Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۳ صفحه‌های ۷۹ تا ۹۱ / سال ۱۳۹۷

برهمکنش نیکل و آهن بر برخی صفات زراعی گیاه ذرت(*Zea mays* L.) در یک خاک آهکی

عادل ریحانی تبار*[۱]، منیره عیدی[۲]، نصرت اله نجفی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۱۲ تاریخ پذیرش:۹۷/۸/۲۰

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

*مسول مکاتبات، پست الکترونیکی: areyhani@tabrizu.ac.ir

چکیده

نیکل (Ni) یکی از عنصرهای اخیرا اضافه شده به فهرست عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. از طرف دیگر تجمع نیکل در خاک و گیاهان در غلظت‌های بالا، نگرانی برای سلامت بشر و سایر موجودات زنده را افزایش داده است. برای مطالعه اثر مصرف توام نیکل و آهن بر برخی صفات زراعی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در یک خاک آهکی با بافت متوسط، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در سه تکرار انجام گرفت. فاکتورها شامل مقدار نیکل مصرفی در چهار سطح (۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک) از منبع سولفات نیکل خالص ($NiSO_4.6H_2O$) و آهن در پنج سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن بر کیلو گرم خاک) از دو منبع سولفات آهن ($FeSO_4.7H_2O$) و سکوسترین (FeEDDHA) تجاری بودند. بر طبق نتایج حاصله در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک، وزن خشک بخش هوایی به ترتیب ۱۶/۲ و ۳۱/۹ درصد و وزن خشک ریشه به ترتیب ۲۸/۵ و ۳۰/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. ارتفاع ساقه در حضور ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک، ۱۴ درصد و شاخص کلروفیل در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل، نسبت به شاهد به ترتیب ۳۲/۴ و ۴۰/۵ درصد کاهش یافت. افزایش سطوح آهن مصرفی از هر دو منبع مورد استفاده باعث افزایش معنادار وزن خشک بخش هوایی ذرت شد. اما وزن خشک بخش هوایی در سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین با افزایش نیکل از ۱۰ به ۵۰ میلی‌گرم و همچنین از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم به‌ترتیب ۸۱/۹ و ۲۹ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آهن، برهمکنش، خاک آهکی، ذرت، نیکل

www.SID.ir

Archive of SID

The Interactive Effects of Nickel and Iron on Some Agronomic Traits of Corn (*Zea mays* L.) in a Calcareous Soil

A Reyhanitabar[1*], M Eydi[2] and N Najafi[1]

Received: 3 December 2018 Accepted: 11 November 2018
[1-] Assoc. Prof., Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
[2-]Former M.Sc. Student, Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
*Corresponding Author, Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

Abstract

Nickel (Ni) is an element that has recently been added to the list of essential micronutrients of plants**.** On the other hand, accumulation of Ni in soils and plants has increased concerns about humans and other living organisms for toxicity of Ni. To study the effect of Ni and iron (Fe) on the growth characteristics of corn (*Zea mays* L**.**) plant in the soil a factorial experiment on the basis of randomized complete blocks design with three replications was carried out under greenhouse condition in a calcareous soil. The factors included the concentration of the applied Ni at four levels (0, 10, 50 and 100 mg Ni kg^{-1} soil) as pure nickel sulfate ($NiSO_4.6H_2O$) source and Fe at five levels of 0, 10 and 20 mg Fe kg^{-1} soil, as iron sulfate (FeSO4.7 H_2O) and commercial Fe sequestrene (FeEDDHA). According to the results, at the applied levels of 50 and 100 mg Ni kg^{-1} soil, the shoot dry weight was decreased by 21.1 and 31.9%, and the relevant decrease of root dry weight was 30.8 and 28.5% respectively, as compared to the control. Stem height was decreased by 2.1% in the presence of 100 mg Ni kg^{-1} soil, as compared to the control. Chlorophyll index was decreased by 32.4 and 40.5% in levels of 50 and 100 mg Ni kg^{-1} soil, respectively, as compared to the control. Increasing Fe levels of the two applied Fe sources significantly increased the shoot dry weight. But the shoot dry weight was decreased by 81.9 and 29% at 20 mg Fe level of Fe-EDDHA, as Ni was increased from the levels of 10 to 50 mg and from 50 to100 mg, respectively.

Keywords: Corn, Calcareous soil, Interaction, Iron, Nickel

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) بعد ازگندم و برنج سوّمین محصول زراعی دنیا از نظر سطح زیر کشت و دومین محصول بعد از گندم از نظر میزان تولید است. در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای در کشور ما معادل ۲/۲ ٪ از کل سطح محصولات زراعی و ۲/۵ ٪ از کل میزان تولید محصولات زراعی و همچنین ۹/۶ ٪ از کل میزان تولید غلات بود (بی‌نام ۲۰۱۳). نیکل (Ni) یکی از جدیدترین عنصرهای افزوده شده به فهرست عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. نیکل ۵ حالت اکسایشی دارد (۰، ۱+، ۲+، ۳+ و ۴+) که معمول‌ترین حالت اکسایشی نیکل در خاک و شکل قابل جذب آن توسط گیاهان Ni^{2+} می‌باشد. از میان حالت‌های اکسایشی نیکل، فقط Ni^{2+} در محدوده وسیعی از pH و شرایط اکسید و احیایی موجود در محیط خاک، پایدار است (گرین وود و اینشاو ۱۹۹۷). نظر به حضور عنصر نیکل به عنوان کوفاکتور در ساختمان آنزیم اوره‌آز وجود نیکل در غلظت مناسب در محیط رشد گیاهان ضروری است، اما با توجه به مصرف رو به فزاینده کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و دیگر شکل‌های کودهای آلی در اراضی زراعی و با توجه به حضور

www.SID.ir

Archive of SID

نیکل در آنها و به دنبال گزارش غلظت زیاد نیکل در خاک‌ها، نگرانی درباره تجمع نیکل در خاک‌ها، سمیّت نیکل برای گیاهان، افت کیفیت خاک و تهدید کشاورزی پایدار افزایش یافته است (آلووی ۱۹۹۰).

قابلیت جذب نیکل ارتباط نزدیکی با فعالیت نیکل آزاد در محلول خاک دارد و جذب گیاهی نیز به واکنش خاک، مقدار مواد آلی، مقدار کربنات کلسیم در خاک‌های آهکی و مقدار اکسیدهای آهن و منگنز بستگی زیادی دارد (رونی و همکاران۲۰۰۷، لیاکا ۲۰۱۱). مقادیر بالاتر از mg/kg ۶۰ در خاک و ng/kg ۲۰ در بدن انسان مقادیر مخاطره‌آمیز نیکل می‌باشند (نایدو و همکاران ۲۰۰۳). دامنه کفایت نیکل در گیاهان از ۰/۰۱ تا ۱۰ میلی‌گرم برکیلوگرم وزن خشک متغیر است (جرنداس و ماچر۱۹۹۷). مطالعاتی که در نوعی ماش انجام شد، نشان داد که نیکل در متابولیسم گیاهان لگومینوز در طول مرحله تولیدمثلی نقش دارد (چکای و همکاران ۱۹۸۶). مطالعه براون و همکاران (۱۹۸۷) در مورد پاسخ گیاه جو به افزودن نیکل در شرایط گلخانه‌ای نشان داد که کمبود نیکل اثرهای منفی زیادی بر رشد و متابولیسم دارد. این اثرات شامل کاهش رشد گیاه، پیری زودرس، اختلال در متابولیسم نیتروژن و جذب آهن می‌باشد. اکثر تحقیقات در مورد مصرف نیکل در محیط رشد گیاهان در سیستم‌های هیدروپونیک انجام یافته و گزارش شده است که نیکل در غلظت‌های پایین باعث افزایش رشد اسفناج (خان و همکاران ۱۹۹۷)، کلم، ذرت و شبدر (یانگ و همکاران ۱۹۹۶) و خیار (طباطبایی ۲۰۰۹) شده است. یافته‌های طباطبایی نشان داد که مصرف ۰/۵ میلی‌گرم نیکل بر لیتر سبب افزایش معنادار سطح برگ و عملکرد خیار شد ولی غلظت های بالای نیکل (۱ میلی گرم بر لیتر)، رشد گیاه خیار را دچار اختلال کرد. خاصیت سمی بودن نیکل از توانایی آن برای جانشین شدن به جای سایر یون‌های فلزی در آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و یا پیوند یافتن به ترکیبات سلولی ناشی می شود (سیمپل و نیکل۲۰۰۶). در مورد برهمکنش نیکل با آهن و سایر فلزات سنگین مقالات منتشر شده به‌شدت محدود بوده و در این زمینه تحقیقات اندکی انجام یافته است، اما آنچه که تاکنون مشخص شده است این است که نیکل به‌وسیله بیشتر گیاهان زراعی به‌آسانی جذب و به عنوان یک کاتیون دو ظرفیتی با جذب کاتیون‌های دیگر مانند کلسیم، منیزیم، آهن و روی رقابت می‌کند. البته به‌دلیل غلظت مناسب کلسیم و منیزیم در محلول خاک‌های آهکی این رقابت از اهمیت کمتری نسبت به روی و آهن برخوردار است. بنابراین غلظت زیاد نیکل در محیط ریشه و یا درون گیاه، ممکن است باعث کمبود روی و آهن شده و منجر به زردی (کلروز) می‌شود (اندرسون و همکاران ۱۹۷۳). در یک پژوهش افزایش نیکل تا سطح ۱۰۰ میکرومولار در محلول غذایی باعث کاهش غلظت آهن و مس فقط در بخش هوایی و کاهش غلظت منگنز و روی هم در بخش هوایی و هم ریشه گیاه جو شد. همچنین نیکل باعث کاهش انتقال مس و آهن از ریشه به ساقه شد (رحمان و همکاران ۲۰۰۵).

هر چند اکثر گیاهان زراعی در هر هکتار تنها بین ۵ تا ۱۰ کیلوگرم آهن در سال جذب می‌کنند، اما در بسیاری مواقع، رشد طبیعی آنها از تغذیه نامناسب آهن صدمه می‌بیند . این حالت درخاک‌های آهکی صادق بوده و پایداری کشاورزی را به شدت تهدید می‌کند. کمی آهن قابل استفاده برای گیاهان در این خاک‌ها، معمولاً مرتبط با حلالیت کم ترکیبات آهن‌دار در شرایط بازی و اکسایشی می‌باشد. البته در شرایط آبیاری غرقابی و حاکم شدن شرایط احیایی کانی کربنات آهن یا سیدریت نیز تشکیل و باعث کاهش فعالیت آهن محلول خاک می

www.SID.ir

Archive of SID

شود. البته در محیط های اکسید کننده، سیدریت ناپایدار بوده و دوباره تبدیل به گوتیت و لیمونیت می شود (فولت و همکاران، ۱۹۸۱). اثر افزایش pH در کم کردن فعالیت آهن آزاد در خاک‌ها به افزایش بار سطحی وابسته به pH در اکسیدهای آهن، آلومینیم و منگنز (استال و جیمز ۱۹۹۱) و یا به رسوب هیدروکسیدهای فلزی (لیندزی ۱۹۷۹) نسبت داده می‌شود. قابلیت جذب آهن توسط گیاهان تابع عوامل خاکی و گیاهی بوده و از عوامل خاکی می‌توان به مقدار کربنات کلسیم معادل خاک، بی‌کربنات محلول، پتانسیل ریداکس، رطوبت خاک، pH خاک و برهمکنش سایر عناصر اشاره کرد. به ازای افزایش هر واحد pH خاک، فعالیت Fe^{3+}، ۱۰۰۰ برابر و Fe^{2+} ۱۰۰ برابر در محلول خاک کاهش می‌یابد و درpHهای معمول خاک‌ها فعالیت آهن کل محلول برای برطرف کردن نیاز گیاهان به آهن، حتی در خاک‌های اسیدی هم کافی نیست (هاولین و همکاران ۲۰۰۵). قبل از عرضه کی‌لیت‌های آهن در بازار، استفاده از کود سولفات آهن در زراعت و باغ‌های دچار کمبود مرسوم بود، اما سولفات آهن بعد از افزودن به خاک آهکی، به سرعت با آهک واکنش داده و ضمن تولید رسوب قابلیت جذب آهن برای گیاه بسیار کم می‌شود. لذا به دلیل عدم اثر بخشی قطعی سولفات آهن زمینه برای ساخت و ترویج کی‌لیت‌های آهن فراهم و مصرف کی‌لیت‌های آهن در این شرایط در مقایسه با کودهای معدنی از نظر علمی توصیه شده است (گودسی و همکاران ۲۰۰۳). افزودن عوامل کی لیت کننده به خاک، حلالیت اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن را در خاک افزایش می‌دهد (هاولین و همکاران ۲۰۰۵). EDDHA در محدوده pH =۴-۹ کی‌لیت بسیار پایدار با آهن سه ظرفیتی تشکیل می‌دهد. به علت ترشح ترکیبات احیای کننده از آپوپلاست سلول‌های ریشه، آهن سه پیوسته به سکوسترین به آهن دو ظرفیتی تبدیل و ریشه گیاه آهن دو ظرفیتی را جذب می‌کند (کوچیان، ۱۹۹۱). هم اکنون قیمت یک کیلوگرم سولفات آهن در بازار ایران حدود هشت هزار ریال و قیمت یک کیلوگرم کی‌لیت آهن مناسب برای مصرف خاکی در حدود هفتصد هزار ریال می‌باشد . اگرچه مقایسه نسبت قیمت این دو کود بستگی به میزان مصرف دارد ولی معمولا هزینه مصرف کی‌لیت آهن بیش از ۸ برابر سولفات آهن گزارش شده است (به نقل از حیدری و همکاران۲۰۱۴). پناس و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند که در خاک‌های آهکی دچار کمبود متوسط تا شدید آهن، برای رسیدن به عملکرد بیشینه سویا، مصرف خاکی ۴/۵ – ۳/۵ کیلوگرم Fe- EDDHA در هکتار بسته به ژنوتیپ گیاه، لازم است. البته بر خلاف کی لیتها ممکن است سولفات آهن اثر باقی مانده برای سال‌های بعد داشته باشد. همچنین کی‌لیتها حلالیت بالایی داشته و مانند سایر کودهای با حلالیت بالا مخاطرات زیست محیطی خاص خود را دارند.

با توجه به اینکه کمبود آهن قابل جذب در اکثر خاک‌های ایران رایج است و غلظت نیکل در خاک‌های زراعی ایران رو به افزایش است و نیکل در غلظت‌های بالا ممکن است باعث کاهش جذب آهن و در نتیجه افت شاخص‌های زراعی در ذرت شود، بنابراین بررسی برهمکنش بین نیکل و آهن ضروری به نظر می‌رسد. مضافاً بر اینکه گزارش چاپ شده‌ای در مورد برهمکنش آهن×نیکل در خاک‌های ایران به‌ویژه در مورد گیاه ذرت وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق یک خاک آهکی با بافت متوسط و مقدار نیکل و آهن قابل جذب کم انتخاب گردید. نمونه خاک پس از هوا خشک شدن و مخلوط کردن کامل از الک ۲ میلی‌متری عبور و سپس بافت خاک به روش هیدرومتر چهارزمانه (گی و بادر ۱۹۸۶)،

www.SID.ir

Archive of SID

pH و EC در عصاره اشباع خاک (ریچاردز ۱۹۵۴، رودز ۱۹۹۶)، رطوبت ظرفیت مزرعه یا FC خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در فشار ۰/۲ اتمسفر (کاسل و نیلسون ۱۹۸۶) ماده آلی خاک به روش والکلی بلک اصلاح شده (نلسون و سامرز ۱۹۸۲)، کربنات کلسیم خاک معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (سرویس حفاظت خاک آمریکا، ۱۹۹۲)، پتاسیم قابل جذب با استات آمونیوم (گوپتا ۲۰۰۰)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و همکاران۱۹۵۴)، نیکل کل خاک به روش Aqua-Regia و نیکل، آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب با روش DTPA(لیندزی و نورول ۱۹۷۸) استخراج و با دستگاه جذب اتمی (شیمادزو AA6300) اندازه‌گیری گردیدند. برای افزودن سطوح نیکل به خاک و کشت گلخانه ای ابتدا مقادیر ۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات نیکل خالص ($NiSO_4.6H_2O$) تهیه شده از شرکت مرک آلمان در رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به خاک مورد نظر (عبوری از الک شمارهٔ ۴ با قطر ۴/۷۵ میلی‌متر) اضافه و به طور متناوب بهم زده شدند و سه چرخه مرطوب کردن (تا رطوبت FC) و خشک کردن (تا رطوبت هواخشک) جهت اختلاط کامل نیکل با خاک اعمال شد. سپس آهن از دو منبع سولفات آهن($FeSO_4.7H_2O$) و سکوسترین (FeEDDHA) در ۳ سطح، صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن بر کیلو گرم خاک از دو منبع ذکر شده (جمعا ۵ سطح) به خاک مورد نظر افزوده شد. سایر عناصر مورد نیاز مطابق آزمون خاک به گلدان‌ها افزوده شد. برای این منظور عناصر مس و منگنز به میزان ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب از منابع سولفات مس ($CuSO_4.5H_2O$) و سولفات منگنز ($MnSO_4.4H_2O$) مصرف شدند. نیتروژن به میزان ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع اوره [$CO(NH_2)_2$] در سه تقسیط به خاک گلدان‌ها افزوده شد و چون خاک مورد مطالعه کمبود پتاسیم و فسفر قابل جذب نداشت لذا این عناصر مصرف نشدند. در نهایت نمونهٔ خاک‌ها هواخشک و سپس در گلدان ریخته و آماده کشت شد. سپس ۵ عدد بذر در هر گلدان کشت گردید. بعد از یک هفته گیاهان به ۳ عدد در هر گلدان تنک شدند. قبل از برداشت شاخص کلروفیل برگ‌ها توسط دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech, CL-01) اندازه‌گیری شد. این دستگاه میزان نسبی کلروفیل برگ را بر اساس مقدار نور عبور کرده از برگ در دو ناحیه طول موجی که جذب کلروفیل در این دو ناحیه تفاوت دارد، بدون تخریب برگ به صورت یک عدد نشان می دهد. بعد از اتمام ۹۰ روز، گیاهان برداشت و اندام‌هوایی و ریشه‌ها از هم جدا شدند. ارتفاع گیاه به وسیله خطکش و قطر ساقه در محل طوقه به وسیله کولیس اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها با آب مقطر شسته و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت در آون تا ثابت شدن وزن نمونه‌ها خشک شدند. بعد از اتمام این مدت، نمونه‌ها از آون خارج گردید و با ترازوی دیجیتالی با دقت (۰/۰۰۱±g) وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. رسم نمودارها با Excel و آنالیز آماری با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ آمده است. خاک مورد مطالعه آهکی و دارای بافت غالب لوم بود. همانطور که مشاهده می‌شود آهن قابل جذب این خاک در حدود ۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. آهن قابل جذب خاک کم بوده و انتظار می‌رود که گیاه ذرت به به مصرف آهن واکنش نشان دهد. نیکل کل خاک ۱۶/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. مقدار نیکل کل خاک مورد مطالعه طبق گزارش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۹۹۵) که غلظت بیشتر از ۶۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک را به عنوان غلظت آلاینده عنوان کرده، کمتر از حد آلاینده بود(نیشابوری و ریحانی تبار ۲۰۱۰).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق.

کلاس بافت	شن	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	نیتروژن کل	رطوبت FC	EC_e	pH_e
	(٪)							$(dS\ m^{-1})$	
لوم رسی شنی	۴۹	۲۵	۲۶	۷/۲	۰/۹۴	۰/۰۴۲	۱۹	۰/۶۸	۸/۱

ادامه جدول ۱

فسفر*	پتاسیم*	آهن*	منگنز*	مس*	روی*	نیکل*	نیکل کل
$(mg\ kg^{-1})$							
۳۳/۵	۷۱۹	۳/۶	۲/۱	۰/۹	۱/۴	۰/۶۰	۱۶/۸۷

*شکل قابل جذب عناصر

وزن خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس اثر نیکل، آهن و اثر متقابل آن دو بر وزن خشک بخش هوایی در سطح یک درصد معنادار بودند(جدول تجزیه واریانس ارایه نشده است). اثر اصلی نیکل بر وزن خشک بخش هوایی گیاه ذرت در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به شاهد معنادار بود؛ به طوری که در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک، وزن خشک بخش هوایی به ترتیب ۱۶/۲ و ۳۱/۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۲). این یافته‌ها مطابق با گزارش‌های عبدالطیف و همکاران (۱۹۸۸) برای سورگوم و الویا و نجیب (۱۹۸۷) برای سویا بود. افزایش سطوح آهن از هر دو منبع مورد استفاده، باعث افزایش معنادار وزن خشک بخش هوایی نسبت به شاهد شد. سطح بحرانی آهن (با استفاده از DTPA و روش تصویری کیت- نلسون) در خاک‌های آذربایجان شرقی ۱۰/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (خلخال ۲۰۱۴). با توجه به اینکه آهن قابل جذب خاک مورد مطالعه کمتر از حد بحرانی است، این انتظار می‌رفت که با افزایش آهن، وزن خشک بخش‌هوایی نیز افزایش یابد. نبوی مقدم و همکاران (۲۰۱۳) افزایش وزن خشک بخش هوایی ذرت کشت شده در خاک‌های قائنات با بافت لوم رسی سیلتی را با مصرف ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم آهن از منبع سولفات آهن در هکتار گزارش کردند. با مقایسه بین منابع آهن مشاهده شد که وزن خشک بخش‌هوایی در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین نسبت به سطوح مذکور از منبع سولفات آهن، به‌ترتیب ۳۳ و ۸/۵ درصد بیشتر بود. هر چند حلالیت سولفات آهن در آب کم نیست، ولی پس از قرار گرفتن در بین ذرات خاک به سرعت رسوب می‌کند و کمتر در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. در حالی‌که سکوسترین با وجود یک بنیان پیچیده شیمیایی، در خاک پایدار بوده و از رسوب آهن برای مدت قابل قبولی جلوگیری می‌کند. در نتیجه سکوسترین یک کود مؤثر برای خاک‌های آهکی به شمار می‌رود و در محدوده pH ۴-۹ این کی لیت کاملا پایدار است. بالیگار و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که وزن خشک بخش‌هوایی گیاه کاکائو با مصرف ۱۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین ۸۶/۳ درصد نسبت به سولفات آهن بیشتر بود. این محققان دلیل این افزایش را افزایش غلظت آهن بخش‌هوایی درصورت استفاده از سکوسترین دانستند. مقایسه میانگین اثر متقابل نیکل و آهن (شکل ۱) نشان داد که با افزایش سطوح آهن مصرفی از صفر به ۲۰ میلی‌گرم، در سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن (سکوسترین)، وزن خشک بخش هوایی نسبت به سطح شاهد آهن (بدون حضور نیکل)، به طور معنادار، ۳۸ درصد افزایش یافت. با افزایش سطوح نیکل از صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم، وزن خشک بخش هوایی در سطح ۲۰ میلی‌گرم سکوسترین کاهش یافت؛ به‌طوری که در سطح مذکور آهن با افزایش نیکل از ۱۰ به ۵۰ میلی‌گرم و همچنین از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم به‌ترتیب ۸۱/۹ و ۲۹ درصد کاهش در وزن خشک بخش‌هوایی مشاهده شد.

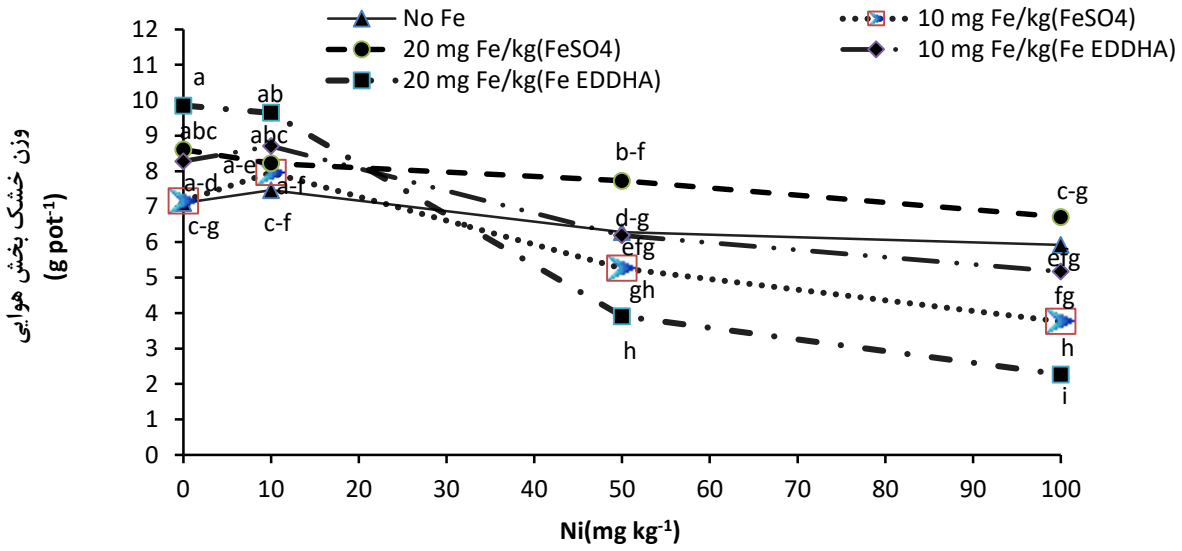
www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲- مقایسه میانگین‌های وزن خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع و قطر ساقه و شاخص کلروفیل برای اثر اصلی نیکل و آهن.

اثر اصلی	سطوح	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	شاخص کلروفیل
		(g pot^{-1})		(cm)		
نیکل	۰	۸/۲۰ a	۱/۳۳ a	۹۸/۴۹ a	۰/۵۱ a	۵/۹۲ a
	۱۰	۸/۴۰ a	۱/۳۸ a	۹۳/۶۶ ab	۰/۵۲ a	۵/۳۲ a
	۵۰	۶/۸۷ b	۰/۹۵ b	۹۱/۵۴ab	۰/۴۶ b	۴ b
	۱۰۰	۵/۵۸ b	۰/۹۲ b	۸۴/۶۸ b	۰/۴۶ b	۳/۵۲b
آهن	۰	۵/۲۸ d	۰/۹۶ c	۵۵/۸۳ c	۰/۲۸ d	۲/۴۹ d
	۱۰ (۱)	۶/۰۲ c	۱/۰۷ c	۶۶/۴۲ b	۰/۴۶ c	۳/۴۲ c
	۲۰ (۱)	۸/۲۳ b	۱/۳۶ b	۹۶/۳۴ a	۰/۵۱ b	۵/۱۴ b
	۱۰ (۲)	۸/۰۱ b	۱/۳۹ b	۶۹/۸۰ b	۰/۵۱ b	۵/۳۵ b
	۲۰ (۲)	۸/۹۳ a	۱/۸۵ a	۱۰۲/۸۸ a	۰/۶۲ a	۷/۰۵ a

در هر ستون میانگین‌های دارای یک حرف لاتین مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
۱ و ۲ به‌ترتیب اشاره به سولفات آهن و سکوسترین دارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های وزن خشک بخش هوایی گیاه ذرت برای اثر متقابل نیکل و آهن.

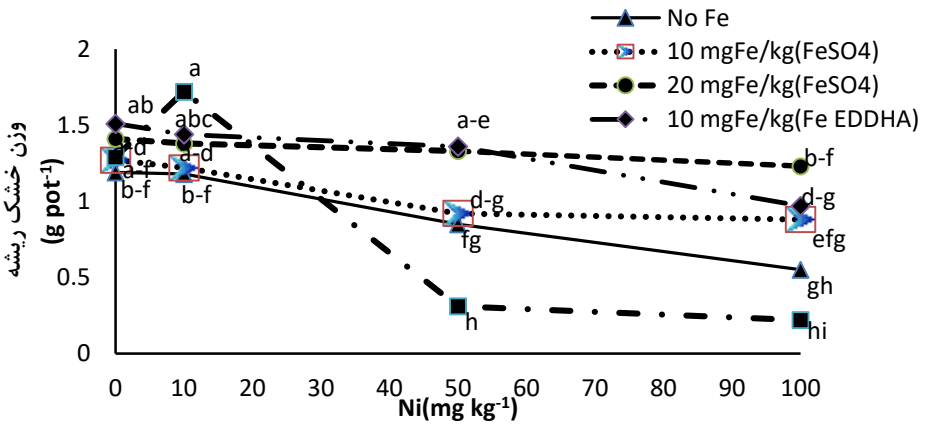
وزن خشک ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی نیکل و آهن و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول مربوطه ارایه نشده است). اثر اصلی نیکل بر وزن خشک ریشه گیاه ذرت در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به شاهد معنادار بود؛ به طوری که در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک، وزن خشک ریشه به ترتیب ۲۸/۵ و ۳۰/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۲). اثر اصلی آهن بر وزن خشک ریشه در سطح ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک (سولفات آهن) وزن خشک ریشه نسبت به شاهد افزایش یافت ولی معنادار نشد، در حالی‌که در سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سولفات آهن ۴۱/۶ درصد و همچنین در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع

www.SID.ir

Archive of SID

سکوسترین به ترتیب ۴۴/۷ و ۹۲/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش معنادار مشاهده شد (جدول ۲). با مقایسه وزن خشک ریشه مشاهده شد که در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین، وزن خشک ریشه نسبت به سطوح سولفات آهن، به‌ترتیب ۳۳/۰۵ و ۸/۵ درصد بیشتر بود. مقایسه میانگین اثر متقابل نیکل و آهن نشان داد که با افزایش سطوح نیکل از صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم، کاهش وزن خشک ریشه در سطح شاهد آهن، فقط در بین سطوح صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل معنادار بود. وزن خشک ریشه در سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن (سکوسترین) و ۵۰ میلی‌گرم نیکل کاهش معناداری نسبت به سطوح صفر و ۱۰ داشت. همانطور که مشاهده می‌شود در سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین با افزایش نیکل از ۱۰ به ۵۰ میلی‌گرم وزن خشک ریشه به شدت کاهش یافته که علت آن را می‌توان به جایگزینی نیکل با آهن موجود در سکوسترین (سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن) نسبت داد(نورویل ۱۹۹۱)، که ضمن جذب نیکل باعث کاهش وزن خشک ریشه شده است اما در سطح مذکور آهن با افزایش نیکل از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل وزن خشک ریشه تقریباً ثابت مانده است (شکل۲). احتمالاً به علت آهکی بودن خاک مورد مطالعه، نیکل در غلظت بالاتر در خاک به صورت کربنات و هیدروکسید نیکل رسوب کرده و یا در غلظت بالاتر جذب سطحی نیکل توسط خاک افزایش می‌یابد. تغییر در مورفولوژی ریشه و ساختار ریشه بر اثر افزایش غلظت نیکل باعث کاهش ماده خشک ریشه می‌شود (فونتز و همکاران ۲۰۰۶).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه گیاه ذرت برای اثر متقابل نیکل و آهن.

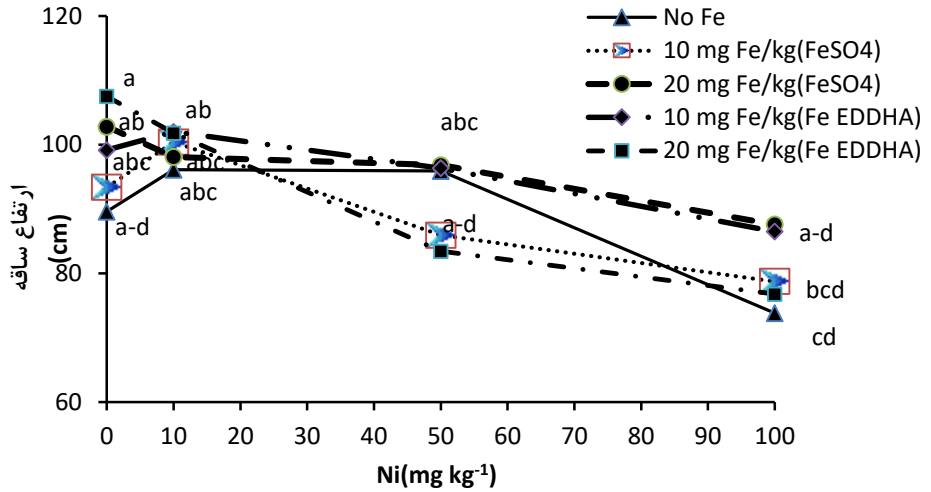
ارتفاع ساقه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی نیکل و آهن بر ارتفاع ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنادار اما اثر متقابل نیکل و آهن بر ارتفاع ساقه ذرت غیرمعنادار بود(جدول تجزیه واریانس ارایه نشده است). اثر اصلی نیکل بر ارتفاع ساقه ذرت فقط در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به شاهد معنادار بود، به طوری که ارتفاع ساقه در سطح مذکور نیکل، ۱۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۲). با افزایش سطوح آهن (در هر دو منبع) ارتفاع ساقه نسبت به شاهد افزایش یافت؛ به‌طوری که این افزایش در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منابع سولفات و سکوسترین به‌ترتیب ۱۸/۹، ۷۲/۵ و ۲۵ و ۸۴/۲ بود (جدول ۲). با مقایسه ارتفاع ساقه، در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین نسبت به سولفات آهن، به‌ترتیب ۳۳ و ۸/۵ درصد افزایش مشاهده شد. بالیگار و همکاران (۲۰۱۵) افزایش ارتفاع ساقه کاکائو را با مصرف ۱۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین نسبت به سولفات

www.SID.ir

Archive of SID

آهن، ۴۲/۷ درصد گزارش کردند. نبوی مقدم و همکاران (۱۳۹۲) افزایش ارتفاع ساقه ذرت را با مصرف ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم آهن (سولفات آهن) در هکتار گزارش کردند. افزایش ارتفاع به واسطه مصرف کود آهن مربوط به نقش این عنصر در فتوسنتز است که باعث افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌های جوان و افزایش تنظیم کننده‌های رشد و فتوسنتز و در نتیجه ورود مواد فتوسنتزی بیشتر به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها و در نهایت، باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌باشد. آهن در سنتز مادهٔ اولیهٔ کلروفیل اهمیت زیادی دارد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با کاربرد کود آهن ارتفاع گیاه افزایش یابد (ملکوتی و تهرانی ۱۹۹۹). مقایسه میانگین اثر متقابل نیکل و آهن نشان داد که با افزایش سطوح نیکل تغییرات معناداری در هیچ کدام از سطوح آهن مشاهده نشد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های ارتفاع ساقه گیاه ذرت برای اثر متقابل نیکل و آهن.

قطر ساقه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی نیکل و آهن بر ارتفاع ساقه ذرت در سطح احتمال پنج درصد معنادار اما اثر متقابل نیکل و آهن بر این صفت غیرمعنادار بود(جدول مربوطه ارایه نشده است). اثر اصلی نیکل بر قطر ساقه ذرت در سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به شاهد معنادار بود؛ به طوری که در هر دو سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک ۹/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش مشاهده شد (جدول ۲). با مقایسه منابع آهن مشاهده شد، در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین، قطر ساقه نسبت به سطوح سولفات آهن، به‌ترتیب ۱۰/۸ و ۲۱/۵ درصد بیشتر بود. استفاده از آهن موجب افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها و در نتیجه باعث افزایش قطر ساقه می‌شود. مقایسه میانگین اثر متقابل نیکل و آهن نشان داد که قطر ساقه با افزایش سطوح نیکل از ۱۰ به ۵۰ میلی‌گرم در سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین، به طور معناداری ۳۰ درصد کاهش یافته است (شکل ۴).

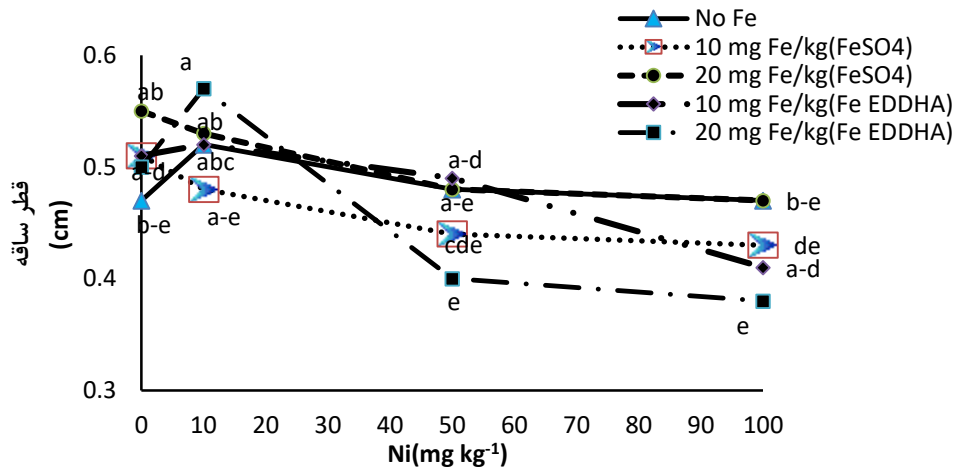
شاخص کلروفیل

در جدول تجزیه واریانس اثر اصلی نیکل و آهن بر شاخص کلروفیل برگ‌ها در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل آن دو بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود(جدول ارایه نشده است). اثر اصلی

www.SID.ir

Archive of SID

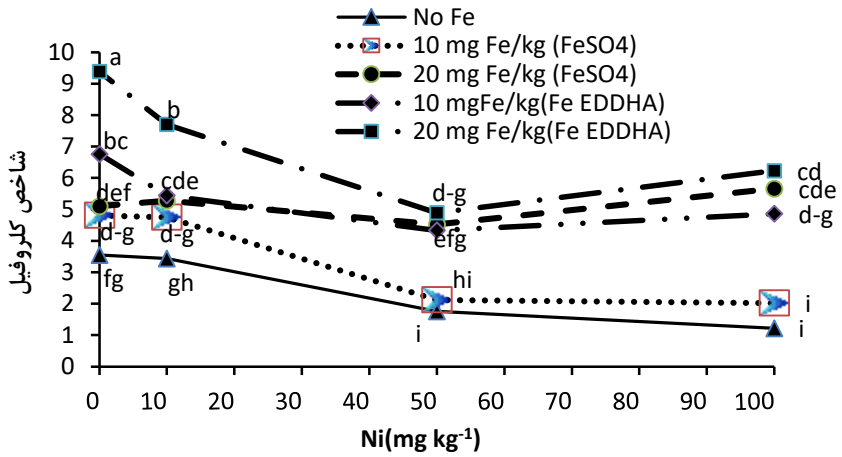
نیکل بر شاخص کلروفیل در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک، نسبت به شاهد کاهش معنادار داشت؛ به‌طوری که این کاهش ۳۲/۴ و ۴۰/۵ درصد بود (جدول ۲). افزایش سطوح آهن از هر دو منبع مورد استفاده، باعث افزایش معنادار شاخص کلروفیل نسبت به شاهد شد؛ به‌طوری که در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۳۷/۳ و ۱۰۶/۴ درصد (از منبع سولفات آهن) ۱۱۴/۸ و ۱۸۳/۱ درصد (از منبع سکوسترین) نسبت به شاهد افزایش معنادار مشاهده شد. با مقایسه منابع آهن مشاهده می شود که در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین، شاخص کلروفیل نسبت به سطوح متناظر آهن از سولفات آهن، به‌ترتیب ۵۶/۴ و ۲۱/۱ درصد افزایش معنادار دارد. بالیگار و همکاران (۲۰۱۵) افزایش شاخص کلروفیل را با مصرف ۱۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین نسبت به سولفات آهن ۱۶/۲ درصد گزارش کرده‌اند. افزایش این شاخص با مصرف کود آهن به علت نقش این عنصر در فتوسنتز و در سنتز کلروفیل می‌باشد. با افزایش سطوح نیکل از صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم، در سطح شاهد آهن شاخص کلروفیل کاهش یافت و این کاهش فقط در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل نسبت به سطح شاهد معنادار بود. با افزایش سطوح نیکل از صفر به ۱۰۰ میلی‌گرم، شاخص کلروفیل در سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین، در سطوح شاهد، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل به‌ترتیب ۲۱/۶۶، ۵۰/۲۵ و ۳۶/۶۲ درصد کاهش معناداری نسبت به سطح صفر مشاهده شد. با افزایش سطوح نیکل مصرفی شاخص کلروفیل تقریباً با یک روند مشابه بدون توجه به سطح و منبع آهن کاهش یافت. اگر چه شیب منحنی مربوط به سطح ۲۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین از بقیه بیشتر بود (شکل ۵).



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های قطر ساقه گیاه ذرت برای اثر متقابل نیکل و آهن.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برگ‌های ذرت برای اثر متقابل نیکل و آهن.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این مطالعه، نیکل در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باعث کاهش معنادار وزن خشک بخش‌هوایی، وزن خشک ریشه، قطر ساقه و شاخص کلروفیل شد. با مصرف سکوسترین تمامی صفات زراعی مورد آزمایش به طور معناداری افزایش یافت؛ به طوری که در بین تیمارهای مختلف منابع کودی آهن، بیشترین وزن خشک بخش‌هوایی و ریشه مربوط به تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن از منبع سکوسترین بود. همچنین قطر و ارتفاع ساقه و شاخص کلروفیل با مصرف سکوسترین، متناسب با مقدار مصرف کودی آهن، افزایش معناداری نسبت به سطح شاهد (عدم مصرف آهن) داشت. به نظر می‌رسد کاربرد سکوسترین در خاک نسبت به سولفات آهن باعث بهبود رشد شده است. با بررسی برهمکنش نیکل و آهن مشاهده شد که برهمکنش نیکل وآهن بر وزن خشک بخش‌هوایی، وزن خشک ریشه، قطر ساقه و شاخص کلروفیل گیاه ذرت معنادار شد. در این تحقیق گلخانه‌ای مصرف توأم سطح ۱۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن از منبع سکوسترین باعث کاهش صفات زراعی مورد مطالعه شد. این امر نشان دهنده تشدید خطر نیکل در خاک‌های آلوده به این عنصر در صورت مصرف کی‌لیت آهن را می رساند و پیشنهاد می‌شود تحقیقات در این زمینه ادامه یافته و امکان برطرف کردن کمبود آهن در خاک‌های آلوده به نیکل از طریق سایر روش‌های مصرف همچون برگ‌پاشی نیز مد نظر قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

Abdel latif EA, Rabie MA, Aboshelbaya MA and Nofal MA, 1988. The effect of nickel on plants (I) Effect of seed soaking in nickel sulphate solution on the growth and chemical composition of sorghum, Journal of Agricultural Research and Development Center 7: 33-46.

Anonymous, 2013. The first volume of agricultural crops, 2011-2012. Ministry of Agricultural Jihad, Vice Chancellor for of Planning and Economic, Center of Information and Communication Technology. Downloaded from http://www.maj.ir.

Anonymous, 1992. Soil Survey Laboratory Mthods and Procedures for Collection Soil Sample. USDA. SCS. Soil Survey. Washington, DC.

Alloway BJ. 1990. Heavy Metals in Soils. Blaikie and John Wiley and Sons Inc,: New York. 368 Pages.

Anderson AJ, Meyer DR and Mayer FK, 1973. Heavy metal toxicities: levels of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop. Australian Journal of Research Agricultural 24: 557-571.

www.SID.ir

Archive of SID

Baligar VC, Sicher RC, Elson MK, Fageria NK, Junior De, Almeida F and Ahnert D, 2015. Iron sources effects on growth, physiological parameters and nutrition of Cacao. Journal of Plant Nutrition 38:1787-1802

Bolan NS, Adriano DC and Curtin D, 2003. Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. Advances in Agronomy 78: 215-272.

Brown PH, Welch RM and Cary EE, 1987. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. Journal of Plant Physiology 85: 801-803.

Cempel M and Nikel G, 2006. Nickel: A review of its sources and environmental toxicology. Polish Journal of Environmental Study 15(3): 375-382.

Checkai RT, Norvel WA and Welch RM, 2002. Investigation of nickel essentiality in higher plants using a recirculated resinbuffered hydroponics system. Journal of Agronomy 2: 195-202

Eleiwa ME and Naguib MI, 1987. Response of soybean leaves to soil application of nickel, strontium of vanadium. The Egyptian Journal of Botany 30: 167-180.

Follet RH, Murphy LS and Donahue RL, 1981. Fertilizers and Soil Amendments. Englewood Cliffs New Jersey: Prentice-Hall.

Fuentes D, Disante KB, Valdecantos A, Cortina J, and Vallejo VR. 2006. Response of Pinus halepensis Mill Seedlings to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three Mediterranean forest soils Environmental Pollution 20:1-8.

Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle - size analysis. Pp. 383–411. In: Klute A (ed). Methods of Soil. Analysis Part 1. 2nd ed. Physical and Mineralogical Methods. ASA and SSSA, Madison, WI.

Gerendas J and Sattel Macher B, 1997. Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentration of urea, amino acids, and mineral nutrients of urea-grown plants. Plant and Soil, 190: 153-162.

Godsey CB, Schmidt JP, Schlegel AJ, Taylor RK, Thompson CR, and Gehl RJ, 2003. Correcting iron deficiency in corn with seed row-applied iron sulfate. Agronomy Journal 95: 160–166.

Greenwood NN and Earnshaw A, 1997. Chemistry of the Elements, Second Edition. Imprint: Butteworth Heinemann.

Gupta, PK. 2000. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi, India.

Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL and Nelson WL, 2005. Soil Fertility and Fertilizers, an Introduction to Nutrient Mmanagement. (Ed). Soil Science Society of America. Madison,Wisc.

Haydari H, Samar M and Ardalan M, 2014. Soil injection of iron sulfate, an inexpensive method for controlling iron deficiency of fruit trees. Journal of Land Management (In Persian) 1:151-160

Khalkhal K, 2015. Evaluation several extractants for determination of corn available iron and its critical level in some calcareous soils of East Azerbaijan province. A Master science thesis Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tabriz (In Persian).

Khan NK, Wantanabe M and Wantanabe Y, 1997. Effect of different concentrations of urea with or without nickel on spinach (*Spinacia oleraceae* L.) under hydroponic culture. PP. 85–86. In: AndoT, Fujita K, Mae T, Matsumoto S, Mori S and Sekiya J (eds.), Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Kochian LV, 1991. Mechanism of micronutrient uptake and translocation in plants. In: Mortvedt JJ , Cox FR, Shuman LM and Welch RM (eds.), Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society America. Inc., Madison, WI.

Lindsay WL and Norvell WA, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society America Journal. 42: 421-428.

Lindsay WL, 1979. Chemical Equilibria in Soils. New York: Wiley-Inter Science.

Nabavi Moghadam R, Saberi M, and Sayyari MH, 2013. Effect of soil application of iron and manganese sulfate on quantitative and qualitative characteristics of forage maize hybrid single cross 704. Journal of Crop Improvement 15:75-86

Naidu R, Bolan NS, and Owens G, 2003. A cost effective tool for contaminated land management. Pp: 5-19. In: Currie LD, Stewart RB and Anderson CWN (Eds). Environmental Management Using Soil-Plant Systems, Occasional Report No.16.Fertilizer and Lime Research Center, Massey University, Palmerston North.

www.SID.ir

Archive of SID

Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, and organic matter, Pp 539-580. In Page AL (ed). Methods of Soil Analysis, part 2- Chemical and Microbiological Properties, 2nd edn. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison,WI, USA.

Norvell WA. 1991. Reactions of metal chelates in soils and nutrient solutions. Pp: 115-138, In: J.J. Mortedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.

Neyshabouri MR and Reyhanitabar A, 2010. Interpreting Soil Test Results (Translated in Persian). University of Tabriz Press. Tabriz, Iran.

Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean CA, 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. Soil Science Society of American Journal 21: 144- 149.

Penas EJ, Wiese RA, Elmore RW, Hergert GW and Moomaw RS, 1990. Soybean chlorosis studies on high pH bottomland soils. Bull. 312. Univ. Nebraska Inst. Agric. Nat. Resour. Lincoln.

Rahman H, Sabreen Sh, Alam Sh and Kawai Sh, 2005. Effects of nickel on nutrient solution. Journal of Plant Nutrition, 3: 393-404.

Rhoades JD 1996. Salinity electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-436. In: Sparks, DL. Methods of Soil Analysis,Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society and American Society of Agronomy, Madison, WI.

Richards LK, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. Agriculture Hand Book, Salinity Laboratory Staffs. Department of Agriculture, USA.

Rooney CP, Zhao FJ, and McGrath SP, 2007. Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties, Ni solubility and speciation. Environmental Pollution, 145: 596-605.

Stahl RS and James BR, 1991. Zinc sorption by B horizon soils as a function of pH. Soils Science Society of American Journal 55:1592-1597.

Tabatabaei SJ, 2009. Supplements of nickel affect yield, quality, and nitrogen metabolism when urea or nitrate is the sole nitrogen source for cucumber. Journal of Plant Nutrition, 32: 713-724.

Waling I, Vark WV, Houba VJG and Vanderlee JJ, 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7. Plant Anal Proceeding. Wageningen Agriculture University, the Netherlands.

Yang X, 1996. Plant tolerance to nickel nutrients toxicity 2. Nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. Journal of Plant Nutrition 19: 265-279.

www.SID.ir