تأثیر میزان رس و شوری خاک بر رابطه کربن آلی خاک با عملکرد گندم

پیمان کشاورز[1]*، مهدی زنگی‌آبادی و مهدی عباس‌زاده

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی؛ P.Keshavarz@areo.ir

کارشناس ارشد پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی؛ Mehdizng@yahoo.com

کارشناس مسئول تغذیه گیاهی مدیریت زراعت سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی؛ Abbaszadeh47@yahoo.com

چکیده

ویژگی‌های خاک به طور بالقوه در افزایش و یا کاهش تجمع مقدار مواد آلی خاک مؤثر است، به منظور بررسی اثر کمّی کربن آلی خاک در عملکرد دانه گندم تعداد 202 مزرعه گندم آبی در استان خراسان رضوی انتخاب و میزان کربن آلی و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از مزارع تعیین گردید. در هر مزرعه عملکرد دانه گندم پس از ثبت به دوگروه جامعه با عملکرد بالا (بیش از 5 تن در هکتار) و جامعه با عملکرد پایین (کمتر از 5 تن در هکتار) تقسیم و هر یک از این گروه‌ها نیز بر اساس قابلیت هدایت الکتریکی خاک (شوری) و میزان رس به گروه‌های کوچکتری تقسیم شدند. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدارکربن آلی خاک و عملکرد دانه وجود دارد (R^2=0/64, P<0/01)، اگرچه این همبستگی در جامعه با عملکرد پایین (R^2_{adj} =0/66, P<0/01) نسبت به جامعه با عملکرد بالا (R^2_{adj}=0/34, P<0/01) قوی‌تر بود. بر این اساس به ازای افزایش یک گرم در کیلوگرم کربن آلی در خاک عملکرد دانه گندم به طور میانگین 286 کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. در حالی که رابطه مثبتی بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه در خاک‌هایی با میزان رس کمتر از150 گرم در کیلوگرم وجود داشت این رابطه در خاک‌هایی با رس بیش از 150گرم در کیلوگرم ضعیف‌تر بود. رابطه‌قوی تری نیز بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه در خاک‌هایی با میزان شوری بیش‌تر از 6 دسی‌زیمنس بر متر نسبت به خاک‌هایی با شوری کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر وجود داشت. این نتایج نشان داد که محدودیت خاک‌های شور و سبک را می‌توان با افزایش کربن آلی خاک تا حدود زیادی برطرف نمود. با توجه به وضعیت کربن آلی خاک در کشور و فرض تشابه نتایج بدست آمده از این مطالعه برای آن، با یک واحد افزایش کربن آلی خاک (1 گرم در کیلوگرم) 7/8 درصد به کل تولید گندم آبی کشور افزوده خواهد شد، با این وجود مقدار افزایش بستگی کامل به عملکرد جامعه هدف دارد.

واژه‌های کلیدی: استان خراسان رضوی، گندم آبی، هدایت الکتریکی خاک

مقدمه

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان فقر مواد آلی خاک از چالش‌های اساسی کشاورزی به شمار می‌آید (ری[2] و همکاران،2006). از آنجاکه مواد آلی در بسیاری از خصوصیات خاک‌ها از جمله حاصلخیزی خاک، ساختمان خاک، نفوذ آب در خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک، تراکم خاک و فعالیت میکروبی خاک تأثیر دارد، به عنوان شاخص پایداری باروری خاک شناخته می‌شوند (باور و بلک[3]، 1994؛ لال[4] و

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، طرق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، بخش تحقیقات خاک و آب، 488-91735

* دریافت: 91/10/2 و پذیرش: 92/4/17

[2]. Roy
[3]. Bauer and Black
[4]. Lal

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران، 1997؛ ریوز[1]، 1997؛ وست و پست[2]، 2002؛ تارکالسون[3] و همکاران، 2009). در ایران مقدار مواد آلی خاک‌ها در بخش قابل توجهی از آن بسیار کم بوده به طوری که در بیش از 60 درصد اراضی کشاورزی کمتر از یک درصد و در بخش قابل توجهی از آنها کمتر از نیم درصد گزارش شده است (کلباسی، 1375). در صورتی که میزان کربن آلی خاک به میزان قابل توجهی کاهش یابد، به دلیل زوال خواص فیزیکی و اختلال در فرآیندهای چرخه عناصر غذایی خاک ظرفیت تولید محصولات کشاورزی در معرض خطر قرار خواهد گرفت (لاولند و وب[4]، 2003). بعضی برآورد ها نشان می‌دهد در کشورهای در حال توسعه افزایش یک تن کربن آلی در سال در هر هکتار خاک منجربه افزایش تولید غلات و بقولات به میزان 32 میلیون تن در سال و گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای به میزان 9 میلیون تن در سال خواهد شد (لال، 2006 و 2010). در چین گزارش شده است که به طور متوسط 30 درصد عملکرد غلات شامل گندم، برنج و ذرت (7 درصد در مناطق خشک و نیمه خشک و 64 درصد در مناطق مرطوب) به دلیل فقر کربن آلی خاک‌ها از دست می‌رود (یی[5] و همکاران، 2008). این در حالی است که به دلیل تغییرات جهانی آب و هوایی و در نتیجه نیاز به افزایش ترسیب کربن، افزایش کربن آلی در خاک‌ها از اهمیت دو چندان برخوردار است (بنبی و چاند[6]، 2007). ظرفیت خاک برای ذخیره مواد آلی وابستگی کاملی به شرایط آب و هوایی (بارندگی، دما و طول مدت فصل خشک) دارد اما بزرگی آن به ویژگی‌های خاک (فیزیکی و شیمیایی) و نوع مدیریت اعمال شده بر آن (آماده سازی بستر، روش کاشت) نیز وابسته است (زین[7] و همکاران، 2007؛ بتینو[8] همکاران، 2007). در این ارتباط ارتباط مقدار رس خاک (عامل فیزیکی) یکی از خصوصیاتی است که بیشتر ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این رو رابطه آن با کربن آلی خاک به گونه‌ای است که اثبات تغییرات بوجود آمده متأثر از هر یک از این دو عامل در خاک دشوار خواهد بود، با وجود این خاک-هایی با بافت ریزتر قابلیت ایجاد پیوندهای کاتیونی بیشتری داشته (کلسیم در خاک‌های خنثی و آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی) تا مولکول‌های آلی را به ذرات رس متصل نماید (ادس[9] و همکاران، 1988). در مقابل در خاک‌هایی با بافت درشت تر احتمال اکسیداسیون کربن آلی خاک افزایش می‌یابد (پراساد و پاور[10]، 1997). از سوی دیگر مقدار کربن آلی خاک همچنین تابعی از ورود بقایای گیاهی و تلفات آن از خاک است، به همین دلیل شوری خاک (عامل شیمیایی) می‌تواند موجب تغییر مقدار آن در خاک گردد. اگرچه در مورد اثر منفی شوری خاک در رشد گیاه و به دنبال آن برگشت کمتر بقایای گیاهی به خاک تحقیقات وسیعی انجام شده اما درباره اثر کمی افزایش شوری بر رابطه بین کربن آلی خاک و تولید محصول اطلاعات کمتری وجود دارد. با وجودی که رابطه بین تولید محصول و کربن آلی خاک در بسیاری از موارد مثبت گزارش شده است (فان[11] و همکاران، 2005) اما موارد منفی نیز قابل اغماض نیست (سای و کین[12]، 2006). بر این اساس سه احتمال ممکن در رابطه بین عملکرد محصول و مقدار کربن آلی خاک وجود خواهد داشت: 1) افزایش عملکرد محصول با افزایش کربن آلی خاک؛ 2) عدم کاهش محصول با کاهش کربن آلی خاک؛ 3) افزایش عملکرد محصول با کاهش کربن آلی خاک (لال، 2006). این پاسخ‌های ظاهراً متناقض، به بافت خاک (میزان رس)، سابقه ظرفیت کربن آلی خاک، شدت تخریب خاک، کاربری اراضی و مدیریت محصول با توجه به مصرف کود و آب وابسته است. از آنجاکه در ایران از یک سو سطح وسیعی از خاک‌ها به فقرکربن آلی خاک مبتلاً بوده و از سوی دیگر گندم اصلی‌ترین محصول زراعی آن است، این مطالعه با هدف کمّی کردن اثر کربن آلی خاک در عملکرد گندم (آبی) با توجه به جامعه عملکردی هدف و همچنین تعیین تأثیر مقدار رس و شوری خاک به عنوان دو ویژگی مهم خاک بر این رابطه در استان خراسان رضوی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

محل آزمایش

این پژوهش طی سال زراعی 87-1386 در استان خراسان رضوی (شکل 1)، با عرض جغرافیایی 33 درجه و 52 دقیقه تا 37 درجه و 42 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 56 درجه و 19 دقیقه تا 61 درجه 16 دقیقه

[1] Reeves
[2] est and Post
[3] Tarkalson
[4] Loveland and Webb
[5] Ye
[6] Benbi and Chand
[7] Zinn
[8] Bationo
[9] Oades
[10] Prasad and Power
[11] Fan
[12] Cai and Qin

Archive of SID

www.SID.ir

شرقی و زمستان‌های سرد خشک (محدوده دمایی بین 3- تا 10 درجه سانتی گراد) همچنین تابستان‌های گرم و خشک (محدوده دمایی بین 17 تا 33 درجه سانتی گراد) با میانگین بارندگی بین 200 تا 220 میلی‌متر در سال انجام گردید (فائو[1]، 2005). در این ناحیه خاک‌ها در رده انتی سول (زریک توری ارتنت)، اریدی سول (زریک هاپلوکمبید و زریک هاپلو کلسید) و انسپتی سول (کلسی زرپت) مطابق با طبقه‌بندی امریکایی خاک قرار می‌گیرند (بنایی، 2002). تعداد 300 مزرعه تحت کشت گندم آبی (*Triticum aestivum*, L.) در استان با همکاری مدیریت زراعت سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی بر اساس مناطق کشاورزی در 18 شهرستان برای انجام آزمایش انتخاب گردید.

نمونه‌برداری و تجزیه خاک

نمونه‌های خاک از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر در مناطق تعیین شده و زیر کشت گندم در مهر ماه 1386 برداشت گردید. از بین نمونه‌های خاک تعداد 202 نمونه با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت و بر اساس تنوع مقدار کربن آلی خاک در هر مزرعه انتخاب شد (جدول1و2). تمام نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد و عبور از الک دو میلی‌متری برای تجزیه آماده شدند. pH خاک در خمیر اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC_e) در عصاره اشباع اندازه‌گیری گردید. همچنین مقدار کربن آلی خاک [2] (SOC) با روش واکلی بلک (1934) و کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$) با استفاده از خنثی سازی خاک با اسید کلریدریک و تیتراسیون با هیدرواکسید سدیم انجام گرفت. میزان رس خاک با روش هیدرومتری بدست آمد (علی احیایی، 1376).

ثبت داده‌ها

با استفاده از عملکرد دانه گندم در هر مزرعه (n=202) مجموعه داده‌ها در دو بخش، جامعه عملکرد پایین[3](LYP) با عملکرد دانه گندم کمتر از 5 تن در هکتار هکتار و جامعه عملکرد بالا [4](HYP) با عملکرد دانه گندم گندم بیشتر یا مساوی با 5 تن در هکتار تقسیم شدند. در هر یک از دوجامعه نیز داده‌ها براساس میزان رس خاک در دو گروه رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم (بافت سبک) و رس بیشتر یا مساوی با 150 گرم در کیلوگرم (بافت متوسط تا سنگین) و هدایت الکتریکی خاک (شوری) در دو گروه کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر (آستانه تحمل به شوری گندم) و بیشتر یا مساوی 6 دسی‌زیمنس بر متر تقسیم شدند. میانگین عملکرد دانه گندم و کربن آلی خاک به همراه میزان رس و شوری خاک در هر یک از دو جامعه عملکرد بالا و پایین در جدول 2 نشان داده شده است.

تجزیه آماری

تجزیه رگرسیون چند جمله‌ای (خطی و درجه دوم) به منظور تعیین رابطه بین عملکرد دانه گندم با میزان کربن آلی خاک در هر یک از دو جامعه عملکردی و گروه‌های تقسیم شده با استفاده از نرم افزار آماری MINITAB-13 انجام شد. ضریب تعیین تصحیح شده (R^2_{adj}) در هر مورد با توجه به درجه آزادی هر یک از گروه‌ها بدست آمد و تفاوت‌های آماری در سطح احتمال یک درصد (P<0/01) تعیین گردید.

نتایج

رابطه عملکرد دانه گندم با کربن آلی خاک

در کل جامعه مورد بررسی (n=202) همبستگی مثبت و معنی‌داری (R^2=0/64, P<0/01) بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه وجود داشت (شکل 2). معادله رگرسیون (درجه دوم) بدست آمده نشان داد همان طورکه کربن آلی خاک افزایش می‌یابد عملکرد دانه نیز زیاد می‌شود. افزون بر این در محدوده‌ای که میزان کربن آلی خاک اندک باشد وابستگی عملکرد به آن زیاد است اما در مقادیر بالاتر (بیش از 15 گرم در کیلوگرم) عملکرد دانه به حد ثابتی (6/1 تن در هکتار) می‌رسد. بر این اساس به ازای افزایش هر گرم در کیلوگرم کربن آلی خاک در محدوده بین 0/1 تا 15 گرم در کیلوگرم به طور میانگین به عملکرد دانه گندم 286 کیلوگرم در هکتار افزوده خواهد شد (شکل 2).

در حالی که در جامعه عملکرد پایین (LYP) میزان کربن آلی خاک در محدوده بین 0/1 تا 13 گرم در کیلوگرم قرار داشت این مقدار در جامعه عملکرد بالا (HYP) بین 3/6 تا 17/8 گرم در کیلوگرم بود. شکل3 نشان می‌دهد همبستگی قوی تری بین کربن آلی خاک و جامعه عملکرد پایین (R^2_{adj}=0/66, P<0/01) نسبت به جامعه عملکرد بالا وجود داشته (R^2_{adg}=0/34, P<0/01)، به طوری که با افزایش هر گرم کربن آلی در کیلوگرم خاک عملکرد دانه گندم در جامعه عملکرد پایین 305 کیلوگرم در هکتار و در جامعه عملکرد بالا 121 کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است. در جامعه عملکرد پایین عملکرد دانه ابتدا با افزایش کربن آلی خاک افزایش یافت

[1] FAO
[2] Soil organic carbon
[3] Low yield population
[4] High yield population

Archive of SID

www.SID.ir

سپس در حدود 9 گرم در کیلوگرم خاک بدون تغییر و در نهایت در بیش از 10 گرم در کیلوگرم خاک کاهش پیدا کرد. به نظر می‌رسد در جامعه با عملکرد پایین، سایر عوامل محدود کننده رشد گیاه نظیر آب موجب شده تا عملکرد دانه گندم تابع خطی از کربن آلی خاک نباشد. در مقابل در جامعه با عملکرد بالا با افزایش کربن آلی خاک عملکرد دانه گندم به طور خطی افزایش یافته است.

میزان رس خاک

میزان رس خاک در 77 درصد مجموع نمونه های مورد بررسی بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم و در 23 درصد آنها کمتر از 150 گرم در کیلوگرم بود. با افزایش میزان رس به بیش از 150 گرم در کیلوگرم میانگین کربن آلی خاک 26/8 درصد زیاد گردید به طوری که در خاک-هایی با رس بیش از 150 گرم در کیلوگرم 5/6 گرم در کیلوگرم و در خاک‌هایی با رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم 4/1 گرم در کیلوگرم بود. معادله‌های رگرسیونی بدست آمده نشان داد که دو نوع رابطه خطی و درجه دوم بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم به ترتیب در محدوده رس کمتر و بیشتر از 15 گرم در کیلوگرم خاک وجود دارد (شکل 4). هر دو رابطه نشان می‌دهند که با افزایش کربن آلی خاک عملکرد دانه به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد اما این رابطه در خاک‌هایی با رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم نسبت به خاک‌هایی با رس بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم قوی‌تری بود، به طوری که 75 درصد تغییرات عملکرد دانه در این خاک‌ها به تنهایی از کربن آلی خاک ناشی می‌شد. از طرفی در جامعه عملکرد پایین در حدود 25 درصد خاک‌ها کمتر از 150 گرم در کیلوگرم رس داشتند و همبستگی قوی (رابطه خطی) بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه (R^2_{adj}=0/77, P<0/01) وجود داشت (شکل 5). با وجود این در همین جامعه در خاک‌هایی با رس بیش از 150 گرم در کیلوگرم رابطه همبستگی(درجه دوم) ضعیف‌تر (R^2_{adj}=0/58, P<0/01) بود و عملکرد دانه در بیش از 10 گرم در کیلوگرم کربن آلی خاک روند کاهشی داشت. از سوی دیگر در جامعه عملکرد بالا مقدار رس در 87 درصد خاک‌ها بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم بود و رابطه همبستگی (خطی) بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه (R^2_{adj}=0/41, P<0/01) نیز ضعیف بود (شکل 6).

این در حالی بود که در جامعه عملکرد بالا رابطه همبستگی در خاک هایی با رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم به دلیل تعداد کم داده ها (n=6) قابل تفسیر نبود. افزون بر این در شرایطی که میزان رس خاک بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم بود رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در جامعه عملکرد پایین (شکل5) نسبت به جامعه عملکرد بالا (شکل 6) قوی‌تر بود.

قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC_e)

قابلیت هدایت الکتریکی (شوری) خاک در 27 درصد مجموع نمونه‌های مورد بررسی بیشتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر و در 73 درصد آنها کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر بود. با افزایش شوری خاک به بیش از 6 دسی‌زیمنس بر متر از میانگین کربن آلی خاک 37/3 درصد کاسته شد به طوری که در خاک‌هایی با شوری بیشتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی 3/7 گرم در کیلوگرم و در خاک‌هایی با شوری کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر 5/9 گرم در کیلوگرم بود. اگرچه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه وجود داشت اما اثر شوری خاک بر این روابط بسیار مشهود بود (شکل 7) به طوری که با شور شدن خاک‌ها (بیش از 6 دسی‌زیمنس بر متر) ارتباط قوی‌تری بین این دو متغیر بدست آمد (0/01> P، R^2_{adj}=0/69). بنابراین جدا از نوع جامعه عملکردی، شوری خاک موجب شد تا وابستگی عملکرد دانه گندم به کربن آلی خاک بیشتر گردد. در جامعه عملکرد پایین، شوری خاک در حدود 67 درصد نمونه‌ها کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر و 33 درصد آنها بیش از 6 دسی-زیمنس بر متر بود. همچنین در این جامعه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه در هر دو محدوده شوری وجود داشت (شکل 8). اگرچه این همبستگی در محدوده شوری خاک بیشتر از 6 دسی-زیمنس بر متر اندکی بالاتر بود. با این حال بالاترین عملکرد دانه گندم به میزان 4/5 تن در هکتار از حدود 10 گرم در کیلوگرم کربن آلی خاک بدست آمد و پس از آن با افزایش کربن آلی خاک عملکرد کاهش می‌یافت. از سوی دیگر در جامعه عملکرد بالا شوری خاک در 94 درصد نمونه‌ها کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر بود. این در حالی بود که رابطه ضعیفی بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه (R^2_{adj}=0/33, P<0/01) وجود داشت (شکل 9). افزون بر این در این جامعه رابطه همبستگی در خاک‌هایی با شوری بیشتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر نیز به دلیل تعداد کم داده‌ها (n=3) قابل تفسیر نبود. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که در شرایطی که شوری خاک کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر باشد وابستگی عملکرد دانه گندم به کربن آلی خاک در جامعه عملکرد پایین (شکل 8) نسبت به جامعه عملکرد بالا (شکل 9) بیشتر است. بنابراین در جامعه عملکرد پایین فقر کربن آلی نسبت به شوری عامل محدود کننده قوی‌تری است و بهبود وضعیت کربن آلی

Archive of SID

www.SID.ir

خاک حتی در شرایطی که شوری خاک اندک باشد نیز بسیار مؤثر خواهد بود.

شوری و میزان رس خاک

مقایسه ضرایب تعیین (R^2) رابطه همبستگی بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در جامعه عملکرد پایین نشان می‌دهد که با وجود تأثیر شوری و میزان رس خاک، کاهش مقدار رس بیش از افزایش شوری خاک در این رابطه مؤثر بود (R^2_{adj}=0/77 در مقابل R^2_{adj}=0/64). افزون بر این در خاک‌هایی با میزان رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم و شوری بیشتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر ارتباط بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه قوی‌تر گردید، به طوری که 88 درصد تغییرات عملکرد دانه گندم به کربن آلی خاک وابسته بود (شکل 10). بر طبق معادله رگرسیون خطی (y = 0.297x + 1.825) بدست آمده هر واحد افزایش در کربن آلی خاک (کمتر از 10 گرم در کیلوگرم) به طور متوسط منجربه افزایش عملکرد دانه گندم به میزان 297 کیلوگرم در هکتار خواهد شد. این بدان معناست که در خاک‌هایی با حاصلخیزی کم (شور و بافت سبک) افزایش کربن آلی خاک می‌تواند به طور مؤثری تولید محصول را افزایش دهد. در مقابل در خاک‌هایی با مقدار رس بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم و شوری کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر ارتباط بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه ضعیف بود، به طوری که تنها 51 درصد تغییرات عملکرد دانه گندم به کربن آلی خاک وابسته بود (شکل 10).

بحث

همانطور که نشان داده شد در کل نمونه‌ها با بالارفتن کربن آلی خاک تا 15 گرم در کیلوگرم عملکرد دانه گندم افزایش یافت. محققان بسیاری اثر مثبت کربن آلی خاک را در عملکرد محصول گزارش کرده اند (بل[1]، 1993؛ ساندهو[2] و همکاران، 1995؛ بنبی و چاند، 2007؛ پان[3] و همکاران، 2009). افزایش ذخیره کربن آلی خاک با بالابردن ظرفیت آب قابل استفاده گیاه درخاک و عرضه عناصر غذایی، بهبود ساختمان و سایر خواص فیزیکی خاک منجربه افزایش تولید محصول می‌شود (لال، 2006). از طرفی به طور میانگین به ازای افزایش یک گرم کربن آلی در هر کیلوگرم خاک عملکرد دانه گندم 286 کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. این در حالی است که پژوهش-های دیگر نشان می‌دهند که به ازای افزایش هر یک تن در هکتار (در حدود 0/3 گرم در کیلوگرم) کربن آلی خاک عملکرد دانه گندم بین20 تا 70 کیلوگرم در هکتار (لال، 2006)، 19 تا 39 کیلوگرم در هکتار (لارنی[4] و همکاران، 2000)، 64 کیلوگرم در هکتار (دیاز زریتا[5] و همکاران، 1999) و 38 کیلوگرم در هکتار (کانچی کریمات و سینگ[6]، 2001) افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد رسد عواملی نظیر تفاوت در سطح فعال و قابل معدنی شدن کربن آلی خاک، سطح اولیه کربن آلی خاک و مدیریت عناصر غذایی (کود) و آب (لال، 2010) موجب شده تا پتانسیل افزایش عملکرد دانه گندم ناشی از بالا رفتن کربن آلی در خاک‌های مورد مطالعه نسبت به آنچه در منابع اشاره شده بیشتر باشد. با توجه به وضعیت کربن آلی خاک در کشور و فرض تشابه نتایج بدست آمده از این مطالعه برای آن در صورتی که سطح زیر کشت گندم آبی 2/44 میلیون هکتار و میانگین عملکرد دانه 3/6 تن در هکتار باشد (آمارنامه کشاورزی 88-1387) به طور متوسط به ازای یک گرم در کیلوگرم افزایش کربن آلی خاک در حدود 698 هزار تن به تولید گندم افزوده خواهد شد که معادل 7/8 درصد کل تولید گندم آبی کشور خواهد بود. بدیهی است که بیشترین افزایش عملکرد محصول ناشی از افزایش کربن آلی وقتی اتفاق می‌افتد که ذخیره آن در خاک کمترین باشد (بنبی و چاند، 2007؛ کی او[7] و همکاران، 2009). با وجود این در مجموع داده‌ها افزایش کربن آلی خاک تا 15 گرم در کیلوگرم و در جامعه عملکرد پایین تا 10 گرم در کیلوگرم عملکرد دانه گندم افزایش یافت و بیش از آن ممکن است تأثیر آن به دلیل وجود سایر عوامل محدود کننده رشد، ناچیز و حتی کاهشی (محبوس شدن نیتروژن) باشد. اگرچه در بیشتر خاک‌ها این حد 20 گرم در کیلوگرم گزارش شده است (السن و جانزن[8]، 1992).

ذخیره کربن آلی خاک با بالا رفتن میزان رس افزایش یافت. این موضوع ناشی از دو سازوکار است، یکی ایجاد پیوند بین سطوح ذرات رس و مواد آلی و در نتیجه کند شدن فرایند تجزیه این مواد و دیگری افزایش پتانسیل تشکیل خاکدانه در خاک‌هایی با مقدار رس بیشتر (بت و بنیتز[9]، 2005). خاکدانه‌های درشت‌تر به طور فیزیکی مولکول‌های مواد آلی را از حمله ریز جانداران و

1. Bell
2. Sandhu
3. Pan
4. Larney
5. Diaz-Zorita
6. Kanchikerimath and Singh
7. Qiu
8. Olson and Janzen
9. Bot and Benites

Archive of SID

www.SID.ir

معدنی شدن آن حفظ می‌کنند (بتینو و بورکرت[1]، 2001 ; رایس[2]، 2002). نتایج بدست آمده همچنین نشان می‌دهد که در جامعه عملکرد پایین افزایش کربن آلی خاک به طور مؤثری عملکرد دانه گندم را در خاک‌هایی با میزان رس کم (کمتر از 150 گرم در کیلوگرم) افزایش داده است. لال (2006) گزارش کرد که تولید محصول با افزایش کربن آلی در خاک‌هایی با رس کمتر از 20 درصد و خاک‌هایی با بافت لومی شنی و شنی لومی افزایش خواهد یافت. این موضوع ممکن است از بالا رفتن ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده خاک (النس و آرچر[3]، 2005) و همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ناشی شده باشد (سیبولد[4] و همکاران، 2005). رس و مواد آلی خاک نقش مهمی در فرآیند تبادل آب و عناصر غذایی در منطقه ریشه به عهده داشته (بروز[5] و همکاران، 2004) و کربن آلی خاک می‌تواند تا حدی وظایف بخش رس خاک را جبران کند. با وجود این حتی در خاک‌هایی با میزان رس بالاتر (بیش از 150 گرم در کیلوگرم) نیز وابستگی عملکرد به کربن آلی خاک در جامعه عملکرد پایین نسبت به جامعه عملکرد بالا زیادتر بود. این بدان معناست که صرف نظر از میزان رس، کربن آلی خاک در جامعه عملکرد پایین به دلیل بازسازی خاک و بهبود کیفیت آن نقش حیاتی دارد. با وجودی که مقدار رس بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما کربن آلی خاک در گردش عناصر غذایی، توده میکروبی و بهبود خواص فیزیکی خاک دخالت دارد (گوپتا[6] و همکاران، 2003).

میزان کربن آلی خاک با افزایش شوری خاک کاهش یافت. به نظر می‌رسد تولید توده زنده کمتر در شرایط شور و در نتیجه برگشت کمتر آن به خاک منجربه کاهش کربن آلی خاک شده باشد (لی[7] و همکاران، 2006). شوری خاک نه تنها موجب کاهش پتاسیل اسمزی خاک و محلول غذایی می‌شود بلکه میکرو فلور خاک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (ایرشاد[8] و همکاران، 2005). افزون بر این شور شدن خاک در تغییر و تبدیل بیوشیمایی بعضی عناصر غذایی خاک نظیر نیتروژن نیز تأثیر دارد (عباسپور[9] و همکاران، 2008؛ جاننایک[10] و همکاران، 2006؛ ریتز و هاینس[11]، 2003؛ یوآن[12] و همکاران، 2007). در کل جامعه مورد مطالعه افزایش کربن آلی خاک تأثیر بیشتری بر افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط شور (بیشتر یا مساوی 6 دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به شرایط غیر شور داشت. به نظر می‌رسد کربن آلی خاک افزون بر بهبود وضعیت رطوبتی خاک با افزایش فعالیت میکروبی خاک قابلیت استفاده و نگهداری نیتروژن و بسیاری از عناصر غذایی دیگر را بهبود بخشیده است (ابراهیم و شیندو[13]، 1999؛ لیو[14] و همکاران، 2003؛ مامو[15] و همکاران، 1999؛ نینی و کوک[16]، 2000). .همچنین با کاهش کربن آلی خاک احتمال از دست رفتن عناصر غذایی بواسطه آبشویی و روان آب بیشتر خواهد بود (بوت و بنیتز[17]، 2005). در جامعه عملکرد پایین تأثیر شوری کم و یا زیاد (بیشتر و یا کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر) بر رابطه کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم یکسان بود (شکل 8). عدم تأثیر شوری بر این رابطه نشان می‌دهد که کربن آلی خاک عامل اصلی محدودکننده عملکرد نهایی گندم در جامعه عملکرد پایین است. این موضوع از یک سو به دلیل کمتر بودن ذاتی کربن آلی خاک و از سوی دیگر از ارتباط قوی‌تر کربن آلی و عملکرد دانه در جامعه عملکرد پایین نسبت به جامعه عملکرد بالا ناشی می‌شود. این در حالی است که کربن آلی خاک 88 درصد تغییرات عملکرد دانه را در خاک‌هایی با رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم و شوری بیشتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر توضیح می‌دهد. لال (2010) گزارش نمود که سهم کربن آلی خاک در تولید محصول وقتی بیشتر خواهد بود که 1) بافت خاک سبک باشد تا سنگین، 2) سطح اولیه کربن آلی خاک کمتر از حد مطلوب باشد، 3) مصرف کود شیمیایی در خاک کم باشد، 4) گیاه تحت شرایط دیم بوده و 5) به طور کلی کیفیت خاک پایین باشد. از اینرو به نظر می‌رسد افزایش کربن آلی در خاک‌هایی با رس کم (بافت سبک) و شور (میانگین شوری در محدوده خاک‌های شور این مطالعه 10/5 دسی‌زیمنس بر متر بود) کلید افزایش عملکرد گندم است.

1. Bationo and Buerkert
2. Rice
3. Olness and Archer
4. Seybold
5. Broge
6. Gupta
7. Li
8. Irshad
9. Abbaspour
10. Jannike
11. Rietz and Haynes
12. Yuan
13. Ibrahim and Shindo
14. Liu
15. Mamo
16. Naeini and Cook
17. Bot and Benites

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاهش عملکرد گندم در استان خراسان رضوی (شمال شرق ایران) تا حدود زیادی به فقر کربن آلی خاک وابسته است به طوری که به ازای افزایش یک گرم در کیلوگرم کربن آلی در خاک عملکرد دانه گندم از 305 کیلوگرم در هکتار در جامعه عملکرد پایین تا 121 کیلوگرم در هکتار در جامعه عملکرد بالا تفاوت داشت. با این وجود عملکرد دانه گندم حداکثر تا 15 گرم در کیلوگرم کربن آلی خاک افزایش یافت. افزون بر این با افزایش کربن آلی از محدودیت خاک‌های شور (حداکثر تا 10/5 دسی‌زیمنس بر متر) و سبک (میزان رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم) بر عملکرد دانه گندم کاسته شد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی به دلیل تأمین هزینه انجام این پروژه صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

شکل 1- نقشه موقعیت استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران

جدول 1- حدود تغییرات برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها (n=202)

توصیف آماری	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رس	pH	قابلیت هدایت الکتریکی [1]
	(g kg^{-1})				(dS m^{-1})
کمترین	0/1	30	50	7/4	0/4
بیشترین	17/8	280	340	8/7	23
محدوده	17/7	250	290	1/3	22/6
میانگین	5/3	164	179	7/9	4/7
چولگی [2]	0/7	0/1	0/40	0/10	1/9
انحراف معیار [3]	3/2	34	52/4	0/2	4/3

[1] EC_e
[2] Skewness
[3] Standard deviation

Archive of SID

www.SID.ir

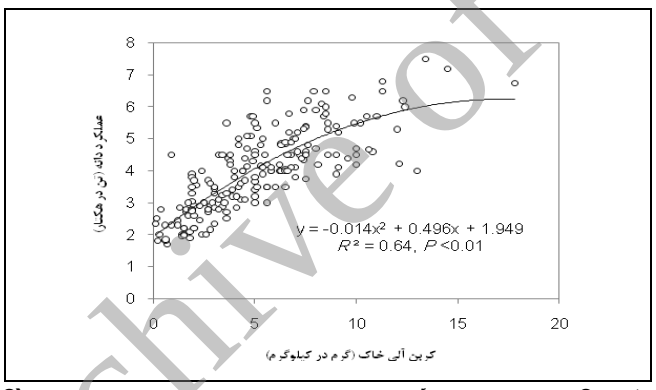
جدول 2- تعداد نمونه‌ها، میانگین عملکرد دانه و کربن آلی خاک در جامعه عملکرد پایین، بالا و کل در دو گروه متفاوت مقادیر رس و شوری خاک

متغییر	جامعه عملکردی	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)		میزان رس ($g\ kg^{-1}$)		کل
		≥ 6	< 6	≥ 150	< 150	
تعداد نمونه‌ها	LYP[1]	51	105	116	40	156
	HYP[2]	3	43	40	6	46
	LYP + HYP	54	148	156	46	202
عملکرد دانه (تن در هکتار)	LYP	3/03±0/86*	3/72±0/79	3/66±0/81	3/02±0/88	3/50±0/87
	HYP	5/70±0/86	5/70±0/59	5/77±0/63	5/76±0/33	5/76±0/60
	LYP + HYP	3/10±1/06	4/31±1/19	4/20±1/20	3/38±1/24	4/01±1/25
کربن آلی خاک (گرم در کیلوگرم)	LYP	3/31±2/48	4/94±2/57	4/72±2/55	3/50±2/73	4/40±2/60
	HYP	10/4±6/68	8/13±22/6	8/21±3/06	8/75±2/29	8/20±2/90
	LYP + HYP	3/70±3/19	5/87±2/93	5/62±3/09	4/18±3/20	5/30±3/20

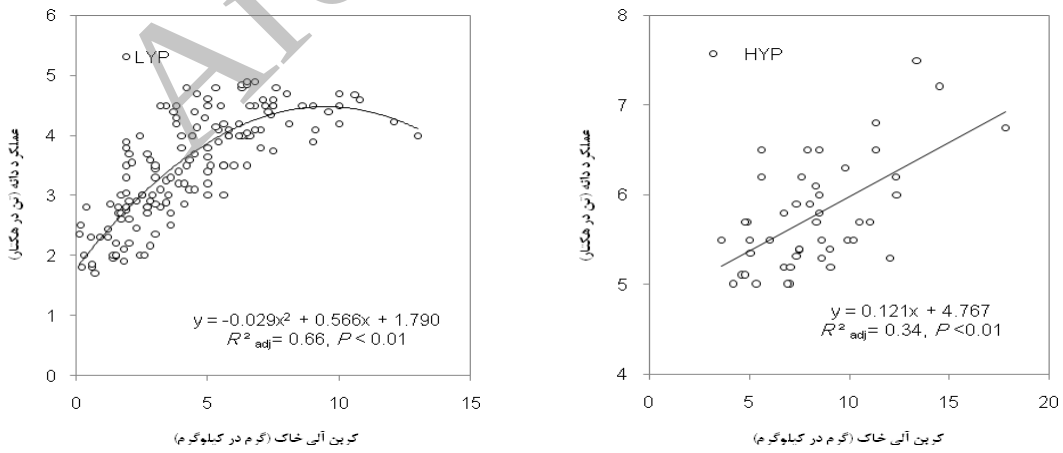
[1]. جامعه عملکرد پایین

[2]. جامعه عملکرد بالا

* انحراف معیار



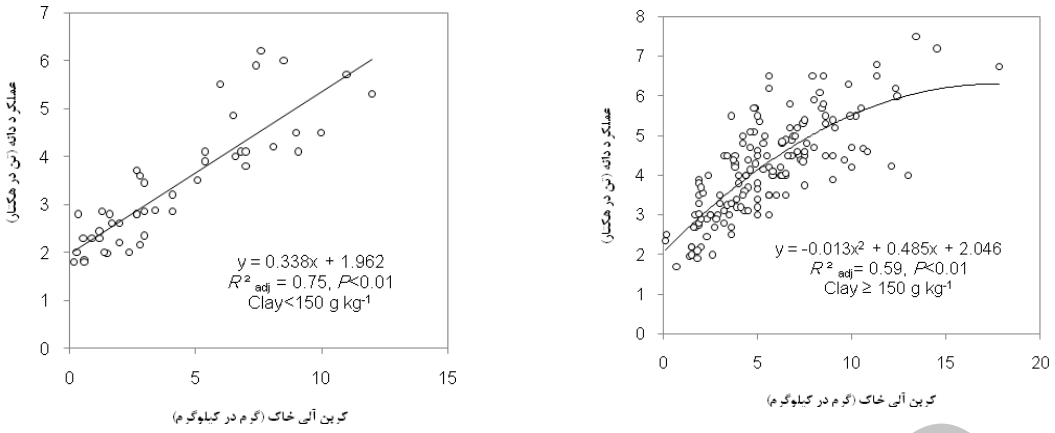
شکل 2- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در مجموع نمونه‌ها (n=202)



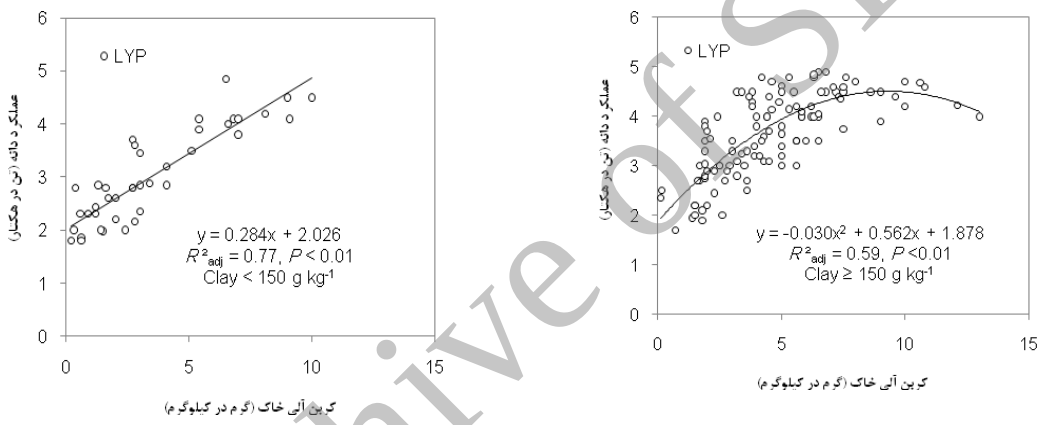
شکل 3- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در جامعه عملکرد پایین(چپ) و جامعه عملکرد بالا (راست)

Archive of SID

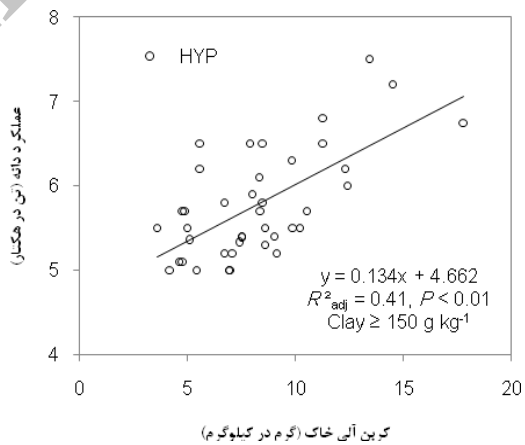
www.SID.ir



شکل 4- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در خاک‌هایی با رس کمتر از150 (چپ) و بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم (راست) در کل نمونه‌ها



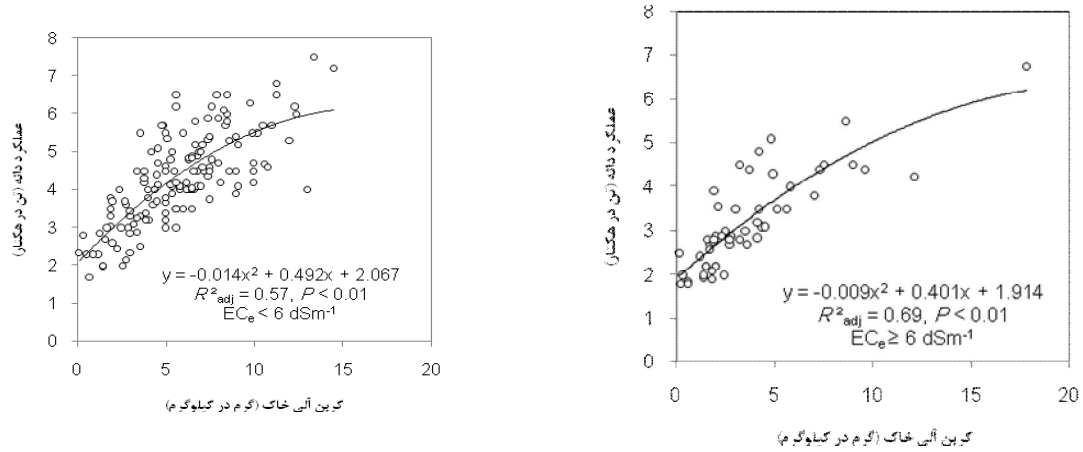
شکل 5- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در خاک‌هایی با رس کمتر از150 (چپ) و بیشتر از 150 گرم در جامعه عملکرد پایین در کیلوگرم (راست)



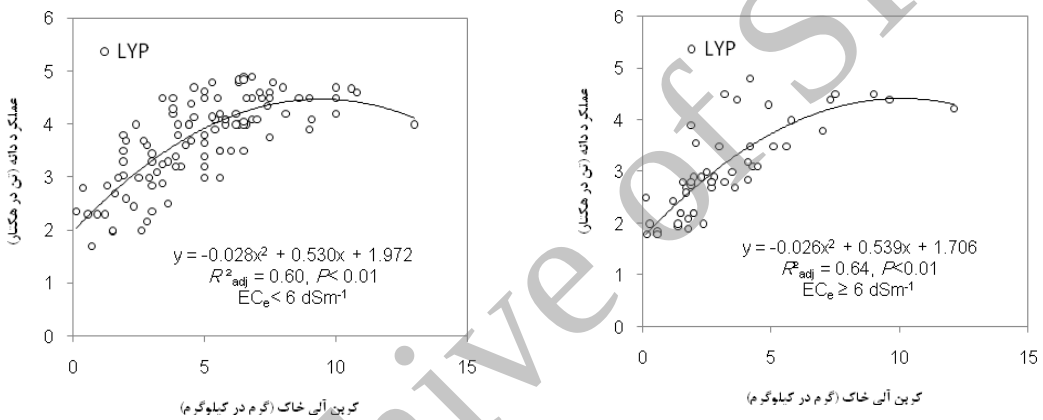
شکل 6- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در خاک‌هایی با رس بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم در جامعه عملکرد بالا

Archive of SID

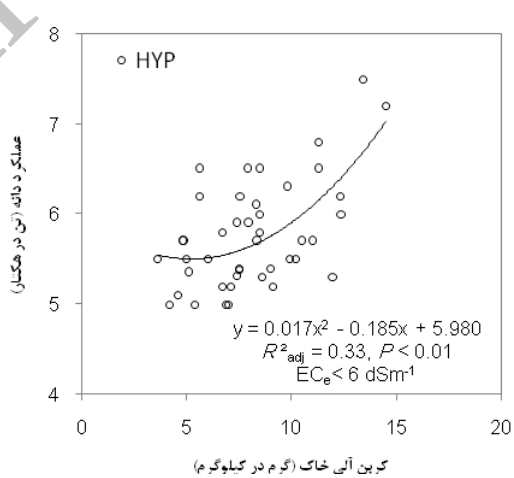
www.SID.ir



شکل 7- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در خاک‌هایی با شوری کمتر (چپ) و بیشتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر (راست) در کل نمونه‌ها



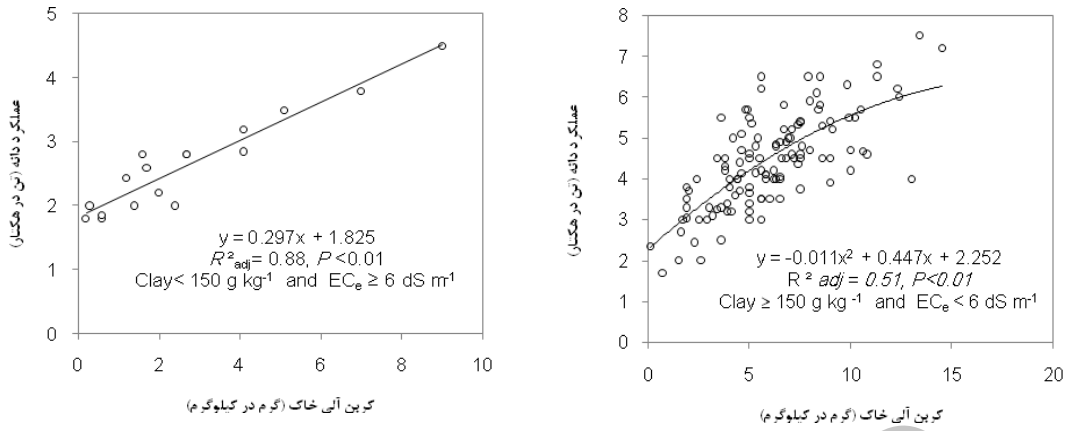
شکل 8- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در خاک‌هایی با شوری کمتر (چپ) و بیشتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر (راست) در جامعه عملکرد پایین



شکل 9- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در خاک‌هایی با شوری کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر در جامعه عملکرد بالا

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 10- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در خاک‌هایی با رس کمتر از 150 گرم در کیلوگرم و شوری بیشتر از 6 دسی-زیمنس بر متر(چپ) و رس بیشتر از 150 گرم در کیلوگرم و شوری کمتر از 6 دسی‌زیمنس بر متر (راست)

فهرست منابع:

1. علی احیائی، م. 1376. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره 1024.
2. کلباسی، م. 1375. وضعیت مواد آلی در خاک‌های ایران و نقش کود کمپوست. خلاصه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران، 13-10 شهریور، کرج.
3. Abbaspour, A., M. Kalbasi, S. Hajrasuliha, and A. Fotovat. 2008. Effect of organic matter and salinity on ethylenediaminetetraacetic acid-extractable and solution species of cadmium and lead in three agricultural soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39:983-1005.
4. Banaei, M.H. 2002. The New Soil Map of Iran. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
5. Bationo, A., and A. Buerkert. 2001. Soil organic carbon management for sustainable land use in sudano- sahelian west african. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61:131-142.
6. Bationo, A., J. Kihara, B. Vanlauwe, B, Waswa, and J. Kimetu. 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. Agricultural Systems, 94:13-25.
7. Bauer, A., and A.L. Black. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Science Society of America Journal, 58: 185-193.
8. Bell, M.A. 1993. Organic matter, soil properties, and wheat production in the High Valley of Mexico. Soil Science, 156:86-93.
9. Benbi, D.K., and M. Chand. 2007. Quantifying the effect of soil organic matter on indigenous soil N supply and wheat productivity in semiarid subtropical India. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 79:103-112.
10. Bot, A., and J. Benites. 2005. The importance of soil organic matter. FAO Soils Bulletin, No.80, Rome, Italy.
11. Broge, N.H., A.G. Thomsen, and M.H. Greve. 2004. Prediction of topsoil organic matter and clay content from measurements of spectral reflectance and electrical conductivity. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science, 54:232-240.

Archive of SID

www.SID.ir

12. Cai, Z.C., and S.W. Qin. 2006. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China. Geoderma, 136: 708-715.
13. Diaz-Zorita M., D.E. Buschiazzo, and N. Peinemann. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the semi-arid Argentina Pampas. Agronomy Journal, 91:276–279
14. Fan, T., B.A. Stewartb, Y. Wang, J. Luo, and G. Zhou. 2005. Longterm fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dryland of Loess Plateau in China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 106:313–329.
15. FAO. 2005. Fertilizer use by crop in the Islamic Republic of Iran. First version, FAO Land and Plant Nutrition Management Service, Rome, Italy.
16. Gupta, A.P., R.P. Narwal, and R.S. Antil. 2003. Influence of soil organic matter on the productivity of pearl millet-wheat cropping system. Archives of Agronomy and Soil Science, 49:325-332.
17. Ibrahim, S.M., and H. Shindo. 1999. Effect of continuous compost application on water-stable soil macroaggregation in a field subjected to double cropping. Soil Science and Plant Nutrition, 45:1003-1007.
18. Irshad, M., T. Honna, S. Yamamoto, A.E. Eneji, and N. Yamasaki. 2005. Nitrogen mineralization under saline conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36:1681-1689.
19. Jannike, W., W. Florian, and G.j. Rainer. 2006. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. Geoderma, 137: 100-108.
20. Kanchikerimath M., D. Singh. 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semi-arid region of India. Agriculture, Ecosystems and Environment, 86:155–162.
21. Lal, R., J. Kimble, and R. Follett. 1997. Soil quality management for carbon sequestration. p. 1–8. In R. Lal et al. (ed.) Soil properties and their management for carbon sequestration. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Services, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
22. Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. Land Degradation & Development, 17:197-209.
23. Lal, R. 2010. Beyond Copenhagen:mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. Food Security, 2:169–177
24. Larney F.J., H.H. Janzen, B.M. Olson, and C.W. Lindwall. 2000. Soil quality and productivity response to simulated erosion and restorative amendments. Canadian Journal of Soil Science, 80: 515–522.
25. Li. X., F. Li, B. Singh, Z. Cui, and Z. Rengel. 2006. Decomposition of maize straw in saline soil. Biology and Fertility of Soils, 42:366-370.
26. Liu, X., X. Han, C. Song, S.J. Herbert, and B. Xing. 2003. Soil Organic carbon dynamics in black soils of china under different agricultural management systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 34:973-984.
27. Loveland, P., and J. Webb. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. Soil and Tillage Research, 70:1-18.
28. Mamo, M., J.A.E. Molina, C.J. Rosen, and T.R. Halbach. 1999. Nitrogen and carbon mineralization in soil amended with municipal solid waste compost. Canadian Journal of Soil Science, 79:535-542.
29. Naeini, S.A.R.M., and H.F. Cook. 2000. Influence of municipal waste compost amendment on soil water and evaporation. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31:3147-3161.

Archive of SID

www.SID.ir

30. Oades, J.M. 1988. The retention of organic matter in soils. Biogeochemistry, 5: 35-70.
31. Olness, A., and D. Archer. 2005. Effect of organic carbon on available water in soil. Soil Science, 170:90-101.
32. Olson B.M., and H.H. Janzen. 1992. Influence of topsoil quality parameters on crop yield. In Management of Agricultural Soils. Proceedings of the Soils and Crops Workshop, 20–21 February 1992. Saskatoon; 137–143.
33. Pan, G., P. Smith, and W. Pan. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 129:344-348.
34. Prasad, R., and J.F. Power. 1997. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. CRC Press. USA. pp.347.
35. Qiu, J.J., L.G. Wang, H. Li, H.J. Tang, C.S. Li, and E. Van Ranst. 2009. Modeling the impacts of soil organic carbon content of croplands on crop yields in China. Agricultural Sciences in China, 8: 464-471.
36. Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil and Tillage Research, 43: 131–167
37. Rice, C.W. 2002. Organic matter and nutrient dynamics. In: Encyclopedia of Soil Science, pp. 925–928. New York, USA, Marcel Dekker Inc.
38. Rietz, D.N., and R.J. Haynes. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry, 35: 845-854.
39. Roy, R.N., A. Finck, G.J. Blair, and H.L.S. Tandon. 2006. Plant nutrition for food security, a guide for integrated nutrient management. FAO, Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, No. 16. Rome, Italy.
40. Sandhu, K.S., D.K. Benbi, and S.S. Prihar. 1995. Dryland wheat yields in relation to soil organic carbon, applied nitrogen, stored water and rainfall distribution. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 44:9-15.
41. Seybold, C.A., R.B. Grossman, and T.G. Reinsch. 2005. Predicting Cation Exchange Capacity for Soil Survey Using Linear Models. Soil Science Society of America Journal, 69:856-863.
42. Tarkalson, D.D., B. Brown, H. Kok, and D.L. Bjorneberg. 2009. Irrigated small-grain residue management effects on soil chemical and physical properties and nutrient cycling. Soil Science, 174:303-311.
43. Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37:29-37.
44. West, T.O., and. W.M. Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. Soil Science Society of America Journal, 66:1930-1946.
45. Ye, L., H. Tang, J. Zhu, A. Verdoodt, and E. Van Ranst. 2008. Spatial patterns and effects of soil organic carbon on grain productivity assessment in China. Soil Use and Management, 24:80-91.
46. Yuana, B.C., Z.Z. Lia, H. Liub, M. Gaob, and Y.Y. Zhang. 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. Applied Soil Ecology, 35:319-328.
47. Zinn, Y.L., R. Lal, J.M. Bigham, and D.V.S. Resck. 2007. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. Soil Science Society of America Journal, 71:1204-1214.

Archive of SID

www.SID.ir