

## اثرات کادمیوم و ورمی کمپوست بر برخی پارامترهای رشدی گیاه اسفناج (*Spinacea oleracea* L.)

سمانه عبدوسی\*

۱- کارشناس ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵

### چکیده

کادمیوم یکی از خطرناک‌ترین فلزات سنگین است که از طریق تنش اکسیداتیو باعث اختلال در فرایندهای گیاهی و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در گیاه و نهایتاً کاهش رشد می‌شود. ورمی کمپوست نیز یکی از منابع مواد آلی است که نقش مهمی در تغذیه گیاه و کاهش قابلیت جذب فلزات سنگین از جمله کادمیوم در خاک را دارد. در این پژوهش، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران در سال ۱۳۹۵ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با شش تیمار و چهار تکرار اجرا شد. فاکتور کادمیوم در دو سطح (۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و فاکتور ورمی کمپوست در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد) اختلاط حجمی با خاک در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، ارتفاع بوته، سطح برگ و شاخص کلروفیل در اثر مصرف کادمیوم کاهش معنی‌داری یافتند. سطح برگ بیشترین حساسیت و شاخص کلروفیل، کمترین حساسیت را نسبت به کاربرد کادمیوم نشان داد. مصرف ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، سطح برگ گردید. وزن خشک اندام هوایی در اثر تیمار کادمیوم ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به میزان ۵۱/۹ درصد کاهش یافت. همچنین اختلاط ورمی کمپوست با خاک، باعث تعدیل اثرات منفی کاربرد کادمیوم بر تعداد برگ، ارتفاع بوته و سطح برگ اسفناج گردید و این صفات را بهبود بخشید. کادمیوم باعث کاهش رشد اندام‌های مختلف اسفناج شده و از سویی دیگر مصرف ورمی کمپوست به دلیل اثرات تغذیه‌ای باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید و اثرات سوء کادمیوم را کاهش داد.

کلید واژه‌ها: اسفناج، ورمی کمپوست، کادمیوم، اندام هوایی، وزن خشک

## مقدمه

کادمیوم از معدود عناصری است که هیچگونه نقش ساختاری و بیولوژیکی در بدن انسان ندارد. این عنصر و ترکیبات آن حتی به میزان بسیار کم سمی هستند (Sajwan, 1996). کادمیوم از فلزات سنگینی است که ورود آن بوسیله گیاه به زنجیره غذایی بوده و سلامت انسان‌ها و حیوانات را به گونه‌ای جدی تهدید می‌کند. کادمیوم به آسانی توسط دستگاه گوارش و یا ریه انسان جذب می‌شود، ولی دفع کادمیوم بسیار کند صورت می‌گیرد. تقریباً نیمی از کادمیوم جذب شده در کبد و کلیه انباشته می‌شود و نیمه عمر بیولوژیکی آن در بدن انسان ۳۰-۱۰ سال است (Lin and Schorr., 1997). کادمیوم باعث از دست دادن حس بویایی، سرطان، سکتته مغزی، آمفیوزم، و پوکی استخوان می‌شود (Lalor et al., 2008).

قابلیت دسترسی کادمیوم خاک به وسیله گیاه تحت تأثیر ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار ماده آلی و شوری خاک قرار دارد

(Khoshgoftar et al., 2004). گزارش شده است که فلزات سنگین در گیاه می‌توانند باعث ممانعت از متابولیسم گیاه و کاهش عملکرد محصول شوند. همچنین، تجمع سرب و کادمیوم نسبت به سایر فلزات سنگین در سبزیجات مخصوصاً در برگ اسفناج و تربچه از سایر سبزی‌ها بالاتر است (Singh and Aggarwal, 2006). طی مطالعه‌ای در مورد جذب سرب و کادمیوم در سبزی‌های کشت شده در خاک که به طور مصنوعی با کادمیوم آلوده شده بود، مشخص شد که اسفناج بیشترین تمایل به جذب کادمیوم را داشته است (Rangnekar et al., 2013). مطالعات انجام گرفته روی گونه‌های گیاهی متفاوت نشان داده است که کادمیوم به راحتی از طریق ریشه‌ها جذب گیاه می‌گردد (Blinda et al., 1997). این فلز برای گیاهان سمی بوده و با تشکیل کمپلکس‌های پیچیده با گروه‌های جانبی ترکیبات آلی مانند پروتئین‌ها، در بسیاری از اعمال یاخته‌ای دخالت کرده، در نتیجه از فعالیت‌های ضروری

گیاه جلوگیری می‌نماید. همچنین، تغییرات ژنتیکی و بیوشیمیایی را که پاسخ‌های عمومی گیاه در برابر تنش کادمیوم می‌باشند، تحریک می‌نماید (Metwally et al., 2003). مشخص شده است که سبزیجات تمایل به تجمع کادمیوم در ساقه و برگ‌ها که این قسمت‌ها نقش مهمی در زنجیره غذایی انسان ایفا می‌کنند، را دارند (Bigdeli & Seilsepour., 2008).

اسفناج با نام علمی (*Spinacea oleracea L.*) یکی از سبزی‌های مهم خانواده چغندریان (Chenopodiaceae)، و یکی از مهمترین سبزیجات برگی از نظر میزان تولید است (ایمانی، ۱۳۹۱). اسفناج منبع عالی از مواد معدنی و ویتامین‌ها به ویژه ویتامین ث به شمار می‌رود (Kawazu et al., 2003).

ورمی کمپوست یک کود آلی است که علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک، بر خواص شیمیایی خاک مانند هدایت الکتریکی، pH، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و بور، خواص فیزیکی خاک مانند ظرفیت زراعی، خلل و فرج، تخلخل تهویه‌ای و جرم ویژه ظاهری خاک تأثیر می‌گذارد (Matos & Arrunda., 2003). نتایج یک پژوهش با موضوع تأثیر ورمی کمپوست بر گیاه اسفناج نشان داد که اختلاط ورمی کمپوست به میزان ۱۰ درصد حجمی با خاک به طور معنی‌داری سطح برگ را افزایش داد (Peyvast et al., 2008). با گسترش آلودگی فلزات، پژوهش‌ها در زمینه روش‌های اصلاح و پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات نیز توسعه یافته است. یکی از این زمینه‌های پژوهشی، کاربرد ترکیبات آلی و معدنی برای پالایش و یا تثبیت آلودگی است. کمپوست‌ها معروف به احیاء کننده خاک علاوه بر بهبود ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی، تهویه و پایداری pH، موجب تثبیت فلزات سنگین به سبب از بین بردن مسیرهای جذب آلاینده‌ها می‌شوند. به این ترتیب، ضمن تثبیت فلزات سنگین، جذب آن‌ها توسط ریشه نیز کاهش می‌یابد (Van Herwijnen et al., 2007).

اضافه نمودن مواد آلی به عنوان اصلاح کننده خاک

به مرحله اجرا گذاشته شد. فاکتور کادمیوم در دو سطح (۰ و ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و فاکتور ورمی کمپوست در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد حجمی اختلاط با خاک) در نظر گرفته شد.

خاک مورد استفاده در اجرای آزمایش از ایستگاه مرکزی مرکز تحقیقات کشاورزی استان تهران تهیه و هواخشک شده، از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با روش های استاندارد آزمایشگاهی (احیایی و بهبهانی زاده؛ ۱۳۷۲) تعیین شد (جدول ۲ و ۱). تعیین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، نیتروژن کل به روش کجلاسدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم نرمال، pH در گل اشباع به وسیله pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج الکتریکی مدل Jenway، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون، درصد ماده آلی به روش والکی بلک، غلظت آهن، روی، مس، منگنز و کادمیوم قابل جذب به روش عصاره گیری با DTPA و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elemar 3110 تعیین شدند (احیایی و بهبهانی زاده؛ ۱۳۷۲).

مانند کمپوست، کودها و ضایعات، یک روش معمول برای تثبیت فلزات سنگین در خاک های آلوده می باشد (Clemente et al., 2005). مطالعات حاکی از آن است که اضافه کردن ترکیبات آلی به خاک باعث افزایش فازهای جذبی خاک شده، قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک را کاهش می دهد (Hooda & Alloway., 1993). با توجه به آلودگی خاک های کشاورزی به عناصر سنگین مانند سرب و کادمیوم، ضرورت دارد تا با استفاده از روش های مناسب، نسبت به غیرقابل جذب شدن فلزات سنگین در خاک اقدام نمود. این پژوهش با هدف بررسی اثر ورمی کمپوست و کادمیوم بر صفات مورفولوژیک گیاه اسفناج انجام گرفت.

## مواد و روش ها

به منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف ورمی کمپوست و کادمیوم بر صفات رشد، عملکرد و غلظت فلز سنگین کادمیوم در اسفناج آزمایش گلخانه ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با شش تیمار و چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران طی یک سال زراعی

جدول ۱. غلظت برخی عناصر (mg/kg) موجود در خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. concentration (mg/kg) of elements in the soil.

نیتروژن	فسفر	پتاسیم	بور	آهن	منگنز	مس	روی	کادمیوم	سرب
N	P	K	B	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb
2000	4.78	200	1	5.62	10.87	0.9	1.35	1.29	<0.1

جدول ۲. برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Some physical and chemical properties of the soil

هدایت الکتریکی	pH	بافت خاک	شن	سیلت	رس	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل
EC		Soil texture	Sand	Silt	Clay	Organic carbon	Calcium carbonate equivalent
(dS/m)			(%)				
2.04	8	لوم رسی Clay loam	26	42	32	0.2	20

جدول ۳. برخی ویژگی‌های ورمی کمپوست مورد استفاده در آزمایش.

Table 3. Some chemical and physical properties of the vermicompost.

وضعیت ظاهری Appearance	نیکل Ni	سرب Pb	کادمیوم Cd	کبالت Co	کروم Cr	مس Cu	روی Zn
دارای رنگ قهوه‌ای متمایل به سیاه، بدون بوی نامطبوع Blackish brown in color, without odor	ND*	11.5	2.5	ND*	ND*	42.05	127.75
عناصر غذایی Nutrients							
نسبت کربن به ازت C/N	کربن آلی Organic carbon	رطوبت Moisture	پتاسیم کل Total K (%)	فسفر کل Total P	نیتروژن کل Total N	pH (1/10)	قابلیت هدایت الکتریکی (در رقت ۱ به ۱۰) EC 1/10 (dS/m)
11.18	22.37	36.5	3.12	1.23	2	8	6.5

\*: No detected

جهت انجام آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی پنج کیلوگرمی استفاده گردید. کف هر گلدان حدود سه تا چهار سانتی‌متر شن درشت ریخته شد. خاک و ورمی کمپوست بر اساس تیمارهای آزمایش کاملاً مخلوط سپس به گلدان‌ها منتقل شدند. پس از آبیاری و رسیدن رطوبت به حد ظرفیت گلدانی کشت انجام گرفت. پس از اعمال تیمارهای ورمی کمپوست، از خاک گلدان‌ها به تفکیک تیمار نمونه برداری شد و جهت تعیین نقطه ظرفیت گلدانی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) به آزمایشگاه ارسال شد. ظرفیت آب قابل استفاده در هر گلدان با داشتن نقطه ظرفیت زراعی (گلدانی) و نقطه پژمردگی و وزن خاک گلدان محاسبه و به هر گلدان اضافه گردید. کنترل رطوبت گلدان‌ها هر سه روز یک بار با استفاده از روش وزنی انجام گرفت. بدین صورت که بر اساس کاهش وزن گلدان‌ها آب به آن‌ها اضافه شد. جهت کاشت بذرها در گلدان‌ها، به وسیله شابلون در هر گلدان پنج سوراخ به عمق یک سانتی‌متر ایجاد و در هر سوراخ سه بذر اسفناج کاشته شد. گلدان‌ها در گلخانه تحت شرایط کنترل شده با درجه حرارت  $20 \pm 2$  درجه سانتیگراد در روز و  $18 \pm 2$

ورمی کمپوست مورد استفاده نیز با منشأ کود گاوی بود. ویژگی‌های شیمیایی ورمی کمپوست مطابق با روش‌های استاندارد (ISIRI, 2010) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. کربن آلی به روش والکی بلک، pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱ به ۱۰ به وسیله pH متر و هدایت سنج الکتریکی، نیتروژن کل به روش کج‌لدال، فسفر کل به روش کالریتری (رنگ زرد آمونیوم مولیبدات)، پتاسیم از روش نشر شعله‌ای و به وسیله فلیم فتومتر، عناصر ریز مغذی و فلز کادمیوم از روش سوزاندن و به وسیله دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (ISIRI, 2010).

برای آلوده سازی خاک با کادمیوم از نمک سولفات کادمیوم ( $CdSO_4$ ) استفاده شد. خاک به طریق پاشش محلول نمکی فلز مورد نظر به لایه‌های خاک به طور مصنوعی آلوده و سپس خاک آلوده تا حد ظرفیت زراعی مرطوب گردید که تا حد امکان برهمکنش‌های آلاینده و خاک تکوین یافته و شرایط آلودگی طبیعی تر شود و به منظور اطمینان از تعادل فلز با خاک، یک ماه در این حالت نگهداری گردید (Yizong et al., 2009).

LSD انجام شد.

## نتایج و بحث

### صفات مورفولوژیکی اسفناج

خلاصه نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های مورفولوژیک اندام هوایی اسفناج در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک اسفناج نشان داد که اثر کادمیوم بر وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، ارتفاع بوته، سطح برگ و شاخص کلروفیل برگ اسفناج در سطح یک درصد آماری معنی‌دار بود. همچنین، اثر ورمی کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ در سطح یک درصد و بر سطح برگ اسفناج در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر ورمی کمپوست بر شاخص کلروفیل برگ و ارتفاع بوته اسفناج اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

درجه سانتیگراد در شب و رطوبت نسبی ۶۰ درصد و شرایط نوری طبیعی نگهداری شدند. پس از گذشت چهار ماه از زمان کاشت، اندام هوایی اسفناج در هر گلدان از نزدیک سطح خاک قطع و وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، ارتفاع بوته، سطح برگ و شاخص کلروفیل برگ اندازه‌گیری گردید. برای تعیین وزن خشک، اندام هوایی اسفناج پس از شستشو با آب مقطر، وزن شد و سپس در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید و پس از تبخیر رطوبت اندام هوایی، وزن خشک بخش هوایی اسفناج بدست آمد. برای اندازه‌گیری سطح برگ گیاه از دستگاه سنجش سطح برگ (مدل Li-cor, 3100, USA) استفاده شد. شاخص کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلرفیل متر مدل SPADA 502, Minolta, Japan اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵). تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون

جدول ۴. جدول تجزیه واریانس شاخص‌های مورفولوژیک اندام هوایی اسفناج  
Table 4. Analysis of variance of the morphological parameters in spinach shoots.

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (Degree of freedom)	وزن خشک اندام هوایی (Shoot dry weight)g	تعداد برگ (Leaf number)	ارتفاع بوته (Plant height)	سطح برگ (Leaf area)cm <sup>2</sup>	شاخص کلروفیل برگ (Chlorophyll index)
تکرار Replication	3	0.12	42.82	1.94	0.003	0.77
کادمیوم Cadmium	1	11.53**	8855.04**	482.22**	0.57**	7.19**
ورمی کمپوست Vermicompost	2	1.31**	612.16**	11.73 <sup>ns</sup>	0.08*	0.63 <sup>ns</sup>
ورمی کمپوست × کادمیوم Cadmium × Vermicompost	2	1.27**	330.16**	4.95 <sup>ns</sup>	0.15**	0.19 <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی Error	15	0.06	32.78	1.95	0.01	0.74

<sup>ns</sup>, \*, \*\*, به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد  
Ns; Non-significant; \* Significant at P≤0.05, \*\* Significant at P≤0.01

جدول ۵. اثر کادمیوم بر شاخص‌های مورفولوژیک اندام هوایی اسفناج

Effect of cadmium on the morphological parameters of spinach shoots.. Table 5

شاخص کلروفیل برگ	سطح برگ	ارتفاع بوته	تعداد برگ	وزن خشک اندام هوایی	تیمار غلظتی کادمیوم
Chlorophyll index	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Plant height (cm)	Leaf number	Shoot dry weight (g)	Cadmium concentration (mg kg <sup>-1</sup> )
10.28 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	21.50 <sup>a</sup>	98.41 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>	0
9.19 <sup>b</sup>	0.26 <sup>b</sup>	12.54 <sup>b</sup>	60.00 <sup>b</sup>	1.29 <sup>b</sup>	20

میانگین‌های مشترک در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند.

Means followed by the same letter in each column do not differ significantly at 5% probability level according to LSD test.

اثر متقابل ورمی‌کمپوست و کادمیوم نیز بر وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ و سطح برگ اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل ورمی‌کمپوست و کادمیوم بر ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل برگ اسفناج اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر کادمیوم، ورمی‌کمپوست و اثر متقابل ورمی‌کمپوست و کادمیوم بر شاخص‌های مورفولوژیک اسفناج به ترتیب در جداول ۵، ۶ و ۷ آورده شده است.

جدول ۶. اثر ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های مورفولوژیک اندام هوایی اسفناج

Effects of Vermicompost on the morphological parameters of spinach shoots. Table 6

شاخص کلروفیل برگ	سطح برگ	ارتفاع بوته	تعداد برگ	وزن خشک اندام هوایی	تیمار ورمی‌کمپوست
Chlorophyll index	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Plant height (cm)	Leaf number	Shoot dry weight (g)	vermicompost
9.46 <sup>a</sup>	0.29 <sup>b</sup>	17.52 <sup>a</sup>	37.69 <sup>b</sup>	1.62 <sup>c</sup>	0
9.73 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	17.91 <sup>a</sup>	82.12 <sup>a</sup>	1.92 <sup>b</sup>	5
10.02 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>	18.64 <sup>a</sup>	86.12 <sup>a</sup>	2.42 <sup>a</sup>	10
0.91	0.1	1.48	6.1	0.26	Lsd

میانگین‌های مشترک در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند.

Means followed by the same letter in each column do not differ significantly at 5% probability level according to LSD test.

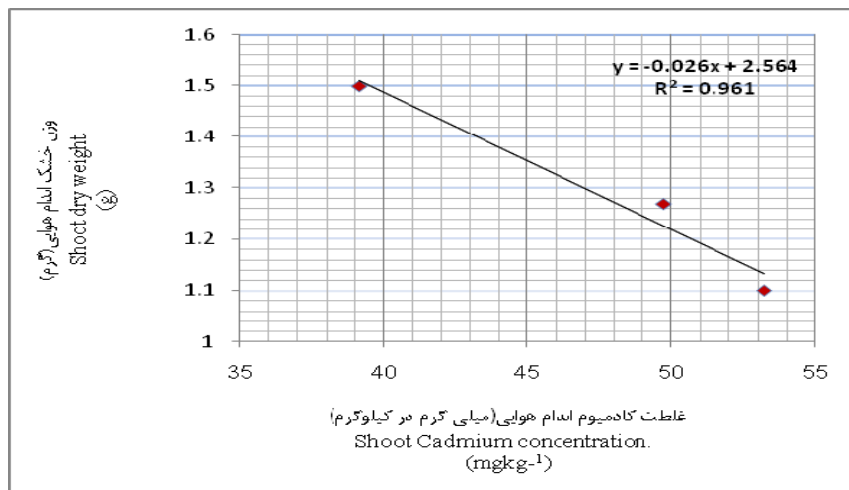
جدول ۷. اثر متقابل ورمی‌کمپوست و کادمیوم بر شاخص‌های مورفولوژیک اندام هوایی اسفناج

Table 7. Effects of interaction between Vermicompost and cadmium on the morphological indicators of spinach shoots.

شاخص کلروفیل برگ	سطح برگ	ارتفاع بوته	تعداد برگ	وزن خشک اندام هوایی	تیمار ورمی‌کمپوست	تیمار غلظتی کادمیوم
Chlorophyll index	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Plant height (cm)	Leaf number	(g)Shoot dry weight	vermicompost	Cadmium concentration (mg kg <sup>-1</sup> )
9.90ab	0.36c	21.43a	85.00b	2.14b	0	
10.21ab	0.53b	22.06a	100.50a	2.33b	5	0
10.75a	0.81a	23.02a	105.75a	3.57a	10	
9.02b	0.23c	13.60b	53.75d	1.11c	0	
9.25b	0.36bc	13.76b	70.75c	1.50c	5	20
9.30b	0.18c	10.26c	55.50d	1.27c	10	
1.29	0.15	2.1	8.62	0.36		Lsd

میانگین‌های مشترک در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند.

Means followed by the same letter in each column do not differ significantly at 5% probability level according to LSD test.



شکل ۱. همبستگی وزن خشک اندام هوایی با غلظت کادمیوم اندام هوایی اسفناج

Figure 1. Correlation between shoot dry weight and cadmium concentration in spinach shoot.

### وزن خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه آماری داده‌های آزمایش نشان داد که اثر کادمیوم، ورمی کمپوست و اثر متقابل این دو بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج در سطح یک درصد معنی دار است (جدول ۴). نتایج نشان داد در هر دو سطح ۰ و ۲۰ میلی گرم کادمیوم خاک، مصرف ورمی کمپوست باعث افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی شده است. بین وزن خشک اندام هوایی و میزان کادمیوم همبستگی معنی دار آماری با ضریب تبیین ۰/۹۶ وجود داشت. این همبستگی موید این مطلب است که کادمیوم به علت اثرات سوء بر متابولیسم گیاه و ایجاد تنش اکسیداتیو، باعث کاهش رشد و متعج آن، وزن خشک گیاه گردیده است (شکل ۱).

نتایج اثر متقابل کادمیوم و ورمی کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی (جدول ۷) اسفناج نشان داد که در شرایط عدم حضور کادمیوم، ورمی کمپوست سبب افزایش میانگین وزن خشک اندام هوایی گردید به گونه‌ای که تیمار ۱۰ درصد حجمی اختلاط ورمی کمپوست با خاک سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی اسفناج به میزان ۶۶/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. این در حالی بود که تحت شرایط حضور کادمیوم (۲۰ میلی گرم در کیلوگرم) مصرف ورمی کمپوست تأثیر معنی داری بر وزن خشک اندام هوایی نداشت که احتمالاً به دلیل اثرات سوء کادمیوم

بر گیاه اسفناج می‌باشد. سایر نتایج محققان نیز نشان دهنده اثرات منفی کادمیوم بر اسفناج می‌باشد (Rezakhani et al., 2013). اثر منفی کاربرد کادمیوم با مصرف ورمی کمپوست کاهش یافت اما این کاهش، معنی دار نبود. نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از اصلاح کننده‌های آلی مثل کود حیوانی، ورمی کمپوست و سایر منابع آلی باعث کاهش اثرات سمی فلزات سنگین برای گیاه می‌گردند. محققین بر این عقیده‌اند که مواد آلی با کاهش قابلیت جذب فلزات سنگین از طریق ایجاد باندهای قوی با این فلزات، زیست فراهمی این فلزات را در خاک کاهش می‌دهند و باعث تعدیل اثرات سوء این عناصر از جمله کادمیوم می‌گردند (Raicevic et al., 2004). نتایج مشابهی در مورد ذرت نیز به دست آمده است (Adejumo et al., 2011). طی آزمایشی، مشخص شد که مصرف کادمیوم به میزان ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم، سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی اسفناج شده است (Deheri et al., 2007). طی پژوهش دیگری مشخص شد که با افزایش غلظت کادمیوم بیشتر از ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم در خاک، وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج کاهش یافت که این کاهش به دلیل اثرات منفی کادمیوم بر مکانیسم تولید انرژی در میتوکندری و کلروپلاست است (Rezakhani et al., 2013). کاهش وزن خشک گیاه نتیجه تأثیر کادمیوم بر

### ارتفاع بوته

اثر کادمیوم بر ارتفاع بوته اسفناج در سطح یک درصد معنی دار بود، در حالی که اثر ورمی کمپوست و اثر متقابل کادمیوم و ورمی کمپوست بر ارتفاع بوته اسفناج تفاوت معنی دار نشان نداد (جدول ۴). با توجه به نتایج بدست آمده، تیمار کادمیوم در سطح ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک باعث کاهش ارتفاع بوته اسفناج به مقدار ۴۱/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۵). همچنین، نتایج نشان داد که در حضور کادمیوم (۲۰ میلی گرم در کیلوگرم)، ورمی کمپوست تاثیری بر افزایش ارتفاع بوته نداشت. بیشترین مقدار ارتفاع بوته اسفناج برای تیمار عدم حضور کادمیوم و مصرف ۱۰ درصد حجمی ورمی کمپوست به میزان ۲۳/۰۲ سانتی متر و کمترین آن از تیمار مصرف ۱۰ درصد حجمی ورمی کمپوست و میزان ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم به میزان ۱۰/۲۶ سانتی متر حاصل شد. طی تحقیقی گزارش شده است که جذب کادمیوم اضافی در محصولات کشاورزی می تواند کاهش و توقف رشد ریشه، چوب پنبه ای شدن و صدمه دیدن ساختار داخلی و خارجی ریشه، کاهش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه، تداخل با جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی و در نتیجه کاهش رشد گیاه و کاهش ارتفاع را در پی داشته باشد (Alloway, 1990). همچنین، گزارش شده است که کاهش رشد بخش هوایی گیاه در نتیجه تأثیر کادمیوم به علت کاهش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسیستم I که در اثر تنش عناصر سنگین القا می شود ایجاد می گردد (Shah et al., 2008). عناصر سنگین که به بخش هوایی گیاه انتقال داده می شوند، به علت اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می دهند (Shanker et al., 2005).

### سطح برگ

سطح برگ اسفناج تحت تأثیر اثر کادمیوم، اثر ورمی کمپوست و اثر متقابل کادمیوم و ورمی کمپوست قرار

میزان رشد نسبی (Relative growth ratio) و میزان ماده سازی خالص (Net assimilation ratio) یا اختلال و بهم خوردن تعادل آبی در سلول های گیاهی و یا در نتیجه تأثیر کادمیوم بر سوخت و ساز عناصر ضروری می باشد (Khan et al, 2006).

### تعداد برگ

اثر کادمیوم، ورمی کمپوست و اثر متقابل آن ها بر تعداد برگ اسفناج در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج اثر متقابل کادمیوم و ورمی کمپوست (جدول ۷) بر تعداد برگ اسفناج نشان داد که در شرایط بدون حضور کادمیوم، ورمی کمپوست سبب افزایش میانگین تعداد برگ گردید و این اثر برای سطح ۱۰ درصد حجمی این کود بیشتر و معنی دار بود. بطوری که تیمار مصرف ۱۰ درصد حجمی ورمی کمپوست سبب افزایش تعداد برگ اسفناج به میزان ۲۴/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. تحت شرایط حضور کادمیوم (غلظت ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم) اثر منفی این عنصر بر تعداد برگ با مصرف ورمی کمپوست کاهش یافت. بیشترین تعداد برگ برای تیمار ۱۰ درصد حجمی ورمی کمپوست و عدم حضور کادمیوم به تعداد ۱۰۵/۷۵ عدد در گلدان و کمترین آن از تیمار عدم مصرف ورمی کمپوست و میزان ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم به تعداد ۵۳/۷ عدد در گلدان حاصل شد. در تحقیقی بر روی رشد و عملکرد اسفناج مشاهده شد که با افزایش مقادیر ورمی کمپوست در خاک، ارتفاع و تعداد برگ به طور معنی داری افزایش یافت و با کاهش مصرف ورمی کمپوست فاکتورهای فوق نیز کاهش یافتند (Peyvast et al., 2008; Coria et al., 2009). در پژوهش دیگری گزارش شده است که افزایش غلظت کادمیوم تا سطح ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم شدیداً تأثیر نامطلوبی بر رشد گیاه گذاشته و صفاتی مانند تعداد برگ و قطر ساقه سورگوم را کاهش داده است، که دلیل این کاهش رشد را می توان به اثرات سمی کادمیوم و تأثیر آن بر جذب سایر عناصر غذایی نسبت داد (محمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹).



شاخص کلروفیل برگ اسفناج گردید، بطوری که این شاخص را نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۶۴ درصد کاهش داد (جدول ۵). بیشترین مقدار این شاخص به میزان ۱۰/۷۵ در تیمار عدم حضور کادمیوم و مصرف ۱۰ درصد حجمی ورمی کمپوست و کمترین مقدار آن از تیمار ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و بدون مصرف ورمی کمپوست به میزان ۹/۰۲ بدست آمد (جدول ۷). در این خصوص گزارش شده است که وجود بیش از حد کادمیوم در محیط با تأثیر بر عملکرد کلروپلاست و تثبیت CO<sub>2</sub> سبب کم شدن مقدار کلروفیل و رشد گیاه شده است (Zhou & Qiu., 2005). همچنین، گزارش شده است که کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تیمار کادمیوم می‌تواند به دلیل آسیب‌های اکسیداتیو باشد. این کاهش در اثر بازاریاری مراحل مختلف سنتز کلروفیل و رنگیزه‌های کارتنوئیدی می‌باشد (Hegedus et al., 2001).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کادمیوم باعث کاهش رشد اندام‌های مختلف اسفناج می‌گردد. به گونه‌ای که وزن خشک اندام هوایی در اثر تیمار کادمیوم ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم به میزان ۵۱/۹ درصد کاهش معنی دار نشان داد. از سویی دیگر مصرف ورمی کمپوست به دلیل اثرات تغذیه‌ای باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید و اثرات سوء کادمیوم را کاهش داد. بنابراین، به نظر می‌رسد در خاک‌هایی که به نوعی به فلزات سنگین از جمله کادمیوم آلوده هستند، مصرف ورمی کمپوست به جهت نقش مثبت آن در افزایش عملکرد و زیست توده گیاه، باعث جبران بخشی از اثرات سوء جذب فلز سنگین توسط گیاه می‌گردد. بخش قابل توجهی از کادمیوم با ماده آلی کمپلکس تشکیل داده و این عمل موجب کاهش غلظت‌های این عناصر در بخش محلول خاک می‌گردد و در نهایت مانع از جذب آن توسط گیاه می‌شود.

اثر کادمیوم و اثر متقابل کادمیوم و ورمی کمپوست بر سطح برگ اسفناج در سطح یک درصد و اثر ورمی کمپوست بر سطح برگ اسفناج در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل کادمیوم و ورمی کمپوست (جدول ۷) بر سطح برگ اسفناج نشان داد که در شرایط بدون حضور کادمیوم، ورمی کمپوست سبب افزایش میانگین سطح برگ اسفناج گردید. تحت شرایط حضور کادمیوم (۲۰ میلی گرم در کیلوگرم) اثر منفی این عنصر بر سطح برگ با مصرف ۵ درصد حجمی ورمی کمپوست کاهش یافت اما این اثر معنی دار نبود. بطوری که مقدار سطح برگ از ۰/۸۱ سانتی متر مربع در تیمار عدم حضور کادمیوم و مصرف ۱۰ درصد حجمی ورمی کمپوست به ۰/۱۸ سانتی متر مربع در تیمار حضور کادمیوم و مصرف ورمی کمپوست به مقدار ۱۰ درصد حجمی کاهش پیدا کرد (جدول ۷). در این خصوص گزارش شده است که کاهش رشد بطور کلی به علت از دست رفتن اتساع سلولی و نیز کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طولی شدن سلول‌ها می‌باشد (Shah et al, 2008). همچنین، کادمیوم در سلول‌ها از طریق تأثیر بر دیواره‌های سلولی و تیغه میانی و افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی باعث مهار گسترش سلولی می‌شود (Hassan et al, 2006). بطوری که افزایش کادمیوم در محیط رشد تولید ماده خشک در بخش هوایی را که با کاهش میزان رشد نسبی، میزان ماده سازی خالص و نسبت سطح برگ همراه است، کاهش می‌دهد (Ghorbanli et al., 2000).

### شاخص کلروفیل

اثر کادمیوم در سطح یک درصد بر شاخص کلروفیل برگ معنی دار بود. همچنین، اثر ورمی کمپوست و اثر متقابل کادمیوم و ورمی کمپوست بر شاخص کلروفیل برگ تفاوت معنی داری نشان نداد (جدول ۴). با توجه به نتایج بدست آمده، تیمار ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم باعث کاهش

## منابع

- احیایی، م.، ع.ا. بهبهانی زاده، ۱۳۷۲. روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۸۹۳ و ۱۰۲۴.
- امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه (جلد اول)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی ۹۸۲.
- ایمانی، م. ر. ۱۳۹۱. اثر تاریخ کاشت پاییزه و روش کاشت بر عملکرد و اجزاء عملکرد اسفناج رقم ورامین ۸۸، مجله به زراعی نهال و بذر، ۴۴۹ - ۴۵۷ (۴): ۲-۲۸.
- محمدزاده، ا.، چائی چی، م.، توکلی، م.، غفاری، م. ۱۳۸۹. بررسی برخی واکنش‌های رشدی سورگوم به کادمیوم و باکتری‌های محرک رشد، پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی.
- Adejumo, S.A. Togun, A.O. Adediran, J.A and Ogundiran, M.B.2011. In-Situ Remediation of Heavy Metal Contaminated Soil Using Mexican Sunflower (*Tithonia diversifolia*) and Cassava Waste Composts. World Journal of Agricultural Sciences 7 (2): 224-233.
- Alloway, B. J. 1990. Soil processes and the Behavior of Metals, Chap 2 in Alloway, B. J. (ed) Heavy Metals in Soils, Blackie Academic and Professional. Glasgow. 7-28.
- Bigdeli, M and M, Seilsepour. 2008. Investigation of Metals Accumulation in Some Vegetables Irrigated with Waste Water in Shahre Rey-Iran and Toxicological Implications, American-Eurasian J. Agric. & Environ, Sci., 4 (1): 86-92
- Blinda, A., Koch, B., Ramanjulu, S. and K.J. Dietz. 1997. De novo synthesis and accumulation of apoplast proteins in leaves of heavy metal exposed barley seedlings, Plant cell Environ. 20: 969-981.
- Clemente R, Waljker DJ, Bernal MP. 2005. Uptake of heavy metals and As by Brassica Juncea grown in a contamination soil in Arnalcollar (Spain): The effect of soil amendments, Environmental Pollution 136, 46-58.
- Coria-Cayupán, Y.S., De Pinto, M.I.S. and Nazareno, M. A. 2009. Variations in bioactive substance contents and crop yields of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in soils with different fertilization treatments, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 10122-10129.
- Deheri, G. S., Brar, M. S and S. S, Malhi. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils, J. Plant Nutr. Soil, Sci. 170:495-499.
- Ghorbanli M., S. H. Kaveh and M. F. Sepehr. 2000. Effects of cadmium and giberlin on growth and photosynthesis of *Glycine Max*. *Photosynthetica* 37(4): 627-631.
- Hassan, M. J., Z. Zhu, B. Ahmad and Q. Mahmood. 2006. Influence of cadmium toxicity on rice genotypes as affected by zinc, sulfur and nitrogen fertilizers, *Caspian J. Env, Sci.* 4(1): 1-8.
- Hegedus, A., Erdel, S. and Horvath, G. 2001. Comparative studies of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoxifying enzymes in green and greening barley seedling under cadmium stress, *plant sci*, 160: 1085– 1093.
- Hooda, P. S. and B. J. Alloway. 1993. Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd and Pb from sludge-amended soils, *J. Soil Sci*, 44: 97-110.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2010. Food and feed-maximum limit of heavy metals Standard No. 12968. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran (in Persian).
- Kawazu Okimura, Y. M., Ishii, T., and Yui S. 2003. Varietals and seasonal difference in oxalate content of spinach, *Scientia Horticulturae* 97: 203-210.
- Khan N. A., I. Ahmad, S. Singh and R. Nazar. 2006. Variation in growth, photosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress, *World J. of Agric. Sci.* 2(2): 223-226.

- Khoshgoftar A, Karimian H, Kalbasi N, Van Der Zee M, Parker S. 2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc, *Soil Science Society of America Journal*; 68(6): 1885-9.
- Lalor GC. 2008. Review of cadmium transfers from soil to humans and its health effects and Jamaican environment, *Sci Total Environ*, 400(1-3): 162-72.
- Lin, J. and M. Schorr. 1997. A challenge for the phosphate industry: Cd removal. *Phosphorus and Potassium*. No. 208:27-31.
- Matos, G.D. and M.A.Z. Arrunda. 2003. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents, *Proc. Biochem*. 39:81-88.
- Metwally, A., Finkemeier, I., George, M. and K.J. Dietz. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings, *Plant Physiology*, 132:272-281.
- Peyvast, G. h., Olfati, J.A., Madeni, S and A, Forghani. 2008. Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea L.*), *Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.6 (1)*: 110 – 113.
- Raicevic, S., Kaludjerovic-Radoicic, T., and Zouboulis, A.I. 2004. In situ stabilization of toxic metals in polluted soils using phosphates: Theoretical prediction and experimental verification. *J. Hazardous Mater*, 117: 41-53.
- Rangnekar, S.S. Sahu, S.K. Pandit, G.G. and Gaikwad, V.B. 2013. Study of Uptake of Pb and Cd by Three Nutritionally Important Indian Vegetables Grown in Artificially Contaminated Soils of Mumbai, India. *International Research Journal of Environment Sciences*, Vol. 2(9), pp. 53-59.
- Rezakhani, L. Golchin, A. and Samavat, S. 2013. Effect of different rates of Cd on growth and chemical composition of spinach. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, Vol, 7 (14): 1136-1140
- Sajwan, K. S., W. H. Ornes, T. V. Youngblood and A. K. Alva. 1996. Uptake of soil applied Cadmium, Nickel and Selenium by Bush Beans, *Journal of Water, Air and Soil Pollution*. 91:209-217.
- Shah, F. R., N. Ahmad, K. R. Masood and D. M. Zahid. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo ROXB.*) seedlings, *Pak. J. Bot.* 40(4): 1341-1348.
- Shanker, A. K., C. Cervantes, H. Loza-Tavera and S. Avudainayagam. 2005. Chromium toxicity in plants. *Environ, Int.* 31: 63-68.
- Singh, S and P.K. Aggarwal. 2006. Effect of heavy metals on biomass and yield of different crop species. *Indian J. Agric. Sci.* 76:688-691.
- Van Herwijnen, R., Al-Tabbaa, A., Hutchings, T.R., Moffat, A.J., Ouki, S.K. and Ohns, M.L. 2007. The impact of waste compost-based soil amendments on the leaching behavior of a heavy metal contaminated soil. *Environmental Engineering Science* 24, 897- 904.
- Yizong, H., Ying, H., and Yunxia, L. 2009. Combined toxicity of copper and cadmium to six rice genotypes (*Oryza sativa L.*), *Environmental sciences*, 21, 647-653.
- Zhou WB, Qiu BS. 2005. Effects of cadmium hyperaccumulation on physiological characteristics of *Sedum alfredii* Hance (Crassulaceae), *Plant Sci.* 169: 737-745.

## Study of the effects of cadmium and vermicompost on some growth parameters of spinach (*Spinacea oleracea* L.)

Samaneh Abdoosi<sup>1\*</sup>

*1-MSc of Soil Science, Department of Soil Science of Agriculture Collage, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran.*

\*Corresponding Author: Samaneh Abdoosi  
Email: sama.Abdoosi@yahoo.com

### ABSTRACT

**Introduction:** Cadmium is one of the most dangerous heavy metals through oxidative stress impairs the balance of plant processes and ultimately reduce nutrients in plant growth. On the other hand, this element is highly toxic for humans and cause liver and kidney diseases. Vermicompost is a source of organic matter that plays important roles in plant nutrition and decreases availability of heavy metals including cadmium in soil. The purpose of this study was to investigate the effects of cadmium and vermicompost on morphological traits of spinach.

**Materials and Methods:** To study the effects of different levels of cadmium and vermicompost on some morphological characteristics and nutrients in spinach, a greenhouse experiment was conducted in the research greenhouse of Agriculture and Natural Resources Research Center of Tehran province in 1394. The experiment was carried out factorial based on randomized complete block design with six treatments and four replications. Cd factor were two levels, 0 and 20 mg per kg and vermicompost factor were in three levels as mixing five percent of vermicompost with soil and ten percent of vermicompost with soil. Shoot dry weight, number of leaves, plant height, leaf area, chlorophyll content in leaves were statistically analyzed.

**Results and Discussion:** The results were showed that dry weight, number of leaves per plants, plant height, leaf area and chlorophyll content were significantly reduced by the use of cadmium. Also, leaf area index and chlorophyll had the most sensitivity and least sensitivity to cadmium. Data also showed that leaf area and chlorophyll index decreased 58 and 10.6 percent in compare to control by use in the 20 mg.kg<sup>-1</sup> in the soil, respectively. Data also demonstrated that use of vermicompost increased significantly shoot dry weight, number of leaves and leaf area. Shoot dry weight increased 49.4 percent in compare to control by mixing of ten percent of vermicompost with soil. The results also showed that use of vermicompost in soil, decreased the negative effects of cadmium on some traits of spinach such as leaf number, plant height and leaf area.

**Conclusion:** The results were showed that cadmium decreased the growth of the different organs in the spinach. On the other hand, due to the effects of vermicompost consumption increased shoot dry weight and nutrient uptake, and reduced the adverse effects of cadmium.

**Keywords:** Spinach, Vermicompost, Cadmium, Shoot, Dry weight