آن در کشور ۲۷۷۱۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (Anonymous 2010). قارچ‌ریشه‌ها (میکوریز) جزء اصلی فلور ریزوسفر هستند که با ریشهٔ اغلب گیاهان زراعی و بیشتر نهاندانگان رابطهٔ همزیستی برقرار می‌کنند (Srivastava and Basu 1995). برقراری ارتباط همزیستی بین ریشهٔ گیاهان و قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار، به‌طورمعمول باعث افزایش رشد گیاه با سازوکارهای مختلف از جمله بهبود جذب آب، فسفر و دیگر عناصر کانی کم‌تحرک مانند روی، مس، کلسیم، منیزیم، منگنز و آهن می‌شود (Karimi *et al.* 2005). اسیدیتهٔ خاک، میزان عناصر غذایی و اثر متقابل

* تلفن: ۰۳۴۳۱۳۱۲۰۱۸
E-mail: sedaghatiebrahim@yahoo.com

قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار با دیگر ریزموجودها، الگوی کلنیزاسیون این گروه قارچی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Smith and Read 2010).

در گیاهانی مانند سیب‌زمینی که تراکم ریشه کم و قابلیت (پتانسیل) رشد، بالا است، همزیستی قارچ‌ریشه‌ایی اهمیت ویژه‌ای در مقابله با تنش کمبود فسفر در بوم‌سازگان (اکوسیستم)های طبیعی دارد (Schwab *et al.* 1991). عامل‌های مختلف زنده و غیرزنده مانند قارچ‌های درون‌رست (اندوفیت) دیواره تیره (DSE)[1]، تناوب، کودهای مصرفی، رقم سیب‌زمینی، شوری، اسیدیته و بافت خاک می‌تواند همزیستی قارچ‌ریشه‌ایی را تحت تأثیر قرار دهند. برای مثال، تناوب حبوبات نسبت به کشت متوالی غلات باعث افزایش سطوح نیتروژن کانی خاک (حاصل از تجزیهٔ ریشهٔ حبوبات و گره‌های ریزوبیومی) می‌شود که رشد و توسعهٔ اولیهٔ ریشه و در نتیجه استقرار قارچ‌ریشه‌ایی را افزایش می‌دهد (Bagayoko *et al.* 2000).

قارچ‌ریشه‌ها با ترشح اسیدهای آلی و تجزیهٔ آن‌ها توسط دیگر موجودها باعث افزایش CO_2 می‌شوند و CO_2 حاصله از طریق کاهش pH در خاک‌های قلیایی، مقدار بیشتری فسفر از ترکیبات غیر محلول جدا کرده و به مصرف گیاه می‌رساند (Rejali *et al.* 2013). پاسخ قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار به pH در درجهٔ اول به گونهٔ قارچ بستگی دارد. بعضی گونه‌های قارچ‌ریشهٔ آربوسکولار در خاک‌های با pH پایین فعالیت دارند درحالی‌که گونه‌های دیگر، در pH بالا رابطهٔ قارچ‌ریشه‌ایی تشکیل می‌دهند (Clark 1997, Entry *et al.* 2002). بسیاری از گیاهان هنگامی‌که نیاز گیاه به فسفر بسیار بیشتر از ظرفیت عرضهٔ فسفر در ریشه است، با قارچ‌ریشه همیاری دارند. درصد همزیستی و کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی در سویا در شرایط کمبود فسفر افزایش می‌یابد (Tinker 1978). بررسی نشان داده است میزان استقرار قارچ‌ریشه‌ایی با میزان نیاز گیاه به مواد غذایی همبستگی دارد. به‌عنوان‌مثال استقرار گندم در فصل رویشی کم است و پس از آغاز مرحلهٔ تولیدمثلی گندم و افزایش نیاز به مواد غذایی افزایش می‌یابد (An *et al.* 1993).

درون‌رست‌های دیوارهٔ تیرهٔ ریشه رنگ‌دانه‌های تیره و میسیلیوم دیواره‌دار دارند که به‌طورمعمول ساختارهایی همسان ریزسختینه (میکرواسکلروت) درون یاختهٔ گیاهی تشکیل می‌دهند. این قارچ‌ها دامنهٔ ارتباطی متنوعی با ریشهٔ گیاهان از آنتاگونیسم تا همزیستی دارند که به سویهٔ (استرین) درون‌رست و گونهٔ گیاه میزبان بستگی دارد. بافت‌های میزبان درون‌رست‌های دیوارهٔ تیره با قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار مشترک است و هر دو کورتکس ریشه را کلنیزه می‌کنند. ترشحات تولیدشده به‌وسیلهٔ درون‌رست‌ها ممکن است بر رشد قارچ‌ریشه اثر بازدارندگی یا تحریک‌کنندگی داشته باشد (Scervino *et al.* 2009).

با توجه به افزایش اهمیت نظام‌های کشاورزی پایدار در سال‌های اخیر و نقش ویژهٔ قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در بهبود رشد، تحمل تنش‌های محیطی غیرزنده و زنده و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، این پژوهش به منظور بررسی تأثیر برخی عامل‌های زیست‌بوم‌شناختی (بیواکولوژیکی)، تغذیه‌ای و ویژگی‌های خاک بر همزیستی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار با سیب‌زمینی و اثر کلی آن‌ها در عملکرد سیب‌زمینی در شرایط طبیعی کشتزار در شمال استان آذربایجان غربی به‌عنوان یکی از مناطق مهم تولید سیب‌زمینی، انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در شهریور ۱۳۹۱ از مزارع سیب‌زمینی استان آذربایجان غربی در شهرستان‌های خوی، چالدران و شوط انجام شد. نمونه‌برداری به‌طور تصادفی از چند نقطه متناسب با مساحت کشتزار، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک انجام گرفت. نمونه‌های خاک گردآوری‌شده از هر کشتزار با هم مخلوط شده و یک نمونهٔ مرکب ۲ کیلوگرمی شامل خاک و ریشه‌های نازک تهیه شد. در مجموع ۳۱ نمونه گردآوری و اطلاعات مربوط به دورهٔ تناوب گیاهان، میزان و نوع کودهای شیمیایی و آلی مصرف‌شده، رقم سیب‌زمینی و عملکرد از کشاورزان دریافت شد (جدول ۱). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، مقداری از ریشه‌های نازک به منظور رنگ‌آمیزی ریشه جدا شد و باقیماندهٔ ریشه‌ها و خاک پس از خشک شدن در برابر جریان هوا خشک، تا هنگام آزمایش در شرایط خنک نگهداری شدند.

1. Dark Septate Endophytes

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های استفاده‌شده در پژوهش

Table 1. Samples characteristics used in this study

Sample	Location	pH	EC	Soil texture	Crop rotation	Cultivar	Applied fertilizers	Yield (t/h)
1	Khoy	8.22	0.09	Sandy loam	Squash–Wheat–Potato	Desiree	No fertilizer	-
2	Khoy	8.32	0.07	Loam	Squash–Sunflower–Potato	Desiree	No fertilizer	20
3	Khoy	7.37	1.24	Loam	Squash–Potato	Agria	Complete fertilizer-Urea-Superphosphate-Potash-Poultry manure	35
4	Khoy	8.22	0.07	Loam	Squash–Potato	Agria	Complete fertilizer-Urea-Superphosphate-Potash-Poultry manure	35
5	Khoy	8.17	2.32	Sandy loam	Squash–Potato	Agria	Complete fertilizer-Urea-Superphosphate-Potash-Poultry manure	35
6	Khoy	8	3.66	Loam	Squash–Potato	Agria	Complete fertilizer-Urea-Superphosphate-Potash-Poultry manure	35
7	Khoy	8.36	0.09	Silt loam	Squash–Potato	Marfona	Manure	25
8	Khoy	8.14	1.7	Loam	Squash–Potato	Marfona	Manure	25
9	Khoy	8.15	1.52	Sandy loam	Alfalfa-Squash–Potato	Desiree	Manure	20
10	Khoy	8.12	1.42	Sandy loam	Squash–Potato	Agria	Manure	20
11	Khoy	8.15	1.73	Loam	Sunflower–Potato	Agria	Manure	50
12	Khoy	8.15	0.05	Loam	Sunflower–Potato	Agria	Manure	20
13	Khoy	8.33	0.06	Loam	Squash–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	15
14	Khoy	8.29	1.26	Sandy loam	Wheat–Squash–Potato	Desiree	Urea-Superphosphate	15
15	Khoy	8.11	1.26	Loam	Alfalfa -Barley–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	15
16	Khoy	8.08	2.38	Sandy loam	Squash–Wheat–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	15
17	Khoy	8.13	1.6	Sandy loam	Alfalfa -Barley–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	15
18	Showt	8.28	1.13	Loam	Squash–Potato	Agria	Manure	35
19	Showt	8.25	1.4	Silt loam	Wheat– Alfalfa – Potato	Agria	Manure	30
20	Showt	8.22	1.58	Silt loam	Potato–Squash–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	30
21	Showt	8.19	1.59	Silt loam	Squash–Potato–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	30
22	Showt	8.36	0.09	Silt loam	Potato-Alfalfa	Agria	Manure	30
23	Showt	8.3	0.09	Silt loam	Alfalfa-Potato–Potato	Agria	Manure	30
24	Showt	8.25	0.09	Loam	Squash–Squash–Potato	Desiree	Urea-Manure	30
25	Chaldoran	7.98	0.06	Sandy	Fallow-Potato–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	35
26	Chaldoran	8.2	0.09	Sandy loam	Barley-Potato	Agria	Manure-Urea-Superphosphate	40
27	Chaldoran	8.19	0.09	Sandy loam	Barley-Potato	Agria	Urea-Superphosphate	40
28	Chaldoran	7.96	1.59	Sandy loam	Alfalfa-Potato	Agria	Free fertilizer	40
29	Chaldoran	8.3	1.79	Sandy loam	Alfalfa-Potato	Agria	Urea-Superphosphate	20
30	Chaldoran	8.11	1.27	Sandy loam	Wheat–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	27
31	Chaldoran	8.15	1.32	Sandy loam	Wheat–Potato	Agria	Urea-Superphosphate	27

بررسی همزیستی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار با ریشهٔ سیب‌زمینی

نگهداری و رنگ‌آمیزی ریشه‌ها

ریشه‌های نازک جداشده از خاک تا زمان رنگ‌آمیزی در محلول فرمالین- اسید استیک و گلیسیرین نگهداری شدند (Mukerji *et al.* 2002). به منظور تعیین درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ای و آلودگی DSE، رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در محلول لاکتوگلیسرول بلو بر اساس روش فیلیپس و هایمن با اندکی تغییرات انجام شد (Philips and Hyman 1970). درآغاز ریشه‌ها به خوبی با آب

شستشو داده و به قطعه‌های ۱ تا ۲ سانتی‌متری برش داده شدند. ریشه‌ها به منظور شفاف‌سازی، در محلول هیدروکسید پتاسیم (KOH) ۱۰ درصد به مدت ۴-۳ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. در طول این مدت محلول هیدروکسید پتاسیم تازه با محلول ریشه‌هایی که تیره شده بود، عوض شد. پس از سپری شدن زمان لازم، ریشه‌ها دست‌کم سه بار با آب مقطر شستشو داده شدند تا هیدروکسید پتاسیم به خوبی از ریشه‌ها خارج شود. سپس ریشه‌ها به مدت ۵-۳ دقیقه در محلول اسیدکلریدریک (HCl) ۲۰ درصد قرار گرفتند تا حالت اسیدی به خود بگیرند. در مرحلهٔ بعد ریشه‌ها بدون شستشو در محلول رنگی تریپان بلو ۰/۰۲۵ درصد به مدت ۴-۳ ساعت قرار داده شدند. در مرحلهٔ آخر، به‌منظور رنگ‌بری از محلول لاکتوگلیسرول استفاده شد. پس‌ازاین مرحله بافت ریشه‌ها رنگ خود را از دست داده و اندام‌های قارچی به رنگ آبی قابل مشاهده بودند. برای تهیهٔ اسلاید دائمی، از محلول لاکتوگلیسرول یا PVLG استفاده شد و سپس زیر میکروسکوپ نوری بررسی شدند.

تعیین درصد کلنیزاسیون

برای تعیین دقیق کلنیزاسیون ریشه‌ها از روش بیرمان و لیندرمان استفاده شد (Biermann and Linderman 1981). به‌این‌ترتیب که در آغاز ریشه‌ها را به قطعه‌های ۱ سانتی‌متری تقسیم و سپس رنگ‌آمیزی شدند. از هر نمونه خاک سی قطعه ریشه به‌طور تصادفی انتخاب و از آن‌ها سه لام دائمی تهیه شد. سپس زیر میکروسکوپ نوری درصد کلنیزاسیون هرکدام از لام‌ها تعیین و میانگین کل به عنوان درصد کلنیزاسیون نمونه به دست آمد. مشاهدهٔ آربوسکول، وزیکل، هیف‌های پیچیده و ریسه‌های قارچ‌ریشه‌ایی به عنوان معیار تعیین درصد کلنیزاسیون در نظر گرفته شد. هم‌زمان با تعیین درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی، میزان آلودگی ریشه‌ها با قارچ‌های DSE نیز بررسی شد.

شمارش اسپور در هر گرم خاک

برای به‌دست آوردن جمعیت اسپورهای موجود در خاک، با استفاده از روش الک مرطوب گردمان و نیکلسون بدون استفاده از محلول شکر و سانتریفوژ، اسپورهای ۱ گرم از خاک کشتزار جداسازی شدند. دروایه (سوسپانسیون) اسپورها به کاغذ صافی مدرج منتقل شد و شمارش اسپورها در پنج تکرار جداگانه زیر استریومیکروسکوپ انجام شد. سپس میانگین تکرارها برای هر نمونه به عنوان جمعیت اسپوری آن محاسبه شد (Gerdemann and Nicolson 1963).

تعیین EC، pH و بافت خاک

پس از هوا خشک کردن نمونه‌های برداشت‌شده و عبور آن‌ها از الک ۲ میلی‌متری، pH خاک با دستگاه pH متر بر پایهٔ روش ریچارد و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) با روش چاپمن اندازه‌گیری شد. تعیین بافت خاک به روش آب‌سنجی (هیدرومتری) صورت گرفت (Klute 1986 ,Richards 1954, Chapman 1965).

تجزیه‌وتحلیل آماری

میانگین شمار اسپور در گرم خاک و درصد استقرار قارچ‌ریشه‌ای ریشه‌ها برای هر نمونه خاک محاسبه شد. داده‌های به‌دست‌آمده بر اساس نوع برنامهٔ کوددهی، اسیدیته، EC، بافت خاک، عملکرد و رقم (تناوب زراعی) با استفاده از طرح کامل تصادفی نامتعادل و رویهٔ GLM انجام شد. تجزیهٔ آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری ۵ درصد محاسبه شد.

نتایج

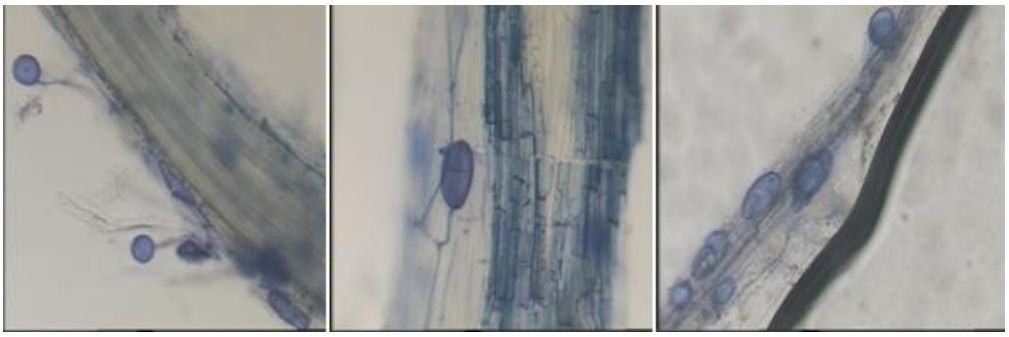
در همهٔ نمونه‌های خاک و ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده اندام‌های قارچی (آربوسکول، اسپور، وزیکل یا یاخته‌های همراه) مشاهده شد که بیانگر برقراری ارتباط همزیستی ریشه‌های سیب‌زمینی با انواع قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار است (جدول ۲ و شکل ۱). درصد کلنیزاسیون ریشه با قارچ‌ریشهٔ آربوسکولار از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود. کمترین میزان کلنیزاسیون در نمونه‌های ۱ و ۱۱ و بیشترین در نمونه‌های ۶ و ۲۴ تعیین شد. میانگین درصد کلنیزاسیون ریشه در شهرستان‌های شوط، چالدران و خوی به ترتیب ۷۱/۷۲، ۶۴/۴۲ و ۴۹/۱

درصد محاسبه شد. درصد کلنیزاسیون با قارچ‌های DSE نیز ۹۰-۰ درصد متغیر بود (شکل ۲). میانگین شمار اسپور در هر گرم خاک مزارع سیب‌زمینی از ۱۰ تا ۱۲۸ متغیر بود. بیشترین شمار اسپور در نمونهٔ ۶ و کمترین در نمونهٔ ۱۳ شمارش شد. میانگین شمار اسپور در هر گرم خاک در شهرستان‌های شوط، چالدران و خوی به ترتیب ۷۵/۸۴، ۶۱/۸۳ و ۴۶/۱ بود (جدول ۳). نتایج اندازه‌گیری pH، EC و بافت خاک نشان داد که محدودهٔ pH از ۸/۳۶-۷/۳۷ و EC از ۳/۶۶-۰/۵دسی زیمنس بر متر متغیر بود. بافت خاک‌های مختلف نیز لوم، سیلت لوم، لومی شنی، شنی لوم و شنی تعیین شد و بیشتر خاک‌ها بافت لوم یا شنی لوم داشتند (جدول ۱).

جدول ۲. نتایج مربوط به بررسی‌های آزمایشگاهی در نمونه‌های موردبررسی

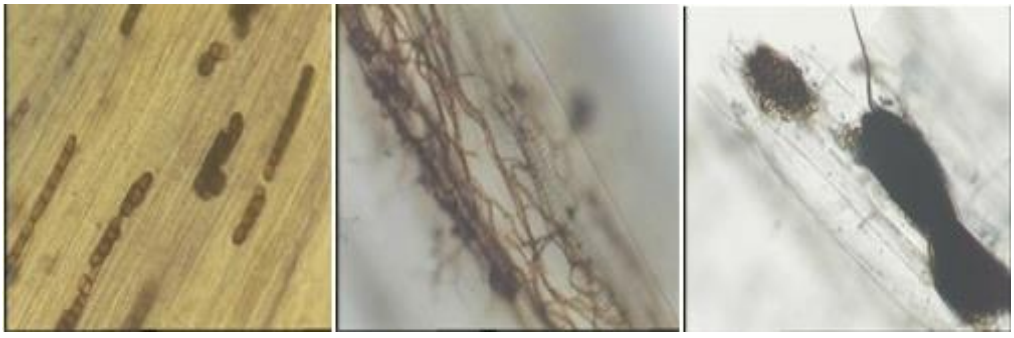
Table 2. The results of laboratory tests in studied samples

Sample	Location	Spore (g/ds)	DSE colonization (%)	Root colonization (%)	Sample	Location	Spore (g/ds)	DSE colonization (%)	Root colonization (%)
1	Khoy	8.22	60	11	17	Khoy	44	90	30
2	Khoy	8.32	30	58	18	Showt	100	10	76
3	Khoy	7.37	20	71	19	Showt	101	0	75
4	Khoy	8.22	25	67	20	Showt	48	80	18
5	Khoy	8.17	30	56	21	Showt	83	50	45
6	Khoy	8	0	100	22	Showt	101	0	99
7	Khoy	8.36	5	89	23	Showt	63	0	90
8	Khoy	8.14	20	65	24	Showt	34	50	100
9	Khoy	8.15	20	36	25	Chaldoran	39	10	80
10	Khoy	8.12	60	23	26	Chaldoran	67	50	79
11	Khoy	8.15	10	59	27	Chaldoran	49	44	74
12	Khoy	8.15	10	35	28	Chaldoran	66	25	98
13	Khoy	8.33	90	11	29	Chaldoran	91	80	16
14	Khoy	8.29	11	73	30	Chaldoran	36	80	24
15	Khoy	8.11	0	28	31	Chaldoran	86	80	81
16	Khoy	8.08	0	23	-	-	-	-	-



شکل ۱. اندام‌های قارچی قارچ‌ریشهٔ آربوسکولار در ریشه‌های رنگ‌آمیزی‌شدهٔ سیب‌زمینی

Figure 1. The Structures of arbuscular mycorrhizal fungi in potato stained roots

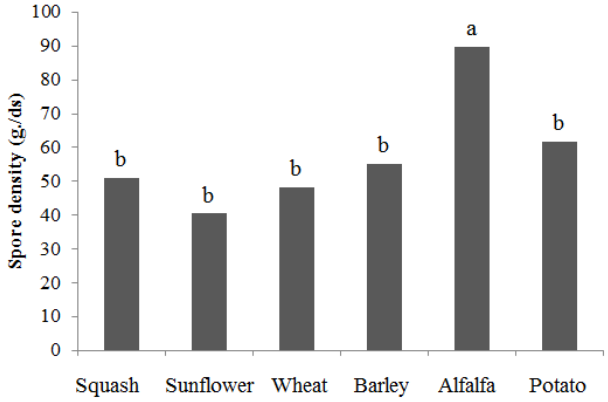


شکل ۲. آلودگی با درون‌رست‌های دیوارهٔ تیره در سطح و درون ریشه‌های سیب‌زمینی

Figure 2. Dark septate endophytes infection in surface and inside of potato roots

تأثیر تناوب زراعی بر جمعیت اسپور و میزان کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ای

بر اساس اطلاعات گردآوری‌شده از کشاورزان، وضعیت پیش از کشت کشتزارها به‌صورت آیش یا کشت گیاهان کدو، گندم، جو، یونجه و آفتابگردان بود (جدول ۱). میانگین جمعیت اسپور در هر گرم خاک و درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ای سیب‌زمینی در تناوب با این گیاهان در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد بهترین میزبان‌های تناوبی از دیدگاه همزیستی قارچ‌ریشه‌ایی به ترتیب یونجه و سیب‌زمینی هستند. شمار اسپور در پیش کشت یونجه اختلاف معنی‌داری با دیگر گیاهان زراعی داشت. در بین دیگر گیاهان زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما در سیب‌زمینی بیشترین و آفتابگردان کمترین شمار اسپور شمارش شد. بیشترین درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی در تناوب پیش کشت سیب‌زمینی و یونجه و کمترین آن در گندم تعیین شد. به جز گندم، دیگر گیاهان زراعی از این دیدگاه اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. در بیشتر نمونه‌هایی که پیشینهٔ کشت سیب‌زمینی بیش از دو سال است، درصد کلنیزاسیون بالای ۵۵ درصد بود. اما در نمونه‌هایی که پیشینهٔ کشت سیب‌زمینی یک یا دو سال بود، درصد کلنیزاسیون کمتر از ۳۶ درصد برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد کشت متوالی سیب‌زمینی در مقایسه با دیگر گیاهان زراعی، تأثیر بیشتری بر درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها داشته است (جدول‌های ۱ و ۲).

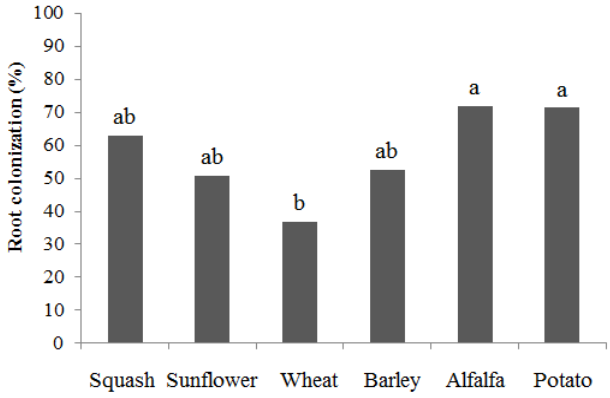


شکل ۳. تأثیر الگوی تناوب زراعی بر شمار اسپور در گرم خاک.

(ستون‌های دارای دست‌کم حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر پایهٔ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.)

Figure 3. The effect of crop rotation on spore density per gram of soil

(Columns with the same letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test.)



شکل ۴. تأثیر الگوی تناوب زراعی بر درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی

(ستون‌های دارای دست‌کم حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.)

Figure 4. The effect of crop rotation on mycorrhizal colonization (%)

(Columns with the same letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test.)

تأثیر رقم بر جمعیت اسپور در خاک و میزان کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی

رقم‌های سیب‌زمینی اگریا، دزیره و مارفونا بررسی شدند. میانگین شمار اسپور در رقم مارفونا، دزیره و اگریا به ترتیب ۲۲، ۴۳ و ۶۲/۴۶ در هر گرم خاک شمارش شد. نتایج نشان داد قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار پس از کشت رقم اگریا بیشترین و رقم مارفونا کمترین جمعیت اسپور را دارد. به‌طورکلی، هر سه رقم سیب‌زمینی میانگین کلنیزاسیون به نسبت بالایی دارند و در رقم دزیره ۵۵ (بدون محاسبهٔ تیمار با شدت بالای آلودگی به DSE)، مارفونا ۷۷ و اگریا ۵۶/۵۴ است (جدول‌های ۱ و ۲). نتایج نشان می‌دهد رقم‌های دزیره و اگریا از لحاظ درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی نزدیک به همدیگر هستند اما رقم مارفونا وابستگی قارچ ریشه‌ای بیشتری نسبت به دو رقم دیگر دارد.

تأثیر برنامهٔ کودی بر جمعیت اسپور قارچ‌ریشه‌ها در خاک و میزان کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی

در کشتزارهای موردبررسی، کودهای استفاده‌شده شامل اوره، سوپر فسفات، کود دامی، کود مرغی و پتاس بودند. میانگین جمعیت اسپور در برنامهٔ کودی اوره و سوپر فسفات ۵۰/۳۶، کود دامی ۵۹/۹۸، کود کامل- اوره-سوپر فسفات-پتاس، کود مرغی ۷۳/۳ و بدون کوددهی ۴۹/۷۳ بود (جدول‌های ۱ و ۲). نتایج نشان داد که استفاده از کودهای ارگانیک باعث افزایش جمعیت اسپوری نسبت به بدون کاربرد کود می‌شود. از این دیدگاه، استفاده از برنامهٔ کود حیوانی و کامل بیشترین افزایش در جمعیت اسپوری دارد و کاربرد اختصاصی کود حیوانی یا شیمیایی به تنهایی در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند. کاربرد کودهای فسفره به تنهایی با اختلاف کمی پس از نمونه‌های بدون کود بیشترین تأثیر منفی بر جمعیت اسپوری دارند.

میانگین درصد کلنیزاسیون در کودهای اوره و سوپر فسفات ۴۰/۹۱، بدون کوددهی ۵۵، کود دامی ۶۴/۶۶ و اوره، سوپر فسفات، کود کامل، کود مرغی و پتاس ۷۳/۳۳ است (جدول ۳). کمترین درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی در کشتزارهایی که کود شیمیایی به‌ویژه کودهای حاوی فسفات مانند سوپر فسفات استفاده‌شده و بیشترین میزان در کشتزارهایی که هم‌زمان میزان متعادلی از کود شیمیایی و کود آلی استفاده و مشاهده شد. اضافه کردن کودهای آلی به‌صورت مستقل یا مخلوط با کودهای شیمیایی باعث افزایش کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی شده است (جدول‌های ۱ و ۲).

تأثیر EC، pH و بافت خاک بر جمعیت اسپور در خاک و درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی

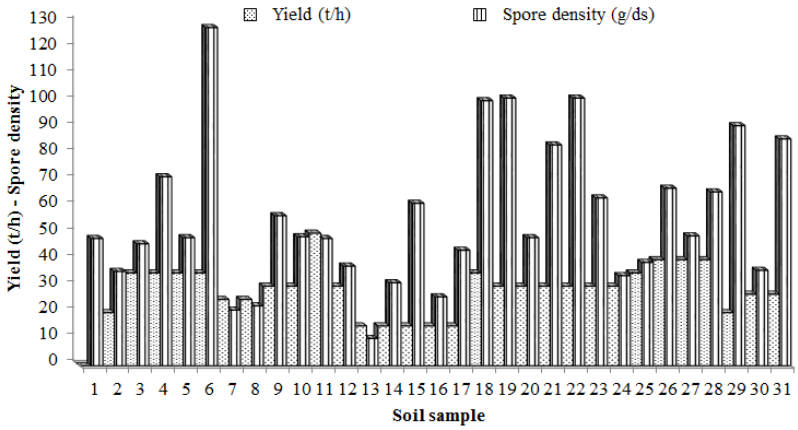
در نمونه‌های خاک کشتزارهای سیب‌زمینی EC و pH به ترتیب در محدوده ۳/۶۶-۰/۵ و ۸/۳۶-۷/۳۷ تعیین شد. میانگین جمعیت اسپور در گرم خاک در pH، ۷/۵-۷، ۸-۷/۵ و ۸/۵-۸ به ترتیب ۴۶، ۵۲ و ۵۴ و EC، ۱>، ۲-۱ و ۳-۲ به ترتیب ۶۱، ۴۸ و ۳۷ اسپور در گرم خاک شمارش شد. نتایج نشان می‌دهد محدودهٔ pH و EC در کشتزارهای سیب‌زمینی موردبررسی در دامنهٔ مناسب برای فعالیت قارچ‌ریشه‌ایی و رشد سیب‌زمینی قرار دارد. به‌رغم اینکه pH و EC می‌توانند بر فعالیت قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار مؤثر باشند، در این بررسی نقش تعیین‌کننده و مشخصی نداشته‌اند. میانگین اسپور در گرم بافت خاک‌های شنی ۳۹، لوم ۵۴/۳، شنی لوم ۵۸، لوم شنی ۶۵/۶ و سیلت لوم ۶۹/۶۵ اسپور بود. این نتایج نشان می‌دهد مناسب‌ترین بافت خاک برای فعالیت قارچ‌ریشه‌ای، سیلت لوم است. بافت خاک همانند pH و EC در مناطق موردبررسی نیز در محدودهٔ مناسب برای سیب‌زمینی و قارچ‌ریشه است (جدول‌های ۱ و ۲).

میانگین درصد کلنیزاسیون در محدودهٔ هدایت‌های الکتریکی EC<۱، ۲-۱، ۳-۲ و ۴-۳ به ترتیب برابر با ۷۰/۹۷، ۴۸/۷۲، ۳۹/۳۸ و ۱۰۰ و برای اسیدیته‌های ۷/۵-۷، ۸-۷/۵و ۸/۵-۸ به ترتیب برابر با ۷۱، ۹۰ و ۵۰/۵۸ بود. این نتایج نشان می‌دهد بین EC (در محدودهٔ ۴-۱)، pH (در محدودهٔ ۸/۵-۷) و درصد کلنیزاسیون ارتباطی وجود ندارد. میانگین درصد کلنیزاسیون در بافت‌های خاک مختلف به‌صورت زیر بود: بافت شنی لوم ۷۲/ ۴۳، لوم ۶۰/۸۵، سیلت لوم ۶۹/۲۹. بافت سیلت لوم بهترین بافت خاک برای کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی سیب‌زمینی است (جدول‌های ۱ و ۲).

تأثیر جمعیت اسپور قارچ‌ریشه‌ها در خاک و میزان استقرار بر عملکرد سیب‌زمینی

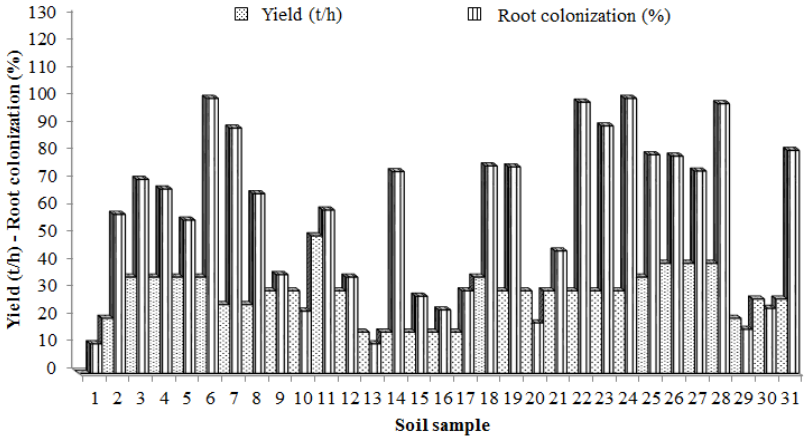
نتایج این تحقیق نشان داد در بیشتر نمونه‌ها بین

جمعیت اسپور و میزان محصول تولیدشده ارتباط مستقیم وجود دارد (جدول ۲ و شکل ۵)، اما در بعضی از نمونه‌ها ازجمله نمونه‌های ۱۵، ۱۷ و ۲۹ رابطهٔ مشخصی بین این دو عامل وجود ندارد. در این نمونه‌ها جمعیت اسپور بالاست اما عملکرد پایین است. در شرایط کشتزار و طبیعی، شمار اسپور می‌تواند نشانگر وجود و فراوانی قارچ‌ریشه باشد، اما برای تعیین کارایی آن‌ها عامل‌های دیگری مانند میزان کود مصرف‌شده، رقم گیاه و دیگر موجودهای خاک نیز مؤثر است.



شکل ۵. ارتباط بین جمعیت اسپور با میزان محصول در کشتزارهای کشت سیب‌زمینی
Figure 5. The relationship between spore density with yield in potato fields

بررسی ارتباط بین میانگین درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی ریشه‌های سیب‌زمینی در کشتزارهای مختلف و میزان محصول تولیدشده در آن کشتزارها، نشان‌دهندهٔ ارتباط مثبت بین این دو عامل است. در کشتزارهای با میانگین درصد کلنیزاسیون ریشه ۳۵-۱۵، ۵۵-۳۵ و ۹۸-۵۵ درصد میانگین میزان تولید محصول به ترتیب ۲۰/۲۵، ۲۸/۳۳ و ۳۲/۲۱ تن در هکتار بوده است (شکل ۶).

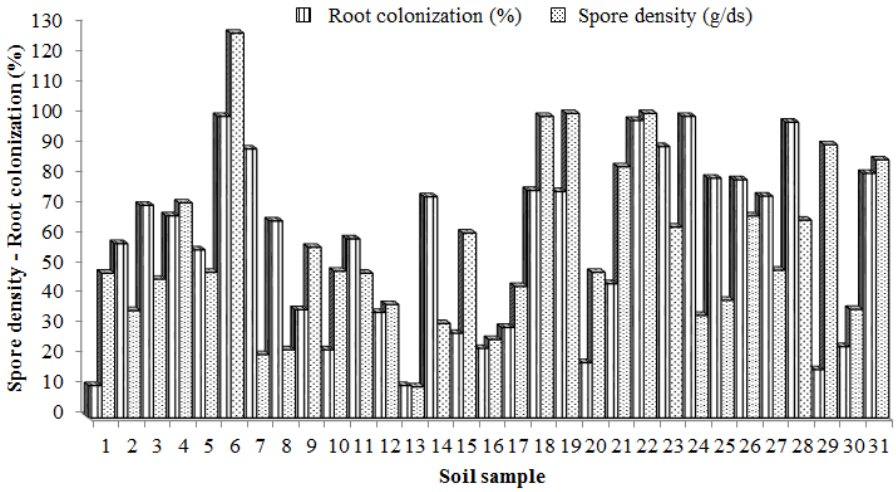


شکل ۶. ارتباط بین درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ای با میزان محصول در کشتزارهای کشت سیب‌زمینی
Figure 6. The relationship between mycorrhizal colonization (%) with yield in potato fields

ارتباط جمعیت اسپور و درصد کلنیزاسیون ریشه

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که در ۶۱/۳ درصد نمونه‌های خاک بین شمار اسپور در خاک و درصد کلنیزاسیون ریشه ارتباط مستقیم وجود دارد و با افزایش شمار اسپور، درصد کلنیزاسیون نیز افزایش می‌یابد. اما در نمونه‌های ۳۸/۷ درصد نمونه‌ها (نمونه‌های ۱، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴،۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۲۵ و ۲۹) بین شمار اسپور و درصد کلنیزاسیون ارتباط مستقیم وجود ندارد. در نمونه‌های ۱،

۹، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۱ و ۲۹ شمار اسپور خاک نسبت به کلنیزاسیون ریشه خیلی بیشتر است. به‌عبارت‌دیگر، اسپور در خاک وجود دارد اما به دلایلی ریشه را به خوبی کلنیزه نمی‌کند. در نمونه‌های ۱ و ۱۵، سیب‌زمینی نخستین بار کشت شده و جمعیت گونه‌هایی از قارچ‌ریشه که سیب‌زمینی را ترجیح می‌دهند، اندک بوده و درصد کلنیزاسیون ریشه پایین است. در نمونه‌های ۲۰، ۲۱ و ۲۹ ممکن است آلودگی ریشه با قارچ‌های DES روی درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی تأثیر داشته باشد، زیرا ریشه‌های نمونه‌های ۲۰ و ۲۹ حدود ۸۰ درصد و نمونهٔ ۲۱ حدود ۵۰ درصد به قارچ‌های DSE آلوده بودند. در نمونه‌های ۷، ۸، ۲۴ و ۲۵ درصد آلودگی نسبت به شمار اسپور بیشتر است. در نمونه‌های ۷ و ۸ که رقم مارفونا کشت شده بود، ممکن است رقم تأثیر داشته باشد. نمونه‌های ۲۴ و ۲۵ کشت متوالی سیب‌زمینی ممکن است در افزایش کلنیزاسیون نسبت به جمعیت اسپور نقش بیشتری داشته باشد. در حقیقت در این شرایط زادمایهٔ اصلی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار قطعه‌های ریشه‌ای یا ریسه‌ای هستند.



شکل ۷. ارتباط شمار اسپور و درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی

Figure 7. The relationship between spore density and mycorrhizal colonization (%)

بحث

سیب‌زمینی از جمله گیاهان میزبان قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار است که قابلیت کمی در جذب فسفر دارد (McArthur and Knowles 1993). استفاده از کودهای شیمیایی و آلی، کشت سیب‌زمینی در تناوب با گیاهانی که همزیستی ریزوبیومی دارند، مایه‌زنی با قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار به‌صورت مصنوعی یا فراهم کردن شرایط طبیعی به منظور بهبود فعالیت این قارچ‌ها در طبیعت از جمله راهکارهای افزایش عملکرد این محصول است (Schwab 1991). سیب‌زمینی هم مانند بیشتر گیاهان، از یک تناوب کارآمد سود می‌برد و کشت آن پس از گیاهانی مانند شبدر قرمز، یونجه، شبدر شیرین، ماش یا انواع لوبیا بهترین حالت تناوب است. نتایج این پژوهش نشان داد کشت متناوب سیب‌زمینی یا تناوب آن با یونجه باعث افزایش جمعیت اسپوری و درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی می‌شود. یونجه از گیاهان خانوادهٔ بقولات بوده و با باکتری ریزوبیوم همزیستی برقرار می‌کند. این باکتری با فعالیت هم‌افزایی با قارچ‌ریشه بر فرآیندهای جوانه‌زنی اسپور، رشد میسلیوم و گسترش قارچ‌ریشه با تولید مواد فرّار و هورمون‌های گیاهی از جمله اتیلن و اکسین تأثیر می‌گذارند. همچنین کشت یونجه موجب بالا رفتن نیتروژن خاک می‌شود و در اوایل رشد گیاه باعث گسترش ریشه‌های ظریف و مناسب برای کلنیزاسیون همزیستی قارچ‌ریشه‌ایی، افزایش رشد رویشی و جریان کربن در ریشه و گسترش شبکهٔ ریسهٔ (هیفی) قارچ‌ریشه در اطراف ریشه می‌شود (Jeffries *et al.* 2003). در این پژوهش، کشت متوالی سیب‌زمینی باعث افزایش فعالیت گونه‌های سازگار قارچ‌ریشه با سیب‌زمینی و افزایش جمعیت قارچ‌ریشه با توجه به نیاز بالای سیب‌زمینی به

مواد کانی، آب و در نتیجه همزیستی قارچ‌ریشه‌ایی شد. صدروی نیز نشان داد تناوب با گیاهان میزبان مناسب باعث ثبات یا افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش محصول خواهد شد. بدین‌صورت که تناوب گندم پس از ذرت، آفتابگردان و کنجد بیشتر از سویا و پنبه به حفظ یا افزایش جمعیت قارچ‌ریشهٔ آربوسکولار در خاک کمک می‌کند (Sadravi 2006). مونرال و همکاران در بررسی اثر تناوب بر میزان اسپور و کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی نشان دادند که در کشت کتان پس از گندم و کلزا به ترتیب جمعیت اسپوری و کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی و میزان ریشه‌های فرعی افزایش و کاهش می‌یابد (Moneral *et al.* 2010).

طول میانگین دورهٔ رسیدگی در مارفونا ۱۲۰-۹۰ روز و در دو رقم دیگر ۱۸۰-۱۵۰ روز است. افزون بر آن ریشه‌های مارفونا در عمق کمتری تشکیل می‌شوند. در رقم مارفونا میانگین عملکرد، اندازهٔ غده و درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ای بالاتر بود و پایین‌تر بودن شمار اسپور در هر گرم خاک با توجه به اینکه این رقم زودرس است، طبیعی به نظر می‌رسد (Anonymous 2015). در طول دورهٔ رشد سیب‌زمینی رقم مارفونا، قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار فرصت کافی برای توسعه و رشد ریسه دارند اما اسپورزایی انجام نمی‌شود یا بسیار کم خواهد بود. در دو رقم دیگر با توجه به دیررس بودن فرصت کافی و مناسب برای اسپورزایی بیشتر گونه‌های رایج قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار وجود دارد. ازاین‌رو در کشتزارهایی که این گونه‌ها کشت شده‌اند، اسپور بیشتری تشکیل شده است. بنابراین، رقم‌هایی که محصول بیشتری دارند و زودتر بالغ می‌شوند، کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی بالاتری دارند (Lebron *et al.* 2012). سازگاری برخی گونه‌های قارچ‌ریشه و رقم‌های میزبان، ژنوتیپ میزبان، ساختار و کمیّت ریشه و توانایی متفاوت رقم‌های یک میزبان در جذب فسفر بر درصد کلنیزاسیون، اسپورزایی و ساختار جمعیت قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار تأثیر دارد (Mukerji 1996). لبارون و همکاران نشان دادند رقم‌های مختلف قهوه بر میزان گسترش ریسه‌های قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار اثر معنی‌دار می‌گذارند (Lebron *et al.* 2012). نتایج بررسی تأثیر ۱۳ رقم گندم نشان داد که وابستگی قارچ‌ریشه‌ایی بین رقم‌های مختلف متفاوت است. در هر رقم نسبت وزن خشک اندام‌های هوایی به ریشه می‌تواند یک شاخص در وابستگی قارچ‌ریشه‌ایی باشد. گیاهانی که این شاخص در آن‌ها بالاتر باشد، وابستگی قارچ‌ریشه‌ایی بیشتری دارند (Azcon and Ocampo 1981).

میزان مواد غذایی خاک به‌ویژه فسفر نیز بر فعالیت قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار تأثیر دارند و سطح بالای فسفر بافت‌های گیاهی بازدارندهٔ کلنیزاسیون می‌شود (Linderman and Daevis 2004). در خاک‌های طبیعی بین قارچ‌ریشه‌ها و گیاه میزبان سازگاری ایجاد می‌شود و افزودن کودهای شیمیایی باعث بر هم خوردن این سازگاری و تغییر فراوانی گونه‌ها و اندام‌های قارچ‌ریشه‌ایی می‌شود (Johnson 1993). از آنجایی که کودهای فسفره منجر به کاهش میزان کربوهیدرات‌های ترشحی از ریشه می‌شوند، جمعیت و فعالیت قارچ‌ریشه‌ایی به شدت کاهش می‌یابد. در گونه‌هایی مانند *Rhizophagus intraradices* که اسپورزایی درون ریشه‌ای دارند، بازدارندهٔ جریان کربوهیدرات به درون خاک شده و در نتیجه کمتر تحت تأثیر فسفر قرار می‌گیرند (Johnson 1993). در این پژوهش نیز کاربرد کودهای سوپر فسفات باعث کاهش میزان استقرار و جمعیت اسپوری شد. نکتهٔ مهم این است که در شرایط کاربرد کودهای فسفاته میزان استقرار حتی از شرایط بدون کود نیز پایین‌تر بود. قارچ‌ریشه‌ها در شرایط کوددهی، شمار کمتری ریسه و آربوسکول و شمار بیشتری وزیکل تولید می‌کنند. در نتیجه تأثیر کمتری بر میزبان خود از لحاظ جذب عناصر کانی از خاک دارند، درحالی‌که مواد غذایی بیشتری دریافت می‌کنند (Johnson 1993). نتایج این پژوهش نیز نشان داد که کاربرد متعادل و همراه کودهای ازته و پتاس باعث افزایش کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ایی شده است. استفادهٔ هم‌زمان از کودهای آلی و قارچ‌ریشه باعث افزایش رشد ریشه می‌شود ولی کاربرد هم‌زمان کودهای غیر آلی و قارچ‌ریشه رشد ریشه را افزایش نمی‌دهد (Linderman and Daevis 2004).

میانگین وزن غده سیب‌زمینی در تیمارهای قارچ‌ریشه‌ایی نسبت به شاهد افزایش می‌یابد و این تفاوت بین گونه‌های مختلف نیز مشاهده می‌شود (McArthur and Knowles 1993). از لحاظ روابط

میزبان-قارچ‌ریشه نیز مشخص شده است که بیشتر گونه‌های جنس *Glomus* باعث افزایش عملکرد سیب‌زمینی می‌شوند ولی گونه‌های *Acaulospora* تأثیری بر عملکرد ندارند (Khaninejad *et al.* 2015). نتایج این پژوهش نیز نشان داد که در شرایط طبیعی کشتزارهای سیب‌زمینی میزان فعالیت و فراوانی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار با عملکرد رابطهٔ مستقیم دارد. کاهش درصد کلنیزاسیون قارچ‌ریشه‌ای در شماری از کشتزارهای موردبررسی، باعث کاهش شدید عملکرد شده بود که می‌تواند نشان‌دهندهٔ اهمیت قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در تولید محصول باشد.

کاربرد قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار در کشتزار به دلیل ماهیت همزیست اجباری بودن آن‌ها و مشکلات افزایش محدودیت‌هایی دارد ولی با روش‌هایی مانند اصلاح ساختمان خاک، تغییر عملیات زراعی و به کار بردن الگوی تناوب مناسب می‌توان جمعیت طبیعی قارچ‌ریشه‌های آربوسکولار و درنتیجه عملکرد محصول سیب‌زمینی را بهبود بخشید.

REFERENCES

An ZQ, Hendrix J, Hershman D, Ferriss R, Henson G (1993) The influence of crop rotation and soil fumigation on a mycorrhizal fungal community associated with soybean. Mycorrhiza 3: 171-182.

Anonymous (2010) FAO: Food composition database of potato varieties. http://www.fao.org/infoods/index_en.stm.

Anonymous (2015) Potato variety database. Varieties.ahdb.org.uk/varieties.

Azcon R, Ocampo JA (1981) Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. New Phytologist 87(4): 677-685.

Bagayoko M, Buerkert A, Lung G, Bationo A, Romheld V (2000) Cereal/legume rotation effects on cereal growth in Sudano-Sahelian West Africa: soil mineral nitrogen, mycorrhizae and nematodes. Plant and Soil 218: 103-116.

Biermann B, Linderman, RG (1981) Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. New Phytologist 87: 63-67.

Chapman HD (1965) Cation exchange capacity, *In*: Black CA (ed.), Methods of soil analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 891-900

Clark R (1997) Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. Plant and Soil 192(1): 15-22.

Entry JA, Rygiewicz PT, Watrud LS, Donnelly PK (2002) Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. Advances in Environmental Research 7: 123-138.

Gerdemann J, Nicolson TH (1963) Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society 46: 235-244.

Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, Turnau K, Barea JM (2003) The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biology and Fertility of Soils 37: 1-16.

Johnson NC (1993) Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae?. Ecological Applications 3(4): 749-757.

Karimi F, Zangeneh S, YousefZadi M, Zarre Mayvan H (2005) Recognition of arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) and root colonization percentage in Kharturan biospher reserve. Enviromental Sciences 10: 83-88. (In Persian).

Khaninejad S, Khzai HR, Nabati J, Kafi M (2015) Effect of mycorrhizal fungi species on yield of two potato cultivars under controlled conditions. Journal of Horticultural Science 28(2): 517-523. (In Persian).

Klute A (1986) Methods of soil analysis. Agron-Mongo ASA and SSSA, Madison. Edition 2^{ed}.

Lebron L, Lodge DJ, Bayman P (2012) Differences in arbuscular mycorrhizal fungi among three coffee cultivars in Puerto Rico. International Scholarly Research Network ISRN Agronomy 2012: 1-7.

Linderman RG, Daevis EA (2004) Evaluation of commercial inorganic and organic fertilizer effects on arbuscular mycorrhizae formed by *Glomus intraradices*. Hort Technology 14: 196-202.

McArthur DA, Knowles NR (1993) Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the response of potato to phosphorus deficiency. Plant Physiology 101: 147-160.

Moneral MA, Grant CA, Irvine RB, Mohr RM, Mclaren DL, Khakbazan M (2010) Crop management effect on arbuscular mycorrhizae and root growth of flax. Canadian Journal of Plant Science 91(2): 315-324.

Mukerji KG (1996) Handbook of vegetation science, concept in mycorrhiza research. Kluwer Academic Publishers, Dordrwct/ Boston/ London.

Mukerji KG, Manoharachary C, Chamola, B (2002) Techniques in mycorrhizal studies: Springer Science and Business Media.

Philips JM, Hyman DS (1970) Improved procerdures clearing root and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Mycological Research 55: 158-161**.**

Rejli F, Asadi H, Khavazi K, Asgharzade A, Esmaeilizad A (2013) Organic phosphorus biofertilisers and aolication of development in Iran. Field Management 2(2): 125-137. (in Persian)

Richards LA (1954) Diagnosis and improvement of saline-alkali soils. U.S.D.A. Handbook, 60. Washington, D.C., U.S.A.

Sadravi M (2006) Effect of crop rotation on population of mycorrhizal fungi of wheat. Agricultural Science and Natural Resource 13(2): 1-6. (in Persian)

Scervino J, Gottlieb A, Silvani V, Pergola M, Fernandez L, Godeas A (2009) Exudates of dark septate endophyte (DSE) modulate the development of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Gigaspora rosea*. Soil Biology and Biochemistry 41: 1753-1756.

Schwab SM, Menge JA, Tinker P (1991) Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. New Phytologist 117: 387-398.

Smith SE, Read DJ (2010) Mycorrhizal symbiosis. Access Online via Elsevier.

Srivastava NK and Basu M (1995) Occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in some medicinal plants, *In*: Mycorrhizae: Biofertilizer for the future. Adholeya A, Singh S (eds.). Third National Conference on Mycorrhizae, TERI, Delhi, India, pp. 58-61.

Tinker P (1978) Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on plant nutrition and plant growth. Physiologie Vegetale 16(4): 743-751.

Biological Control of Pests and Plant Diseases
Vol. 5, No. 1, Spring & Summer 2016

The effect of some bio-ecological parameters on arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis with potato in West Azarbaijan Province

Mina Kolahnamadi[1], Ebrahim Sedaghati[2*], Mohammad Moradi[3] and Hossein Alaei[2]
1. Former M. Sc. Student of Plant Pathology, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
2. Assistant Professors, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Plant Protection, Pistachio Research Institute, Rafsanjan, Iran
(Received: Nov. 28, 2015 - Accepted: Jan. 12, 2016)

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) play an important role in promotion of plant growth as well as increasing plant tolerant to abiotic and biotic stresses. Because of this, special attention was paid to AMF in sustainable agriculture. Biotic and abiotic factors can affect the development of the mycorrhizal relationship. To evaluate the effect of some bio-ecological parameters, on activity of AMF in potato fields, 31 samples of either bulk or rhizosphere soil were collected from potato field of West Azerbaijan province in August 2013. In each farm, some detail information about the potato varieties, crop yield, crop rotation program and applied fertilizers were provided. The population of AMF spores in soil and root colonization (%), EC, PH, soil texture in each sampled farm were determined. Overall, a positive relation was observed between the root colonization percentage and density of AMF spore in soil with crop yield. In both monoculture and potato-legume rotations AMF colonization was improved. The AMF colonization was also affected by different types of used fertilizers, crop rotation and soil microorganisms.

Keywords: Arbuscular mycorrhizae, colonization, potato, spore density.

* Corresponding author E-mail: sedaghatiebrahim@yahoo.com Tel: +98 343 1312018