Archive of SID

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۲ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۱۵-۱۹۹

تغییرات صفات مورفوفیزیولوژیکی جو و باقلا تحت تناوب در واکنش به سمیت نیکل و کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی

سجاد شاکر کوهی[۱]، صفر نصراله‌زاده[۲]*، کاظم قاسمی گلعذانی[۳]، نصرت اله نجفی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۹/۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۲٤

۱-دانشجوی دکتری زراعت، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
٤- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: Email: nasr.tbu@gmail.com

چکیده

اهداف: ارزیابی اثرات سمیت نیکل بر صفات جو و باقلا تحت تناوب با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنی از اهداف این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها: یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا شد. در بخش اول گیاه جو با استفاده از ۳٦ گلدان کشت شد. عامل اول شامل غلظت نیکل در چهار سطح ۰، ۱۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و عامل کودی در سه سطح شامل عدم استفاده از کود، استفاده از کود زیستی نیتروژنی و استفاده از کود شیمیایی نیتروژنی بود. در بخش دوم گیاه باقلا با استفاده از ۷۲ گلدان (۳٦ گلدان با تناوب جو و ۳٦ گلدان بدون تناوب) کشت شد. در این بخش علاوه بر فاکتورهای نیکل و کود، عامل تناوب زراعی نیز اعمال شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش غلظت نیکل در خاک منجر به کاهش ارتفاع بوته، درصد آب برگ، شاخص کلروفیل برگ، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی گیاهان جو و باقلا شد، در مقابل نشت الکترولیت این گیاهان تحت این شرایط افزایش یافت. غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک باعث ایجاد سمیت شد، در حالی‌که غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باعث بهبود رشد گیاهان شد.

نتیجه‌گیری: کاربرد کودهای نیتروژنی باعث بهبود شرایط رشد گیاهان تحت تنش نیکل شد. کشت گیاه جو در تناوب جو-باقلا، از طریق کاهش سمیت نیکل در خاک منجر به بهبود عملکرد گیاه باقلا شد.

واژه‌های کلیدی: باقلا، تناوب، جو، کود زیستی، نیکل

www.SID.ir

Archive of SID

Morpho-physiological Changes of Rotated Barley and Faba bean plants in Response to Nickel Toxicity and Chemical and Biological Fertilization

Sajjad Shaker-Kouhi[1], Safar Nasrollahzadeh[2*], Kazem Ghassemi-Golezani[3], Nosratollah Najafi[4]

Received: August 3, 2020 Accepted: October 15, 2020
1. PhD Student of Agronomy, Dept. of Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
2. Assoc. Prof., Dept. of Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3. Prof., Dep. of Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
4. Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: nasr.tbu@gmail.com

Abstract

Background and Objective: The objective of this research was to assess the effect of nickel (Ni) toxicity on rotated barley and faba bean characteristics under chemical and biological nitrogenous fertilizers.

Materials and Methods: A greenhouse experiment with factorial arrangement based on randomized complete block design with three replications was conducted in two years of 2016-2017 at the Faculty of Agriculture, University of Tabriz. In the first part, barley seeds were sown using 36 pots with Ni levels of 0, 10, 100 and 200 $mg.kg^{-1}$ and nitrogen (N) fertilizer (control, urea and Nitroxin). In the second part, faba bean seeds were cultivated in 72 pots. In this part, the crop rotation factor was applied in addition to N fertilizer and Ni treatments.

Results: The results indicated that increasing Ni levels in soil markedly decreased plant height, leaf water content, chlorophyll content index, and root and shoot dry matters, but increased electrolyte leakage of barley and faba bean plants. The high level of Ni (100 and 200 $mg.kg^{-1}$) was led to soil toxicity. While, the low nickel concentration (10 $mg.kg^{-1}$) improved the growth of plants.

Conclusion: It can be concluded that application of N fertilizer improved the growth conditions of plants under Ni stress. Cultivation of barley significantly decreased Ni toxicity in the soil, leading to an improvement in faba bean performance in rotation.

Keywords: Barley, Biological Fertilizers, Faba bean, Nickel, Rotation

مقدمه

صنعتی شدن کشورها و افزایش جمعیت جهان طی قرن بیستم منجر به آلودگی خاک، آب و هوا توسط آلاینده‌های خطرناکی مانند فلزات سنگین و متعاقباً سبب آسیب به سلامتی انسان‌ها و ناپایداری اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی گردیده است (ژانگ و همکاران ۲۰۰۷). آلودگی زیستگاه‌ها به فلزات سنگین در جهان به یک مشکل بسیار مهم تبدیل شده است. چون نیمه‌عمر بیولوژیکی این فلزها بالاست، انباشتگی آن‌ها در بدن می‌تواند به مرزهای زیانباری رسیده و موجب بیماری در جانداران شود (بوهن و همکاران ۱۹۸۵). نیکل یکی از

www.SID.ir

Archive of SID

فلزات سنگین موجود در فاضلاب‌های صنایعی مثل آب-کاری فلز، رنگ‌سازی، میناکاری چینی و غیره می‌باشد (سرجین و کوژونیکوا ۲۰۰۶). نیکل به‌عنوان یک ریزمغذی در غلظت‌های کم برای رشد گیاه و همچنین فعالیت برخی آنزیم‌های فلزی ضروری است (شنگ و همکاران ۲۰۰۸). با این وجود این عنصر در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی می‌باشد (پاندی و شارما ۲۰۰۲). به‌طورکلی، سطح سمیت بحرانی نیکل برای گیاهان حساس بیش از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک، برای گیاهان با حساسیت متوسط بیش از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و برای گیاهان مقاوم بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شده است (چن و همکاران ۲۰۰۹).

سمیت نیکل به‌عنوان یک تنش غیرزیستی با برهم زدن تعادل بین تولید و تخریب، منجر به انباشتگی رادیکال‌های آزاد اکسیژن و ایجاد خسارت اکسیداتیو نظیر اکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تخریب پروتئین‌ها، آنزیم-ها، رنگدانه‌ها، مولکول کلروفیل و DNA شده و با مختل کردن عملکرد غشاء، مقدار آب بافت‌های سلولی را کاهش می‌دهد. غلظت‌های سمی نیکل سبب کاهش جوانه‌زنی بذر، کاهش رشد گیاه، جلوگیری از توسعه سیستم ریشه، ایجاد کلروز و بافت مردگی برگ، تخریب مولکول کلروفیل و کاهش فتوسنتز و تنفس گیاه می‌شود (بهمن زیاری و همکاران ۲۰۱۳). گیاهان کلم رشد یافته در شرایط تنش نیکل دچار کاهش ٤٠ درصدی سطح برگ شدند (بیشنوی و همکاران ۱۹۹۳). حضور بیش از حد نیکل در بافت برگی گیاه لوبیا سبز باعث بالا رفتن میزان ABA و در نتیجه بسته شدن روزنه گردید (مولاس ۱۹۹۷). محققان گزارش کرده‌اند که کاهش فتوسنتز توسط نیکل به دلیل اختلال در ساختار کلروپلاست، کلروفیل، انتقال الکترون، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوین و کاهش نفوذ CO_2 به دلیل بسته شدن روزنه می‌باشد (سرجین و ایوانو ۲۰۰۱). خطیب و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که گیاهان جعفری رشد یافته تحت تنش نیکل کاهش معنی‌داری در سطح برگ و وزن تر و خشک گیاه نشان دادند.

قرار گرفتن گیاهان در تناوب باعث افزایش فعالیت باکتری‌ها می‌شود که زیست فراهمی فلزات سنگین را کاهش می‌دهد (فاماگالی و همکاران۲۰۱٤). افزایش جمعیت ریزجانداران مفید می‌تواند مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی مانند کمبود آب، عناصر غذایی و سمّیت فلزات سنگین را کاهش دهد (وو و همکاران ۲۰۱۰). کاربرد مقادیر مناسب کودهای حاوی عناصر اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کودهای زیستی می-تواند اثرات سودمندی بر زیست فراهمی فلزات سنگین داشته باشد (وی و همکاران ۲۰۰۸). کودهای زیستی با مکانیسم‌های متعددی ازجمله تثبیت نیتروژن، کمک به آزاد شدن عناصر غذایی در خاک، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه و افزایش کارآیی جذب ریشه، موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (باشو و همکاران ۲۰۰۸). سمیت ناشی از غلظت‌های بالای نیکل از یک سو و ضرورت وجود آن برای رشد گیاهان از سویی دیگر، نشان دهنده اهمیت شناخت علائم مسمومیت این عنصر در گیاه و همچنین اطلاع از میزان جذب آن توسط گیاهانی که در شرایط وجود غلظت های مختلف نیکل رشد داده شده اند، می باشد. بر همین اساس در این پژوهش کوشش می‌شود که اثر نیکل بر صفات گیاهان جو و باقلا تحت تناوب با کاربرد کودهای نیتروژنی نیتروکسین واوره مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش ها

این پژوهش در گلخانه گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ انجام پذیرفت. مشخصات خاک مورد استفاده آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

نیکل قابل جذب ($mg. Kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg. Kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب ($mg. Kg^{-1}$)	نیکل کل ($mg. Kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی ($dS. m^{-1}$)	نیتروژن کل (٪)	کربن آلی (٪)	بافت	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	pH
۰/٦۱	۷۱۹	۳۳/٥	۱٦/۸۷	۰/٦۸	۰/۰٤۲	۰/۹٤	لوم رسی شنی	٤۹	۲٦	۲٥	۸/۱

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در بخش اول گیاه جو با استفاده از ۳٦ گلدان (۳٦ گلدان به‌صورت نکاشت باقی ماند) کشت شد. عامل اول شامل غلظت نیکل در چهار سطح ۰، ۱۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات نیکل ($NiSo_4, 6H_2O$) و عامل کودی در سه سطح شامل عدم استفاده از کود، استفاده از کود زیستی نیتروژنی (نیتروکسین) و استفاده از کود شیمیایی نیتروژنی(اوره) بود. در بخش دوم گیاه باقلا با استفاده از ۷۲ گلدان (۳٦ گلدان با تناوب جو و ۳٦ گلدان بدون تناوب) کشت شد. در این بخش علاوه بر فاکتورهای نیکل و کود، عامل تناوب زراعی در دو سطح شامل (بدون کشت – کشت باقلا و کشت جو - کشت باقلا) اعمال شد.

هر گلدان حاوی ٤ کیلوگرم خاک بود. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن در کیسه‌های نایلونی ریخته شد و سطوح نیکل در رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به آن اضافه و به‌طور 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 نمونه‌های خاک در گلدان‌ها ریخته و آماده کشت شد. کود زیستی مورد استفاده در این تحقیق از نوع نیتروکسین بود که دارای مجموعه‌ای از مؤثرترین باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن از جنس ازتوباکترو آزوسپریلیوم می‌باشد که توسط مؤسسه فن‌آوری زیستی آسیا تولید شده است. سهم هر یک از جنس‌های باکتری در هر میلی‌لیتر نیتروکسین به تعداد (CFU) $۱۰^۸$ سلول زنده است. نحوه‌ی مصرف این کود به‌صورت تلقیح با بذور جو و باقلا (۱۰۰ میلی ایتر به ازای بذر مصرفی) می‌باشد. کود شیمیایی مصرفی از نوع کود اوره (۱ گرم در هر گلدان) بود که به‌صورت پیش کاشت به خاک گلدان‌ها اضافه شد. رقم جو مورد استفاده نیمروز بود که از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر خوزستان تهیه شد. همچنین برای باقلا از رقم محلی استان گیلان استفاده شد. پس از کاشت بذور و انجام عملیات تنک، تعداد ۸ بوته جو و ٦ بوته باقلا در گلدان‌ها نگه داشته شد. در طول دوره رشد، رطوبت گلدان‌ها در حدود ظرفیت مزرعه نگهداری شد.

برای تعیین درصد آب برگ (LWC)، در مرحله زایشی و قبل از آبیاری گیاهان، از هر گلدان ٥ برگ جوان توسعه یافته از یک بوته جدا شد و در داخل کیسه پلاستیکی قرار گرفت و بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه توزین گردید (وزن تر، FW). سپس به مدت ٤۸ ساعت در آونی با دمای ۷٥ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و وزن خشک(DW) نمونه‌ها به دست آمد. در نهایت درصد آب برگ از فرمول $LWC = (FW - DW) / FW) \times 100$ محاسبه گردید. شاخص کلروفیل برگ در مرحله گلدهی با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (CCM-200) اندازه‌گیری شد. درصد نشت یونی (EL) به روش تاس و باسار (۲۰۰۹) اندازه‌گیری شد. بدین منظور برگ‌های تازه به‌طور دقیق با آب مقطر شسته شدند. از هر برگ، دیسک‌های ۲ سانتی‌متری تهیه گردید و درون ارلن‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر منتقل شد و در دمای اتاق (۲٥ درجه سانتی‌گراد) روی شیکر قرار گرفت و پس از ۲٤ ساعت هدایت الکتریکی آب داخل ارلن (EC_1) به وسیله EC متر، اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت

www.SID.ir

Archive of SID

یک ساعت درون اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و مجدداً هدایت الکتریکی (EC_2) اندازه‌گیری شد. در نهایت مقادیر نشت الکترولیت با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$EL = (EC_1 / EC_2) \times 100$$

اندازه‌گیری ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی از قسمت یقه تا نوک ساقه، به صورت تصادفی در ۳ بوته انجام گرفت. جهت به‌دست آوردن وزن خشک ریشه و اندام-های هوایی، بعد از برداشت و خارج کردن بوته‌ها، نمونه-های گیاهی با آب مقطر شسته شده و در آون با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم-افزارهای MSTAT-C و SPSS و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف نیکل، کود نیتروژنی و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع بوته جو معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش غلظت نیکل در خاک منجر به کاهش ارتفاع بوته جو شد، به‌طوری‌که این کاهش در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ١٦ و ٣٣ درصد به‌دست آمد. کاربرد کود اوره و نیتروکسین باعث افزایش در ارتفاع بوته در سطوح ۰ و ۱۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد شد، اگرچه این افزایش برای نیتروکسین قابل‌توجه نبود. بیشترین ارتفاع بوته جو در تیمار ۱۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با کاربرد کود اوره حاصل شد (جدول ۳). فلزات سنگین با اختلال در عمل هورمون‌هایی مانند اکسین، کاهش در رشد گیاه را درپی دارند. تأثیر مستقیم فلزات در متابولیسم سلولی اندام هوایی، ممکن است منجر به کاهش ارتفاع بوته و سایر صفات رشدی در گیاهان تحت تاثیر تنش این فلزات شود (پوترز و همکاران ۲۰۰۷). مطالعات نشان می‌دهد که فلزات سنگین مانند نیکل منجر به ناهنجاری‌های کروموزومی شده و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه می‌گردد (میکایلس و همکاران ١٩٨٦). یانگ و همکاران (١٩٩٦) با مطالعه بر روی جو و برنج گزارش کردند که طول ریشه و اندام هوایی این گیاهان با افزایش غلظت نیکل کاهش می‌یابد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نیکل و کود بر صفات جو

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	شاخص کلروفیل برگ	درصد آب برگ	نشت الکترولیت	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی
تکرار	۲	۲/۲۵	۰/٤۳	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/٤٤	۰/۰۱
نیکل	۳	٨٤٩/٩**	١٢١٧/٤**	١٩٠/٨**	٢٢٣٣/٨**	٧/٧٧**	٢١١/٧**
کود	۲	٦/٤٢**	٢/١٧*	٢/٣٨*	٣/٦٥**	٠/٧١^{ns}	٧/٥٦**
نیکل×کود	٦	٣/٤٦*	٥/٩٥**	١/٨٤*	٠/٣٧**	٠/٠١^{ns}	٦/٩١**
خطا	٢٢	١/١١	٠/٥٨	٠/٥٢	٠/٠١	٠/٢١	٠/٤١
ضریب تغییرات (٪)	-	٢/٠٢	٢/٢٦	٠/٨٥	٠/٧١	١٣/٦١	٣/١

ns ، *و** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص کلروفیل برگ جو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای نیکل و کود نیتروژنی قرار گرفت. اثر متقابل نیکل × کود نیز برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت نیکل به ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، کاهش قابل‌توجهی در شاخص کلروفیل برگ مشاهده شد. از طرفی کاربرد کودهای اوره و نیتروکسین منجر به بهبود این شاخص در سطوح پایین نیکل شد. براین اساس، بیشترین مقدار شاخص کلروفیل برگ مربوط به تیمار شاهد نیکل با کاربرد کود اوره بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نیکل و کود بر ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل برگ، درصد آب برگ، نشت الکترولیت و وزن خشک اندام هوایی جو

سطوح نیکل ($mg.kg^{-1}$)	کود نیتروژنی	ارتفاع بوته (cm)	شاخص کلروفیل برگ	درصد آب برگ	نشت الکترولیت (٪)	وزن خشک اندام هوایی ($g.pot^{-1}$)
۰	عدم کاربرد	۵۸/۵۶c	۴۱/۶۳c	۸۷/۸۶b	۵/۸i	۲۱/۸۹b
	اوره	۶۱/۵۰ab	۴۴/۸۵a	۸۹/۸۳a	۵/۴j	۲۵/۸۳a
	نیتروکسین	۶۰/۱۰bc	۴۴/۶۵a	۸۹/۶۳a	۵/۱k	۲۵/۳۳a
۱۰	عدم کاربرد	۵۹/۸۰bc	۴۱/۰۸c	۸۷/۷۳b	۷/۱۳g	۲۲/۷۳b
	اوره	۶۲/۲۶a	۴۳/۷۶ab	۸۸/۲۶b	۶/۲h	۲۶/۵۰a
	نیتروکسین	۵۹/۹۶bc	۴۳/۲۱b	۸۸/۶۳ab	۷g	۲۵/۹۳a
۱۰۰	عدم کاربرد	۵۱/۲۳d	۳۱/۰۲d	۸۳/۲۶d	۲۵d	۱۸/۵۶c
	اوره	۵۰/۵۳de	۲۹/۷۵de	۸۴/۶۳c	۲۳f	۱۸c
	نیتروکسین	۴۹/۱۶e	۲۹/۱۷e	۸۴/۱۳cd	۲۳/۶۶e	۱۷/۴۳c
۲۰۰	عدم کاربرد	۴۰/۷۳f	۱۹/۸۷f	۷۹/۷۰e	۳۹/۴۳a	۱۵/۸۳d
	اوره	۴۰/۰۳f	۱۸/۴۳g	۷۹/۴۰e	۳۸c	۱۴/۸۶d
	نیتروکسین	۳۹/۴۰f	۱۹/۲۰fg	۷۸/۰۳f	۳۸/۵b	۱۴/۷۰d

حروف غیرمشابه نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

علت اصلی کاهش شاخص کلروفیل، بازدارندگی بیوسنتز کلروفیل تحت تأثیر فلزات سنگین است (استوبارت و همکاران ۱۹۸۵). عناصر سنگین از طریق بازدارندگی در فعالیت دو آنزیم گاما آمینولوولینیک اسید دهیدروژناز (Gamma- aminolevulinic acid dehydrogenase) و پروتوکلروفیل ردوکتاز (protochlorophyllide reductase)، باعث کاهش بیوسنتز کلروفیل و تجزیه زیستی آن می‌گردند (اوزونیدو و همکاران ۱۹۹۵ و موستاکاس و همکارن ۱۹۹۷). کاهش سطح کلروفیل تحت تنش عناصر سنگین، تنها به علت ممانعت از بیوسنتز کلروفیل نیست، بلکه جانشینی منیزیم موجود در ساختار کلروفیل به‌وسیله عناصر سنگین از عمده‌ترین اثرات تخریبی این عناصر بر ساختار کلروفیل محسوب می‌گردد (کوپر و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

۱۹۹۶). پاندی و شارما (۲۰۰۳) نشان دادند که غلظت‌های بالای نیکل، کادمیوم و کبالت منجر به کاهش قابل‌توجه در غلظت کلروفیل گیاه کلم شده است. گاجیوسکا و همکارن (۲۰۰۶) گزارش کردند که تنش نیکل باعث کاهش محتوای کلروفیل گندم شد. بهبود شاخص کلروفیل در اثر کودهای نیتروژنی به‌طور عمده می‌تواند به حضور چهار اتم نیتروژن در ساختار مولکول کلروفیل مربوط باشد (مارشنر ۲۰۰۳). نیتروژن به‌عنوان یک عنصر ساختاری مولکول‌های کلروفیل بر تشکیل کلروپلاست و تجمع کلروفیل در آن تأثیر می‌گذارد (دوقتری و همکاران ۲۰۰۰).

درصد آب برگ جو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای نیکل و کود نیتروژنی قرار گرفت. اثر متقابل نیکل × کود نیز برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش غلظت نیکل در خاک منجر به کاهش درصد آب برگ شد، به‌طوری که این کاهش در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ٦ و ۱۱ درصد به‌دست آمد. کاربرد کودهای اوره و نیتروکسین به جزء در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک، باعث افزایش درصد آب برگ شد. بیشترین و کمترین درصد آب برگ به ترتیب در تیمار شاهد نیکل با کاربرد اوره و تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با کاربرد نیتروکسین مشاهد شد (جدول ۳). تنش فلزات سنگین می‌تواند اثرات مختلفی بر محتوای نسبی آب گیاهان داشته باشد. این تنش می‌تواند منجر به تولید اکسیژن فعال و آسیب به غشاءها و نشت شیره سلولی به واسطه پراکسیداسیون لیپید شود (پاندی و گواتام ۲۰۰۹). محققان گزارش کردند که کاهش درصد آب برگ تحت غلظت‌های بالای نیکل می‌تواند به‌دلیل کاهش در پتانسیل اسمزی شیره سلولی (روچینسکا-سوبکویاک ۲۰۱٦)، کاهش اندازه و سطح برگ و کاهش تعداد روزنه‌های سالم در هر واحد سطح برگ (گرگر و جوهانسون ۱۹۹۲)، باشد. رازر و دمبروف (۱۹۸۱) گزارش کردند که قرار گرفتن در معرض سطوح بالای نیکل، افت زیادی را در پتانسیل آب برگ لوبیای سفید ایجاد می‌کند.

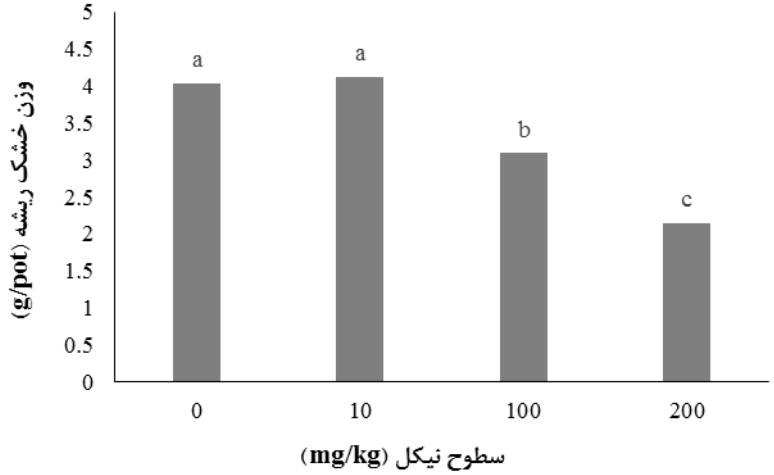
با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که اثر تیمارهای نیکل، کود نیتروژنی و اثر متقابل آن‌ها بر نشت الکترولیت برگ جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). با افزایش غلظت نیکل در خاک، میانگین نشت الکترولیت برگ جو به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در مقابل، کاربرد کودهای اوره و نیتروکسین باعث کاهش این صفت شد. غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب به افزایش ۲۰، ۷۷ و ۸۵ درصدی نشت الکترولیت برگ منجر شدند. بیشترین مقدار نشت الکترولیت برگ در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک تحت عدم کاربرد کود حاصل شد (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که نیکل متناسب با افزایش غلظت در خاک، تخریب دیواره‌ی سلولی را تحریک می‌کند و این تخریب منجر به افزایش تراوش الکترولیت می‌شود (آزودو و همکاران ۲۰۰۵). افزایش نشت الکترولیت در معرض سطوح بالای نیکل ممکن است در نتیجه افزایش تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال ROS، افزایش پراکسیداسیون لیپید و در نتیجه آسیب غشای سلولی باشد (باکوچ و همکاران ۱۹۹۸). گاجیوسکا و همکارن (۲۰۱۳) گزارش کردند که قرار گرفتن در معرض نیکل (۵۰ میکرو مولار) منجر به افزایش نشت الکترولیت برگ گندم نسبت به تیمار شاهد شد.

اثر سطوح مختلف نیکل بر وزن خشک ریشه گیاه جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش علظت نیکل به ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، وزن خشک ریشه کاهش قابل ملاحضه‌ای یافت به‌طوری‌که این کاهش برای این تیمارها به ترتیب ۲۳ و ٤٦ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۱۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک بود که بیانگر اثرات مثبت نیکل در سطوح پایین بر رشد گیاه جو می‌باشد، هرچند اختلاف معنی-داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش رشد گیاه را می‌توان به‌عنوان یک شاخص مفید برای نشان دادن میزان سمیت فلزات سنگین دانست (ارنست و همکاران ۱۹۹۲). کاهش معنی دار در وزن خشک ریشه ناشی از اثر سمیت نیکل در این اندام است. به‌دلیل این‌که ریشه اولین اندامی است که در معرض سمیت قرار دارد و بیش از سایر اندام‌ها در معرض آسیب عوامل بیرونی قرار می‌گیرد، در واقع می‌توان بیان نمود که ریشه به‌طور مستقیم در معرض سمیت نیکل قرار دارد، اما سمیت در سایر قسمت‌های گیاه به‌طور غیرمستقیم می‌باشد. یکی از علل بازدارندگی رشد ریشه در غلظت‌های بالای فلزات سنگین، حساسیت زیاد مریستم آپیکال ریشه به این فلزات است (پینروس و همکاران ۱۹۹۸). غلظت‌های سمی نیکل از طریق تغییر در ساختار غشای سلول‌های ریشه و کاهش سطوح جذب کننده آب، منجر به کاهش پتانسیل آب گیاه می‌شود که تأثیر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر تعرق، تنفس، فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه و بیوماس را به دنبال دارد (فوئنتس و همکاران ۲۰۰۶). محققین نشان دادند که فلزات سنگین از جمله نیکل باعث کاهش وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاهان و به‌طورکلی سبب کاهش بیوماس گیاهی می‌شوند (پاریدا و همکارن ۲۰۰۳).



شکل ۱- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه جو تحت تأثیر سطوح مختلف نیکل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای نیکل، کود نیتروژنی و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک اندام هوایی گیاه جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). وزن خشک اندام هوایی در سطوح بالای نیکل کاهش قابل‌توجهی نسبت به تیمارهای شاهد و ۱۰ میلی-گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نشان داد. کاربرد کودهای اوره و نیتروکسین منجر به بهبود این صفت در تیمارهای شاهد و ۱۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک شد که در این میان تأثیر اوره بیشتر از نیتروکسین بود. وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۱۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با کاربرد اوره بیشترین و در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با کاربرد نیتروکسین کمترین مقدار را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در غلظت‌های بالای فلزات سنگین گیاهان بیشتر انرژی خود را صرف بقاء در این محیط می‌نمایند و انرژی کمتری صرف رشد کلی گیاه می‌شود. کاهش توده بخش هوایی با افزایش غلظت عناصر سنگین ممکن است به علت حساسیت آنزیم‌های چرخه‌ی احیای کربن فتوسنتزی به نیکل باشد (شئوران و همکاران ۱۹۹۰). در تحقیقی مشاهده شد که با افزایش غلظت نیکل به ۳۰۰ تا ٤۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، وزن خشک اندام هوایی گیاهان آفتابگردان و سورگوم کاهش یافت، به‌طوری‌که آفتابگردان تأثیر بیشتری از

www.SID.ir

Archive of SID

وجود نیکل در خاک پذیرفت (محمدزاده و همکاران ۲۰۱۷).

اثر تناوب، سطوح مختلف نیکل و کود نیتروژنی بر ارتفاع بوته گیاه باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی-دار بود. همچنین اثرات متقابل تناوب × نیکل و نیکل × کود برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ٤). بدون در نظر گرفتن فاکتورهای تناوب و کود ، ارتفاع بوته باقلا تحت غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب کاهش ٦ و ۱۷درصدی نشان داد. اجرای تناوب و کاربرد کودهای نیتروژنی باعث افزایش ارتفاع بوته شد (جدول ٥). مقایسه میانگین‌های ترکیبات تیماری تناوب و نیکل برای ارتفاع بوته باقلا نشان می‌دهد که اجرای تناوب در سطوح بالای نیکل منجر به افزایش ارتفاع بوته شد، درحالی‌که این افزایش در سطوح پایین قابل‌توجه نبود (شکل ۲الف). همچنین با توجه به مقایسه میانگین‌های ترکیبات تیماری نیکل و کود، کاربرد کودهای نیتروژنی باعث بهبود ارتفاع بوته در تمامی سطوح نیکل شد (شکل ۲ب).

کاهش طول اندام هوایی در نتیجه حضور فلزات سنگین می‌تواند به‌دلیل تأثیر بازدارنده این فلزات بر رشد طولی ریشه و کاهش جذب مواد معدنی باشد (واسیلوو یوردانوو ۱۹۹۷). محققین دریافتند که عناصر سنگینی که به بخش هوایی گیاه منتقل می‌شوند به علت اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهند (ژو و همکارن، ۲۰۰٤). افزایش ارتفاع بوته از طریق کاربرد کودهای نیتروژنی می‌تواند مربوط به دسترسی بیشتر گیاه به آب و عناصر غذایی کافی به ویژه نیتروژن باشد که بر روی تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها مؤثر است. محققین افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد کودهای زیستی را ناشی از سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه مانند انواع هورمون‌های تنظیم کننده رشد از جمله اکسین‌ها، اسید آمینه‌های مختلف و انواع آنتی‌بیوتیک‌ها می‌دانند که با تحریک رشد گیاه و افزایش طول میانگره در نهایت باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (تیلاک و همکاران ۲۰۰۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای تناوب، نیکل و کود بر صفات باقلا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	شاخص کلروفیل برگ	درصد آب برگ	نشت الکترولیت	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی
تکرار	۲	۰/۰۳	۰/٤٤	۰/۹٤	۱/۳۲	۰/۰۰٤	۱/۱۰
تناوب	۱	۲۲/۲۲**	۱۷/٦۱**	۳۷/۸٤**	٤/۷۰*	۰/٤۱**	۸/۷۱**
نیکل	۳	۸۲۱/٤**	۱۳۹۱/٥**	۲۸۳/۹**	٤٤٥۷/۹**	۱۰/۸٦**	۸۹۹/۸**
تناوب×نیکل	۳	۳/۷٤*	۰/۱٤ns	۰/۷٦ns	۱/۰۱ns	۰/۰۳**	۲/۳۸**
کود	۲	۱۲/۸٦**	۱٤/۸٥**	۳/۳٤**	٥/۰۲**	۰/۰۹**	۷/۰۰۳**
تناوب×کود	۲	۰/۰٥ns	۰/۲۹ns	۰/۰۹ns	۰/۰٤ns	۰/۱٦**	۰/٦۳ns
نیکل×کود	٦	۲/٦۳*	۷/۹۱**	۱/۰٤**	۱/۸۷*	۰/۰۸**	۱/۷**
تناوب×نیکل×کود	٦	۰/۰٦ns	۰/۰۷ns	۰/٥۲ns	۰/۱٤ns	۰/۰۱**	۲/۸٥**
خطا	٤٦	۱/۰٦	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۷۱	۰/۰۰٥	۰/۳٦
ضریب تغییرات (٪)	–	۱/۳۳	۱/٥۳	۰/٦٥	٤/۲۳	۲/٥	۲/۱۱

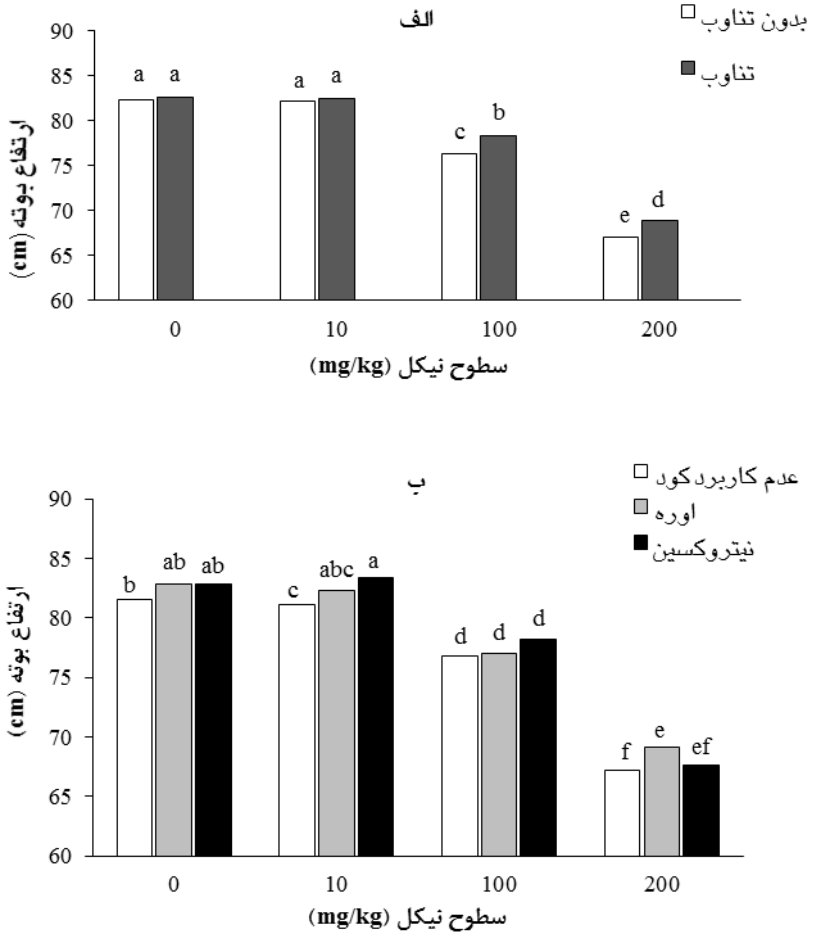
ns، *و** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد می باشد.

اثر تناوب، سطوح مختلف نیکل، کود نیتروژنی و اثر متقابل نیکل × کود بر شاخص کلروفیل برگ گیاه باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). شاخص کلروفیل در غلظت‌های بالای نیکل کاهش قابل‌توجهی

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به تیمار شاهد و تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک نشان داد. همبستگی مثبتی بین اجرای تناوب و کاربرد کودهای نیتروژنی با شاخص کلروفیل مشاهده شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های ترکیبات تیماری نیکل و کود نشان می‌دهد که کاربرد کودهای نیتروژنی باعث بهبود شاخص کلروفیل باقلا در سطوح نیکل می‌شود (شکل ۳). از آن‌جایی که برخی از ویژگی‌های نیکل شبیه یون‌های کلسیم، منیزیوم، منگنز، آهن، مس و روی است، بنابراین ممکن است با این فلزات در فرآیندهای جذب و ترشح رقابت کند. در نتیجه این رقابت، نیکل در غلظت‌های بالا ممکن است جذب و غلظت این فلزات را کاهش داده و منجر به کمبود آن‌ها در گیاه شود و به تبع آن باعث کاهش غلظت کلروفیل شود (ست و همکاران ۲۰۰۸). مونی و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند میزان کلروفیل در برگ‌های گیاهان لوبیا چیتی که در تیمار با شکل معدنی نیکل رشد کرده بودند کاهش یافته است.



شکل ۲- مقایسه میانگین ارتفاع بوته باقلا تحت تحت تأثیر متقابل تناوب و نیکل (الف) و نیکل و کود (ب)

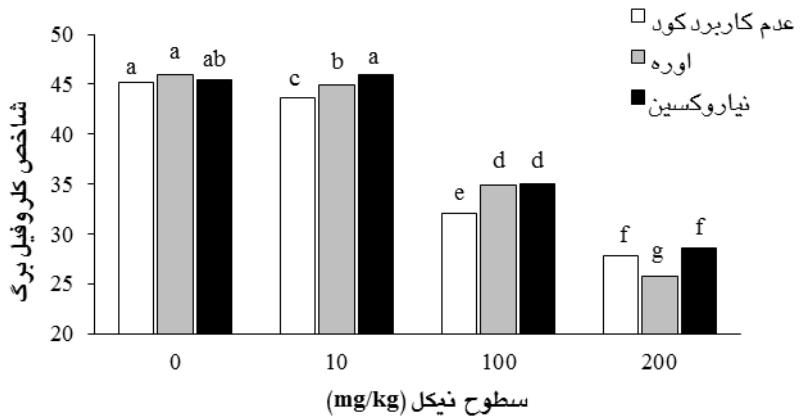
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای تناوب، نیکل و کود بر ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل برگ، درصد آب برگ و نشت الکترولیت باقلا

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	شاخص کلروفیل برگ	درصد آب برگ	نشت الکترولیت (٪)
تناوب				
بدون تناوب	۷٦/۹۳b	۳۷/٤۳b	۸۳/۰۸b	۲۰/۱٥a
تناوب جو-باقلا	۷۸/۰٤a	۳۸/٤۲a	۸٤/٥٤a	۱۹/٦٤b
نیکل				
۰	۸۲/٤a	٤٥/٥۱a	۸۷/۰۸a	٦/۲٥d
۱۰	۸۲/۲٤a	٤٤/۸۲a	۸۷/۰٦a	۷/٦۸c
۱۰۰	۷۷/۳۱b	۳٤/۰۱b	۸۲/۱۱b	۲٦/۸۰b
۲۰۰	٦۷/۹۹c	۲۷/۳٦c	۷۸/۹۹c	۳۷/۸۷a
کود نیتروژنی				
عدم کاربرد کود	۷٦/٦٥b	۳۷/۱٦b	۸۳/٥۷b	۲۰/٤۰a
اوره	۷۷/۸۱a	۳۷/۸۷ab	۸٤/۲٤a	۱۹/٥۰b
نیتروکسین	۷۸/۰۲a	۳۸/۷۳a	۸۳/٦۱b	۱۹/۸۰ab

حروف غیرمشابه نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد است.



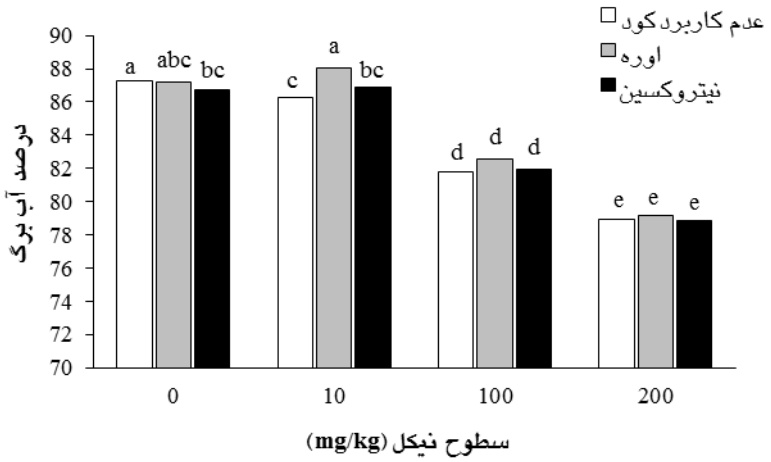
شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص کلروفیل برگ باقلا تحت تأثیر متقابل نیکل و کود

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تناوب، سطوح مختلف نیکل و کود نیتروژنی بر درصد آب برگ گیاه باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل نیکل × کود برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ٤). افزایش غلظت نیکل در خاک منجر به روند نزولی در درصد آب برگ گیاه باقلا شد. در مقابل، اجرای تناوب و کاربرد کودهای نیتروژنی باعث بهبود این صفت شد (جدول ٥). با توجه به مقایسه میانگین‌های ترکیبات تیماری نیکل و کود، کاربرد کودهای نیتروژنی باعث افزایش درصد آب برگ در سطوح مختلف نیکل به جزء تیمار شاهد شد، هرچند این افزایش فقط برای تیمار ۱۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با کاربرد اوره قابل‌توجه

www.SID.ir

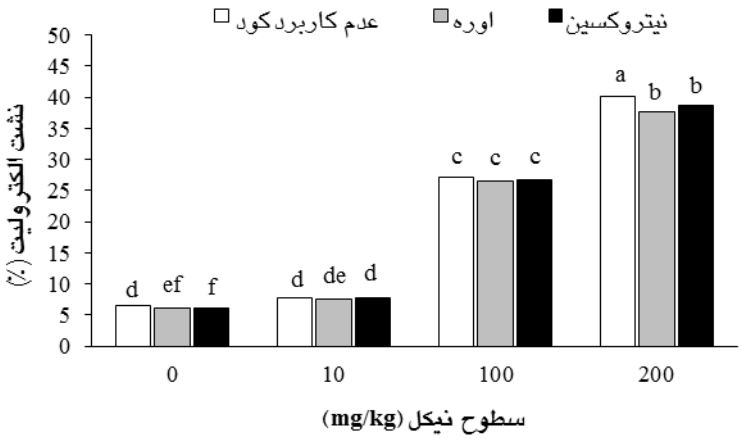
Archive of SID

بود (شکل ٤). در بسیاری از مطالعات ثابت شده که گیاهان تنش دیده با منفی کردن هرچه بیشتر پتانسیل اسمزی در شیره‌ی سلولی برگ باعث تنظیم اسمزی می-شوند (ساریتا و همکارن ۲۰۰۸ و آلسوکاری و آلدسکیو ۲۰۱۱).



شکل ۴- مقایسه میانگین درصد آب برگ باقلا تحت تأثیر متقابل نیکل و کود

نشت الکترولیت برگ گیاه باقلا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای تناوب، نیکل و کود نیتروژنی قرار گرفت. اثر متقابل نیکل × کود نیز برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ٤). افزایش سطوح نیکل در خاک منجر به افزایش نشت الکترولیت برگ شد، در مقابل، اجرای تناوب و کاربرد کودهای نیتروژنی این صفت را کاهش داد (جدول ٥). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نیکل × کود برای نشت الکترولیت برگ گیاه باقلا نشان می‌دهد که کاربرد کودهای نیتروژنی باعث کاهش این صفت در تمامی سطوح نیکل شد. بیشترین مقدار نشت الکترولیت در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک تحت عدم کاربرد کود حاصل شد (شکل ٥). در آزمایشی بر روی خردل هندی گزارش شد که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک تراوش الکترولیت‌ها افزایش یافت (ایقبال و همکاران ۲۰۱۰).



شکل ۵- مقایسه میانگین نشت الکترولیت برگ باقلا تحت تأثیر متقابل نیکل و کود

www.SID.ir

Archive of SID

اثر تیمارهای تناوب، نیکل، کود نیتروژنی و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها برای وزن خشک ریشه گیاه باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). وزن خشک ریشه باقلا همبستگی منفی با افزایش سطوح نیکل در خاک تحت هر دو شرایط تناوب و بدون تناوب نشان داد. در مقابل، اجرای تناوب و کاربرد کودهای نیتروژنی همبستگی مثبتی با این صفت داشت. بالاترین مقدار وزن خشک ریشه باقلا مربوط به تیمار شاهد نیکل با کاربرد کود اوره تحت شرایط تناوب بود (جدول ٦). افزایش وزن خشک گیاه باقلا تحت تناوب جو-باقلا می‌تواند در نتیجه افزایش ماده آلی خاک و بهبود ساختار خاک از طریق تجزیه‌ی بقایای گیاه جو در خاک باشد. کاهش رشد تحت تنش فلزات سنگین ممکن است به‌طور کلی به دلیل از دست رفتن اتساع سلولی، کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طویل شدن سلول‌ها باشد (شاه و همکاران ۲۰۰۸). نتایج این آزمایش با گزارش‌هایی مبنی بر کاهش معنی-دار وزن خشک گیاه برنج تحت تیمار غلظت فلز نیکل نیز مطابقت دارد (مولاس و باران ۲۰۰٤). آمیانا و آمال (۲۰۱۲) گزارش کردند که وزن خشک ریشه گیاه ذرت با افزایش سطح مس درخاک، کاهش می‌یابد.

جدول ۶- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تناوب، نیکل و کود بر وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی باقلا

سطوح نیکل (mg/kg)	کود نیتروژنی	وزن خشک ریشه (g/pot)		وزن خشک اندام هوایی (g/pot)	
		بدون تناوب	تناوب	بدون تناوب	تناوب
۰	عدم کاربرد	۳/٤۱fg	۳/٥۸cd	۳۲/٤۹c	۳٤/٤۱ab
	اوره	۳/۷۳b	۳/۹۰a	۳٤/۸۲ab	۳٤/۸۷ab
	نیتروکسین	۳/۳٥g	۳/۸٤ab	۳۲/۷۱c	۳۲/۸۸c
۱۰	عدم کاربرد	۳/٤٥efg	۳/٤۷defg	۳۲/٦۰c	۳۳/۹۹b
	اوره	۳/٥۰cdef	۳/٦۱c	۳٤/۲۱ab	۳٥/۲۲a
	نیتروکسین	۳/٥٥cde	۳/۸٥ab	۳٤/۳٤ab	۳٤/۸٤ab
۱۰۰	عدم کاربرد	۲/٦۲hi	۲/٤٦j	۲۸/٤۱d	۲۷/۳٥d
	اوره	۲/٦۰i	۲/۷۳h	۲۸/۳٤d	۲۸/٤٦d
	نیتروکسین	۲/٤٦j	۲/۷۱hi	۲۷/۹۳d	۲۷/۹٤d
۲۰۰	عدم کاربرد	۲/۱۹k	۲/۰٤L	۱۸/۹٤f	۱۷/۹۹fg
	اوره	۱/۹٤L	۲/۲۳k	۱۸/۲۹fg	۲۰/٤٤e
	نیتروکسین	۱/۸۲m	۲/۰۱L	۱۷/٦۱g	۲۰/٦٥e

حروف غیرمشابه نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک اندام هوایی گیاه باقلا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تناوب، نیکل، کود و اثرات متقابل تناوب × نیکل، نیکل × کود و تناوب × نیکل × کود قرار گرفت (جدول ٤). افت شدیدی در وزن خشک اندام هوایی باقلا در غلظت‌های بالای نیکل تحت هر دو شرایط تناوب و عدم تناوب حاصل شد. بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی باقلا به ترتیب در تیمار ۱۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با کاربرد اوره تحت تناوب و تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک با کاربرد نیتروکسین تحت شرایط بدون تناوب به‌دست آمد (جدول ٦). فلزات سنگین از یک طرف با کاهش تورژسانس سلولی موجب کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلول می‌شوند و از طرف دیگر با انباشت در دیواره سلولی و ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول منجر به کاهش رشد می‌گردند (سعیدی سار و همکارن ۲۰۰۵). وانگ و همکارن (۲۰۱۰) مشاهد کردند که اثر مقادیر زیاد نیکل در گندم منجر به کاهش رشد اندام هوایی می‌گردد. جادیا و فولکار (۲۰۰۸) مشاهده کردند که افزایش غلظت نیکل به ٤۰ و ۵۰ میلی‌گرم در خاک منجر به کاهش معنی‌داری در وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه آفتابگردان در مقایسه با تیمار شاهد شد.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش تمامی صفات مورد مطالعه گیاهان جو و باقلا به طور قابل توجهی تحت تاثیر غلظت های بالای نیکل قرار گرفتند. غلظت ۱۰ میلی-گرم نیکل بر کیلوگرم خاک بر عکس غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ که باعث ایجاد سمیت شدند، منجر به بهبود رشد گیاهان شد. کاربرد کودهای نیتروژنی باعث بهبود شرایط رشد و مقاومت گیاهان تحت تنش نیکل شد. تجزیه بقایای گیاه جو در خاک در اثر اجرای تناوب جو-باقلا منجر به افزایش جمعیت میکروبی خاک و در نتیجه باعث بهبود شرایط رشد گیاه باقلا شد. به‌عبارت دیگر، گیاه جو قابلیت دسترسی به نیکل در خاک را برای گیاه باقلا کاهش داد.

سپاسگزاری

از همکاران محترم آقای دکتر کاظم قاسمی گلعذانی، دکتر نصرت اله نجفی و آقای مهندس سجاد شاکر کوهی که در مراحل مختلف اجرای آزمایش، نگارش و تهیه مقاله از هیچ کوششی مضایقه نکردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنیم.

منابع مورد استفاده

Alsokari SS and Aldesuquy HS. 2011. Synergistic effect of Polyamines and waste water on leaf turgidity, heavy metals accumulation in relation to grain yield. Journal of Applied Sciences Research, 7: 376-384.

Amina AA and Amal AM. 2012. The impact of copper ion on growth, thiol compounds and lipid peroxidation in two maize cultivars (*Zea mays* L.) grown in vitro. Australian Journal of Crop Science, 6(3): 541-549.

Azevedo H, Gomes C, Pinto G and Santos C. 2005. Cadmium effects in sunflower: membrane permeability and changes in catalase and peroxidase activity in leaves and calluses. Journal of Plant Nutrition, 28: 2233-2241.

Baccouch S, Chaoui A and El Fergani E. 1998. Nickel-induced oxidative damage and antioxidant responses in *Zea mays* shoots. Plant Physiology and Biochemistry, 36(9): 689-694.

Bahmanziari H, Khoshgoftarmanesh AH, Sanaei Ostovar A, Shirvani M and Haghighi M. 2013. Effect of different levels of nickel in nutrient solution containing NH_4NO_3 on lipid peroxidation and activity of

www.SID.ir

Archive of SID

some antioxidant enzymes in cucumber leaves. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3(4): 91-103.

Basu M, Bhadoria PBS and Mahapatra SC. 2008. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer levels. Bioresource Technology, 99: 4675-4683.

Bishnoi NR, Sheoran IS and Singh R. 1993. Influence of cadmium and nickel on photosynthesis and water relations in wheat leaves of different insertion level. Photosynthetica. 28: 473–479.

Bohn HL, McNeal BL and O'Connor, AG. 1985. Soil Chemistry, second ed. Wiley-InterScience Publications, New York, USA.

Chen C, Huang D and Liu J. 2009. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. Clean - Soil Air Water, 37(4-5): 304 - 313

Daughtry CST, Walthall CI, Kim MS, Brown DE, Colstoun E and Mcmurtrey JE. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentracion from leaf and canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 74: 229-239.

Ernst WH, Verkly JAC and Schat H. 1992. Metal tolerance in plants. Acta botanica Neerlandica, 41: 229-248.

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. 145(1): 316-323.

Fumagalli P, Comolli R, Ferrè C, Ghiani A, Gentili R and Citterio S. 2014. The rotation of white lupin (*Lupinus albus* L.) with metal-accumulating plant crops: a strategy to increase the benefits of soil phytoremediation. Journal of Environmental Management, 145: 35-42.

Gajewska E, Skłodowska M, Słaba M and Mazur J. 2006. Effect of nickel on anti-oxidative enzyme activities proline and chlorophyll contents in wheat shoots, Biologia Plantarum, 50: 653–659.

Gajewska E, Drobik D, Wielanek M, Sekulska-Nalewajko J, Gocławski J, Mazur J and Skłodowska M. 2013. Alleviation of nickel toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by selenium supplementation. Biological Letters, 50(2): 63–76.

Greger M and Johansson M. 1992. Cadmium effects on leaf transpiration of sugar beet (*Beta vulgaris*). Physiologia Plantarum, 86: 465–473.

Iqbal N, Masood A, Nazar R, Syeed S and Khan NA. 2010. Photosynthesis, Growth and antioxidant metabolism in mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in cadmium tolerance. Agricultural Science in china, 9: 519-527.

Jadia Chhotu D and Fulekar Madhusudan H. 2008. Phytoremediation the application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower Environmental Engineering and Management Journal, 5: 547-558.

Khatib M, Rashed Mohassel MH, Ganjeali A and Lahootee M. 2008. The effects of different nickel concentrations on some morpho-physiological characteristics of parsley (*Petroselinum crispum*). Iranian Journal of Field Crops Research, 6(2): 295-302. (In Persian).

Kupper H, kupper F and Spiller M. 1996. Environmental relevance of heavy–metal–substituted chlorophylls using the example of water plants. Journal of Experimental Botany, 47: 259-266.

Michaelis A, Takehisa R and Aurich O. 1986. Ammonium chloride and zinc sulfate pretreatments reduce the yield of chromatid aberrations induced by TEM and maleic hydrazide in Vicia faba. Mutation Research Letters, 173(3):187-191.

Mohammadzadeh A, Rahimi Moghaddam S, Chaichi MR and Heidarzadeh Y. 2017. Phytoremediation ability of nickel-contaminated soil using Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Sorghum. Journal of Soil Management and Sustainable, 6(4): 131-142. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Molas J. 1997. Changes in morphological and anatomical structure of cabbage (*Brassica oleracea* L.) outer leaves and in ultrastructure of their chloroplast caused by an *In Vitro* excess of nickel. Photosynthetica. 34: 513–522.

Molas J and Baran S. 2004. Relationship between the chemical forms of nickel applied to the soil and its uptake and toxicity to barley plants (*Hordeum vulgare* L.). Geoderma, 122: 247-255.

Monni S, Uhlig C, Junttila O, Hansen E and Hynynen J. 2001. Chemical composition and ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to above ground element application. Environmental Pollution, 112: 417–426.

Moustakas M, Eleftheriou EP and Ouzounidou G. 1997. Short–term effects of aluminium at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. Photosynthetica, 34: 169-177.

Ouzounidou G, Moustakas M and Lannoye R. 1995. Chlorophyll fluorescence and photoacoustic characteristics in relationship to changes in chlorophyll and Ca content of a Cu-tolerant Silene compact ecotype under Cu treatment. Physiologia Plantarum, 93: 551-557.

Pandey N and Sharma CP. 2002. Effect of heavy metals Co^{2+}, Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. Plant Science, 163(4): 753-758.

Pandey N and Sharma CP. 2003. Chromium interference in iron nutrition and water relations of cabbage. Environmental and Experimental Botany, 49: 195-200.

Pandey SN and Gautam S. 2009. Effect of nickel stress on growth and physiological responses of *Trigonella foenum* plants grown in Gomati upland alluvial soil of Lucknow. Indian Botanical Society, 88: 1-3.

Parida BK, Chhibba IM and Nayyar VK. 2003. Influence of nickel-contaminated soils on fenugreek (*Trigonell a corniculata* L.) growth and mineral composition. Scientia Horticulturae, 98: 113-119.

Pineros MA, Shaff JE and Kochian LV. 1998. Development, characterization and application of a copper–selective microelectrode for the measurement of copper fluxes in root of Thlaspi species and wheat. Plant Physiology, 116: 1393-1401.

Potters G, Pasternak TP, Guisez Y, Palme KJ and Jansen MAK. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Plant Science, 12: 98-105.

Rauser WE and Dumbroff EB. 1981. Effects of excess cobalt, nickel and zinc on the water relations of Phaseolus vulgaris. Environmental and Experimental Botany, 21: 249–255.

Rucinska-Sobkowiak R. 2016. Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. Acta Physiologiae Plantarum, 38:257.

Saeidi-Sar S, Khavari-Nejad RA, Fahimi H, Ghorbanli M and Majd A. 2005. Amelioration of nickel toxicity in soybean plants by gibberellin and ascorbic acid. Rostaniha, 6: 67-75

Saritha V, Kuriakose M. and Prasad NV. 2008. Cadmium stress affects seed germination and seedling growth in *Sorghum biocolor* (L.) Moench by changing the activities of hydrolyzing enzymes. Plant. Growth. Regulation, 54: 143-156.

Seregin IV and Ivanov VB. 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology, 48(4): 523-544.

Seregin IV and Kozhevnikova AD. 2006. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. Russian Plant Physiology, 53: 257-277.

Seth CS, Kumar Chaturvedi P and Misra V. 2008. The role of phytochelatins and antioxidants in tolerance to Cd accumulation in *Brassica juncea* L. Ecotoxicology and Environmental Safety, 71: 76-85.

Shah FR, Ahmad N, Masood KR and Zahid DM. 2008. The influence of cadmium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo* ROXB). Seedlings Pakistan Journal of Botany, 40: 1341-1348.

www.SID.ir

Archive of SID

Sheng XF, Xia JJ, Jiang CY, He LY and Qian M. 2008. Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (*Brassica napus*) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape. Environmental Pollution, 156(3): 1164-1170.

Sheoran I, Singal H and Singh R. 1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). Photosynthesis Research, 23(3): 345-351.

Stobart AK, Ameen–Bukhart J and Sherwood RP. 1985. The effect of Ca^{2+} on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. Plant Physiology, 63: 293- 298.

Tas B and Basar H. 2009. Effects of various salt compounds and their combinations on growth and stress indicators in maize (*Zea mays* L.). African Journal of Agricultural Research, 4: 156-161.

Tilak KVBR, Ranganayaki N, Pal KK, Saxena R, Shekhar Nautiyal AK, Shilpi C, Tripathi M and Johri BN. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science, 89: 136-15.

Vassilev A and Yordanov I. 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of Cadmium-treated plants: A review. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 23: 114-133.

Wang ST, He XJ and An RD. 2010. Responses of growth and antioxidant metabolism to nickel toxicity in *Luffa cylindrica* seedlings. Animal and Plant Sciences, 7, 2: 810- 821.

Wei SH, Teixeira DaSilva JA and Zhou QX. 2008. Agro-improving method of phytoextracting heavy metal contaminated soil. Journal of Hazard Materials, 150: 662-668.

Wu G, Kang H, Zhang X, Shao H, Chu L and Ruan C. 2010. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. Journal of hazardous materials, 174: 1-8.

Yang X, Baligar VC, Martens DC and Clark RB. 1996. Plant tolerance to Ni toxicity. I. Influx, transport and accumulation of Ni in four species. Journal of Plant Nutrition, 19: 73–85.

Zhu YG, Chen SB and Yang JC. 2004. Effects of soil amendments on lead uptake by two vegetable crops from a lead-contaminated soil from Anhui, China. Environment International, 30: 351–356.

Zhuang X, Chen J, Shim H and Bai Z. 2007. New advances in plant growth promoting rhizobacteria for bioremediation. Environment International, 33: 406-413.

www.SID.ir