اثر کشت آفتابگردان، کود دامی و لجن فاضلاب بر فراهمی عناصر، pH و EC یک خاک قلیایی

نصرت اله نجفی[۱*]، سنیه مردمی[۲]

[۱] استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[*] نویسنده مسئول: nanajafi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۰۷

چکیده

کشت گیاه و مصرف مواد آلی می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک و فراهمی عناصر غذایی را تغییر دهد. در یک تحقیق گلخانه‌ای، اثر کشت گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، لجن فاضلاب و کود دامی بر فراهمی عناصر، pH و هدایت الکتریکی محلول یک خاک قلیایی در شرایط غرقاب بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو تکرار، شامل مدت غرقاب در ۱۰ سطح (۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۱۹ و ۲۲ روز)، منبع مواد آلی در دو سطح (کود دامی و لجن فاضلاب)، مقدار مواد آلی در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و کشت گیاه در دو سطح (با و بدون کشت آفتابگردان) انجام شد. گلدان‌ها در مرحله شش برگی آفتابگردان غرقاب شدند و در طول این دوره، ۵-۳ سانتی‌متر آب در سطح خاک نگهداری شد. نتایج نشان داد که pH محلول خاک گلدان‌های بدون کشت در تمامی تیمارهای مورد مطالعه پس از غرقاب افزایش یافت. pH محلول خاک گلدان‌های بدون کشت پس از کاربرد لجن فاضلاب کاهش ولی پس از کاربرد کود دامی افزایش یافت. pH محلول خاک گلدان‌های با کشت آفتابگردان کمتر از گلدان‌های بدون کشت بود. در تیمار شاهد، EC محلول خاک پس از غرقاب ابتدا افزایش و پس از رسیدن به یک حداکثر مجدداً کاهش یافت. کاربرد کود دامی و لجن فاضلاب EC محلول خاک را افزایش داد و میزان افزایش با کاربرد کود دامی بیشتر بود. در تمامی تیمارها، EC محلول خاک گلدان‌های با کشت آفتابگردان با EC محلول خاک گلدان‌های بدون کشت متفاوت بود. فراهمی P، K، Na، Fe، Mn، Cu و Zn در خاک گلدان‌های باکشت آفتابگردان بیشتر از خاک گلدان‌های بدون کشت بود ولی میانگین Cd و Pb قابل‌جذب در خاک گلدان‌های باکشت آفتابگردان تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با خاک گلدان‌های بدون کشت نداشت.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، رایزوسفر، غرقاب، کود دامی، لجن فاضلاب

مقدمه

از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی خاک که بر رشد گیاه و کیفیت محصول اثر دارند، pH و هدایت الکتریکی (EC) می‌باشند (Jaillard *et al.*, 2003; Silber *et al.*, 1998; Shuman & Wang, 1997). کشت گیاه، غرقاب شدن خاک و مصرف کودهای آلی می‌توانند pH و EC خاک و فراهمی عناصر را تغییر دهند. کشت گیاه بر اثر فرآیندهای مختلفی که در خاک مجاور ریشه (رایزوسفر) اتفاق می‌افتد، می‌تواند pH، EC و فراهمی عناصر را در خاک تغییر دهد (Hinsinger *et al.*, 2003; Jaillard *et al.*, 2003; Marschner, 1995; Barber, 1995).

در مطالعات انجام شده به تغییر EC محلول خاک رایزوسفر کمتر توجه شده است. نجفی و پارسازاده (۱۳۹۰) گزارش دادند که EC رایزوسفر اسفناج نسبت به EC گلدان‌های بدون کشت بیشتر بود. باربر (۱۹۹۵) بیان داشت که جهت و میزان تغییر EC محلول خاک رایزوسفر به سرعت جذب آب و یون‌ها بستگی دارد. اگر سرعت جذب آب بیشتر از سرعت جذب یون‌ها باشد، EC محلول خاک رایزوسفر افزایش می‌یابد. بنابراین، در چنین شرایطی ممکن است EC محلول خاک رایزوسفر زودتر از توده خاک به سطح بحرانی برسد. نجفی و توفیقی (۱۳۸۵ و ۲۰۰۸) مشاهده کردند که غلظت

فسفر محلول و قابل‌جذب در خاک رایزوسفر برنج کمتر از خاک غیررایزوسفری بود ولی پس از افزودن فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه به فسفر موجود در خاک رایزوسفر (محاسبه مجموع فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه و فسفر باقی‌مانده در خاک رایزوسفر)، قابلیت‌جذب فسفر در خاک رایزوسفر نسبت به خاک غیررایزوسفر افزایش یافت. در برخی بررسی‌ها، افزایش قابلیت‌جذب فسفر (P)، آهن (Fe)، روی (Zn)، کادمیوم (Cd)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، سدیم (Na) و کلرید (Cl) در خاک رایزوسفر گیاهان مختلف نسبت به خاک غیررایزوسفری مشاهده شده است (Sinha & Singh, 1974; Ahad, & Debnath, 1989; Hanafi & Leslee, 1996; Marschner, 1995; Jauert *et al*., 2002; Pinton *et al*., 2007). لذا، شرایط موجود در رایزوسفر در بسیاری موارد با توده خاک متفاوت است و این تفاوت بر تغذیه گیاهان و رشد آن‌ها اثر می‌گذارد (Romheld, 1990).

از طرف دیگر، وجود مقدار کافی مواد آلی در خاک، برای رشد مطلوب گیاهان و دستیابی به عملکرد بهینه آنها لازم است. با این حال، میزان مواد آلی در اغلب خاک‌های زیرکشت ایران کمتر از یک درصد بوده و منابع تأمین مواد آلی نیز بسیار محدود و عمدتاً شامل کودهای دامی، بقایای گیاهی و انواع کمپوست می‌باشد که جوابگوی نیاز روزافزون بخش کشاورزی به کودهای آلی نیست (کلباسی، ۱۳۷۵). لذا، در سال‌های اخیر کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی، از یک طرف به‌عنوان یک منبع آلی ارزان‌قیمت و سرشار از عناصر غذایی مختلف مثل نیتروژن و فسفر (Gouim, 1985؛ Havlin *et al*., 1999) و از طرف دیگر به‌عنوان یک روش ایمن برای دفن پسماند حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است (بولان و دورایسامی، ۲۰۰۳). ارزش لجن فاضلاب به‌عنوان منبع تأمین عناصر غذایی برای گیاهان در پژوهش‌های متعددی نشان داده شده است (Singh & Agrawal, 2008). مهمترین مزیت کاربرد لجن فاضلاب در کشاورزی افزایش عناصر غذایی قابل‌جذب گیاه در خاک می‌باشد. لجن فاضلاب باعث افزایش کربن آلی، نیتروژن و فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک، افزایش EC و کاهش pH خاک می‌شود (Brollier *et al*., 1992؛ Singh & Agrawal, 2007).

آفتابگردان یکی از چهار گیاه روغنی مهم یک‌ساله‌ای است که برای تهیه روغن خوراکی و تغذیه انسان و دام کشت می‌شود. در اکثر مناطق ایران امکان تولید آفتابگردان به‌صورت اقتصادی وجود دارد. خاک مزارع آفتابگردان باید زهکشی خوبی داشته باشد؛ زیرا رطوبت اضافی در خاک برای آفتابگردان در هر مرحله از رشد مضر است و میزان خسارت مستقیماً به طول دوره غرقاب شدن خاک بستگی دارد (عرشی، ۱۳۷۳). با این حال، خاک‌های مزارع آفتابگردان در کشور بر اثر عواملی چون آبیاری بی‌رویه و طغیان رودخانه‌ها در معرض غرقاب قرار می‌گیرند. این تغییرات در شرایط رطوبت خاک، می‌تواند pH و EC محلول خاک و قابلیت جذب عناصر را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به مطالب مذکور، این تحقیق برای بررسی اثر کشت آفتابگردان، لجن فاضلاب و کود دامی بر تغییرات pH و EC محلول خاک پس از غرقاب و تعیین اثر کشت آفتابگردان بر فراهمی P، K، Ca، Mg، Na، Fe، Mn، Zn، Cu، Cd و Pb انجام گردید.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، خاکی با بافت شن لومی از اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب گردید. علت انتخاب خاک سبک بافت این بود که در پایان دوره رشد، جداسازی ریشه از خاک تسهیل گردد. خاک مورد نظر از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. بعد از هواخشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی (Dane & Topp, 2002) و شیمیایی خاک (Page *et al*., 1982) تعیین گردید که نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است. منابع آلی مورد استفاده شامل لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه و کود دامی از ایستگاه تحقیقات کشاورزی خلعت پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه گردید. ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده تعیین گردید (Peters, 2003؛ Page *et al*., 1982) که نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردیده است.

برای بررسی اثر کشت گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، مدت غرقاب شدن، لجن فاضلاب و کود دامی بر pH و EC محلول خاک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو تکرار، شامل مدت غرقاب در ۱۰ سطح (۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۱۹ و ۲۲ روز) (Orchard & Jessop, 1984)، دو نوع منبع آلی (کود دامی و لجن فاضلاب)، مقدار مواد آلی در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک) (Maftoun & Moshiri, 2008) و کشت گیاه در دو سطح (با و بدون کشت آفتابگردان) انجام شد. ابتدا گلدان‌های پلاستیکی چهار کیلوگرمی تهیه گردید و در ته آن‌ها یک شیلنگ پلی‌اتیلنی قرار داده شد؛ به‌طوری که یک سر آن در داخل گلدان و سر دیگر آن در بیرون گلدان باشد. برای خارج کردن عصاره صاف از هر گلدان روی شیلنگ با یک لایه پشم شیشه پوشانده شد. قبل از کشت گیاه، ابتدا براساس نتایج آزمون خاک و کودهای آلی (جدول‌های ۱ و ۲) کودهای شیمیایی مورد نیاز به‌صورت محلول به خاک افزوده شد و خوب مخلوط گردید. سپس کودهای آلی به میزان ۱۵ و ۳۰ گرم به هر کیلوگرم خاک (معادل ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار) افزوده شد. مقدار ۲/۵ کیلوگرم از خاک آماده شده به طریق مذکور در داخل گلدان‌ها ریخته شد و ۱۴ روز در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شد تا خاک داخل گلدان‌ها به تعادل نسبی برسد. سپس شش عدد بذر جوانه‌دار شده آفتابگردان رقم محلی قلمی در گلدان‌های مربوط به تیمار باکشت، کشت شد و در مرحله دو برگی به دو گیاه در هر گلدان تنک گردید. رطوبت گلدان‌ها از طریق توزین روزانه در حدود ظرفیت مزرعه‌ای کنترل گردید و پس از رسیدن گیاهان به مرحله شش برگی خاک گلدان‌ها غرقاب شد. در طول دوره غرقاب آبی به ارتفاع ۵-۳ سانتی‌متر در سطح خاک نگه‌داشته شد. در زمان‌های ۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۱۹ و ۲۲ روز پس از غرقاب، با یک سرنگ ۵۰ میلی‌لیتری که قطر خارجی دهانه آن با قطر داخلی شیلنگ پلی‌اتیلنی برابر بود، از محلول خاک داخل گلدان‌های باکشت و بدون کشت آفتابگردان همزمان نمونه‌برداری شد و بلافاصله pH آن‌ها با استفاده از دستگاه pHسنج (مدل pH 209, HANNA) و EC آن‌ها با استفاده از EC سنج (مدل EC215, HANNA) تعیین گردید. بعد از هر بار اندازه‌گیری pH و EC، محلول دوباره به داخل گلدان‌ها برگردانده شد تا تغییری در ترکیب شیمیایی محلول خاک بر اثر خروج آبشویه ایجاد نگردد. پس از ۲۲ روز غرقاب، گلدان‌ها با ایجاد سوراخ‌هایی در ته آن‌ها زهکشی شدند و زه‌آب آن‌ها جمع‌آوری شد و در مراحل بعدی رشد با آب زه‌آب آبیاری شد. پس از زهکشی اجازه داده شد تا گیاهان به رشد خود ادامه دهند (حدود ۳۵ روز).

جدول ۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1) Some physical and chemical properties of studied soil

گروه بافت	شن	سیلت	رس	آهک	ماده آلی	SP	$pH_{(1:1)}$	$EC_{(1:1)}$ ($dS\ m^{-1}$)
				٪				
شن لومی	70	18	12	ناچیز	0.11	32	7.63	0.11

ادامه جدول ۱) غلظت نیتروژن کل و عناصر قابل‌جذب خاک مورد استفاده

Table 1 (continued)) Concentrations of total nitrogen and available elements in the studied soil

Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	N
$mg\ kg^{-1}$											(٪)
3.4	0.02	1.3	0.85	1.1	1.8	99.1	1149.2	108.8	250	5.7	0.08

جدول ۲) برخی ویژگی‌های شیمیایی مواد آلی مورد استفاده

Table 2) Chemical properties of organic matter sources used in the study

ماده آلی	$pH_{(1:2)}$ (v/v)	$EC_{(1:2)}$ ($dS\ m^{-1}$) (v/v)	OM	OC	N	C/N
			٪			
کود دامی	8.7	21.2	25.86	15.00	0.95	15.78
لجن فاضلاب	6.2	4.01	51.72	30.00	2.00	15.00

ادامه جدول ۲) غلظت کل عناصر در مواد آلی مورد استفاده

Table 2 (continued)) Concentrations of total elements in organic matter sources used in the study

ماده آلی	P	Mg	Ca	K	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Cd	Pb
	$g\ kg^{-1}$					$mg\ kg^{-1}$					
کود دامی	9.06	21.4	12.8	22.5	6.9	5149	101	38.9	148	9.7	94.3
لجن فاضلاب	11.6	5.2	26.7	2.9	0.8	7124.4	2723	186.5	808	12.1	51.4

پس از ۸۵ روز رشد، بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و ریشه نیز از خاک جدا شد. ریشه و بخش هوایی گیاهان پس از شستشو با آب مقطر، در داخل دستگاه خشک‌کن نمونه‌های گیاهی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و ۷۲ ساعت نگهداری شدند تا خشک شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. سپس با استفاده از آسیاب پودر شده و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. آنگاه غلظت‌های P، K، Ca، Mg، Na، Fe، Mn، Zn، Cu، Cd و Pb در ریشه و بخش هوایی گیاهان به روش اکسایش خشک (Westerman, 1990) تعیین گردید. غلظت P عصاره‌ها با روش وانادت‌مولیبدو فسفریک اسید و با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۳۰ نانومتر، غلظت Ca، Mg، Fe، Mn، Zn، Cu، Cd و Pb عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی ساخت شرکت شیمادزو ژاپن مدل AA-6200 (Waling *et al.*, 1989) و K و Na عصاره‌ها با دستگاه فلیم‌فوتومتر ساخت شرکت کورنینگ انگلستان مدل ۴۱۰ اندازه‌گیری شد. سپس از حاصل‌ضرب غلظت در ماده خشک گیاه، میزان جذب عنصر در ریشه و بخش هوایی محاسبه گردید. همچنین از خاک داخل گلدان‌های باکشت و بدون کشت آفتابگردان همزمان نمونه‌برداری گردید و مقادیر Ca، Mg، K و Na قابل‌جذب آن‌ها با عصاره‌گیر استات آمونیوم، Fe، Mn، Zn، Cu، Cd و Pb قابل‌جذب با عصاره‌گیر DTPA و P قابل‌جذب با عصاره‌گیر بیکربنات سدیم (Page *et al.*, 1982) تعیین گردید. برای تعیین اثر کشت گیاه آفتابگردان بر فراهمی عناصر مذکور، در تیمارهای باکشت مقدار عنصر جذب شده توسط ریشه و بخش هوایی گیاه به مقدار عنصر قابل-جذب باقی‌مانده در خاک در پایان دوره رشد افزوده شد و با مقدار عنصر قابل‌جذب تیمارهای بدون کشت مقایسه گردید (Jianguo & Shuman, 1991؛ نجفی و توفیقی، ۱۳۸۵). تجزیه آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد) با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

اثر غرقاب بر pH محلول خاک

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب، کشت گیاه، کودهای آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر pH محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). با افزایش مدت غرقاب، pH محلول خاک گلدان‌های بدون کشت در تمامی تیمارهای مورد مطالعه افزایش یافت (شکل ۱) که با نتایج توفیقی و نجفی (۱۳۸۰) مطابقت داشت. این نتیجه برخلاف انتظار بود زیرا خاک مورد استفاده در این بررسی قلیایی ضعیف بود و معمولاً pH خاک‌های قلیایی پس از غرقاب کاهش می‌یابد (Kirk, 2004). با این حال، افزایش pH محلول

خاک پس از غرقاب در شرایط این آزمایش ممکن است ناشی از دو عامل باشد که عبارتند از: ۱) فرآیندهای کاهش که بر اثر غرقاب ابتدا اکسیژن مصرف می‌شود، سپس ترکیبات نیترات و منگنز و پس از آن‌ها Fe^{3+} به Fe^{2+} و آن‌گاه سولفات به سولفید احیاء می‌شود (Patrick & Mahapatra, 1968). این فرآیندها مصرف کننده پروتون بوده و باعث افزایش pH محلول خاک می‌گردند (Kirk, 2004). ۲) هیدرولیز اوره: در این تحقیق کود اوره چند بار (قبل از کشت و در طول دوره رشد) به‌صورت محلول به خاک گلدان‌ها افزوده شد. بر اثر هیدرولیز اوره در شرایط غرقاب کربنات آمونیوم تشکیل می‌شود. کربنات آمونیوم از دو مول آمونیاک (باز قوی) و یک مول اسید کربنیک (اسید ضعیف) تشکیل یافته است و طبق واکنش زیر باعث افزایش pH محلول خاک در طول دوره غرقاب می‌شود (Kirk, 2004):

$$CO(NH_2)_2+3H_2O\rightarrow 2NH_4^++HCO_3^-+OH^- \quad (۱)$$

با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، pH محلول خاک گلدان‌های باکشت برخلاف گلدان‌های بدون کشت، تقریباً در تمامی تیمارهای مورد مطالعه کاهش یافت (شکل‌های ۲، ۳، ۴) که نشان دهنده این است که حضور گیاه آفتابگردان اثر غرقاب را از بین برده و روند تغییر pH خاک را تغییر داده است که دلایل آن بعداً در بخش اثر کشت آفتابگردان بر pH محلول خاک بحث می‌شود.

اثر منبع و مقدار ماده آلی بر pH محلول خاک

کاربرد کود دامی به‌میزان ۱۵ g/kg تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر pH محلول خاک گلدان‌های بدون کشت نداشت ولی کاربرد آن به میزان ۳۰ g/kg، pH محلول خاک را به‌طور قابل‌ملاحظه افزایش داد (شکل ۱). این افزایش pH محلول خاک پس از کاربرد کود دامی را می‌توان به بیشتر بودن pH کود دامی نسبت به خاک (جدول‌های ۱ و ۲) مربوط دانست. بیشتر بودن pH کود دامی نیز می‌تواند ناشی از زیادی غلظت فلزات قلیایی مثل سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم باشد (جدول ۲). همچنین در شرایط غرقاب غلظت بیکربنات و کربنات محلول خاک افزایش می‌یابد (به‌ویژه در حضور مواد آلی) و بر اثر حضور احتمالی ترکیباتی مثل بی‌کربنات‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در محلول خاک، pH بیشتر افزایش می‌یابد. کاربرد لجن فاضلاب pH محلول خاک گلدان‌های بدون کشت را کاهش داد و با افزایش سطح مصرفی آن میزان کاهش pH محلول خاک بیشتر شد (شکل ۱) که با نتایج واثقی و همکاران (۱۳۸۲) مطابقت داشت. این کاهش pH محلول خاک پس از کاربرد لجن فاضلاب را می‌توان به کمتر بودن pH لجن فاضلاب نسبت به خاک (جدول‌های ۱ و ۲) مربوط دانست. بنابراین، اثر کود دامی و لجن فاضلاب بر pH محلول خاک متفاوت بود که با نتایج والکر و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت. آنان مشاهده کردند که با کاربرد کود دامی pH محلول خاک افزایش در حالی‌که با کاربرد کمپوست برگ‌های زیتون و سایر مواد زاید مقدار آن کاهش یافت. به‌عقیده مندال و میترا (۱۹۸۲) سینتیک تغییرات pH محلول خاک پس از غرقاب به ویژگی‌های خاک از جمله درصد ماده آلی آن بستگی دارد و افزودن مواد آلی سبب تشدید کاهش pH می‌گردد. بالکوم و همکاران (۲۰۰۱) گزارش دادند که کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری در مقادیر تا ۸/۱ تن بر هکتار اثر معنی‌داری بر pH خاک اسیدی مورد مطالعه نداشت.

اثر کشت آفتابگردان بر pH محلول خاک

در تمامی تیمارها (به استثنای تیمار ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک)، pH محلول خاک گلدان‌های باکشت آفتابگردان کمتر از pH محلول خاک گلدان‌های بدون کشت بود (شکل‌های ۲، ۳ و ۴). کاهش pH خاک گلدان‌های باکشت نسبت به خاک گلدان‌های بدون کشت را می‌توان به ترشح یون‌های پروتون، تولید گاز کربنیک به‌وسیله ریشه و ریزجانداران و ترشح اسیدهای آلی و غیره به‌وسیله ریشه گیاه مربوط دانست (Marschner, 1995). pH محلول خاک گلدان‌های باکشت آفتابگردان در تیمار ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک در ابتدای دوره رشد اسیدی (حدود ۶/۱) بود. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش pH محلول خاک در این تیمار ناشی از سرعت بیشتر جذب آنیون‌ها نسبت به کاتیون‌ها و ترشح بیکربنات به‌وسیله ریشه گیاه می-

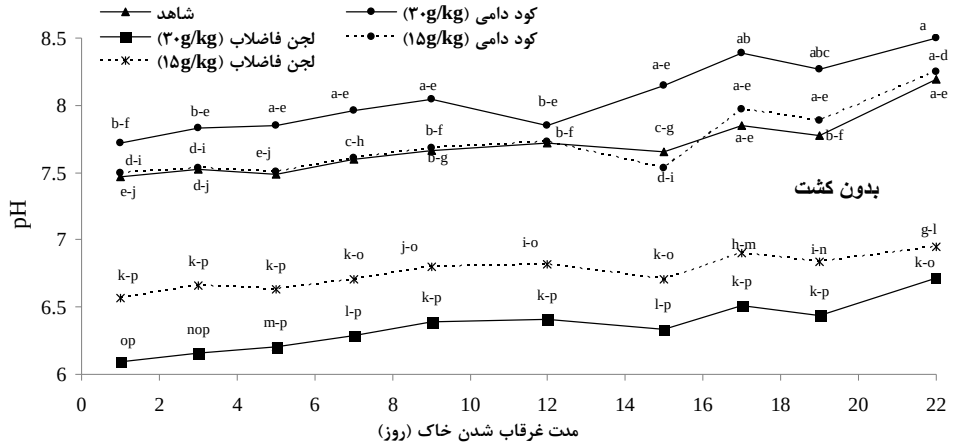
باشد که سبب افزایش pH می‌گردد (Marschner, 1995). همچنین برخی بررسی‌ها نشان داده است که در شرایط اسیدی ریشه گیاه فعالانه pH رایزوسفر خود را افزایش می‌دهد تا اثر سوء pH اسیدی مثل سمیت یون‌های آهن، منگنز و آلومینیوم را کاهش دهد (Dakora & Phillips, 2002؛ Ryan *et al*., 2004). داکورا و فیلیپس (۲۰۰۲) گزارش دادند که برخی گیاهان به‌طور فعال pH رایزوسفر خودشان را با ترشح یون‌های هیدروکسیل و بیکربنات افزایش می‌دهند تا بتوانند رشد خود را در خاک‌های با pH پایین (سه تا پنج) تسهیل نمایند. ریان و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که ریشه‌های گیاهان نسبت به تنش‌های مختلف از قبیل کمبود و سمیت ناشی از برخی عناصر پاسخ‌های ویژه‌ای می‌دهند که بر اثر آن‌ها ویژگی‌های شیمیایی خاک و رشد میکروبی در رایزوسفر تغییر می‌کند.

جدول ۳) تجزیه واریانس اثر کشت، کودهای آلی و مدت غرقاب بر pH و EC آبشویه گلدان‌ها

Table 3) Analysis of variance for pH and EC of pots leachates as affected by sunflower cultivation, organic fertilizers and waterlogging

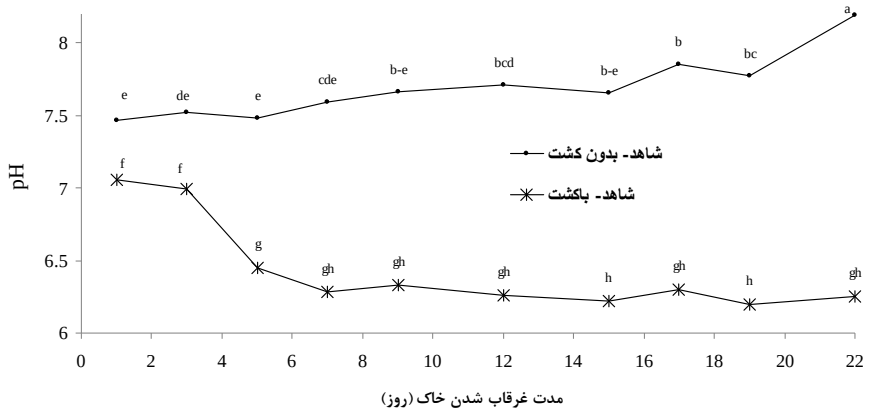
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		pH	EC (dS m^{-1})
کشت	1	16.35**	210.65**
کود آلی	4	7.58**	223.38**
کشت× کود آلی	4	3.45**	27.88**
زمان غرقاب	9	0.29**	5.79**
کشت×کود آلی	9	0.78**	18.13**
کشت×زمان غرقاب	36	0.07**	0.386**
کشت×کود آلی ×زمان غرقاب	36	0.01**	0.58**
خطای آزمایشی	100	0.1	0.243
ضریب تغییرات (٪)		4.62	7.51

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد



شکل ۱) اثر کود دامی و لجن فاضلاب بر pH محلول خاک پس از غرقاب در شرایط بدون کشت

Fig. 1) Effects of farmyard manure and sewage sludge on changes in soil solution pH after waterlogging in no cultivation condition

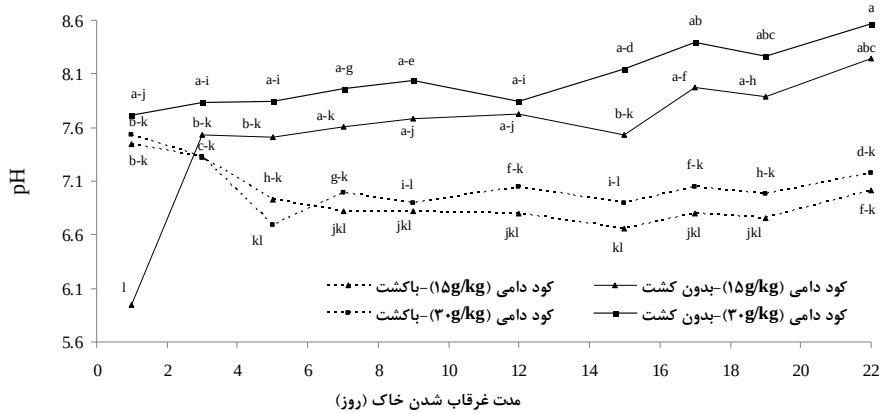


شکل ۲) اثر کشت آفتابگردان بر pH محلول خاک پس از غرقاب در تیمار شاهد

Fig. 2) Effects of sunflower cultivation on changes in soil solution pH after waterlogging in control treatment

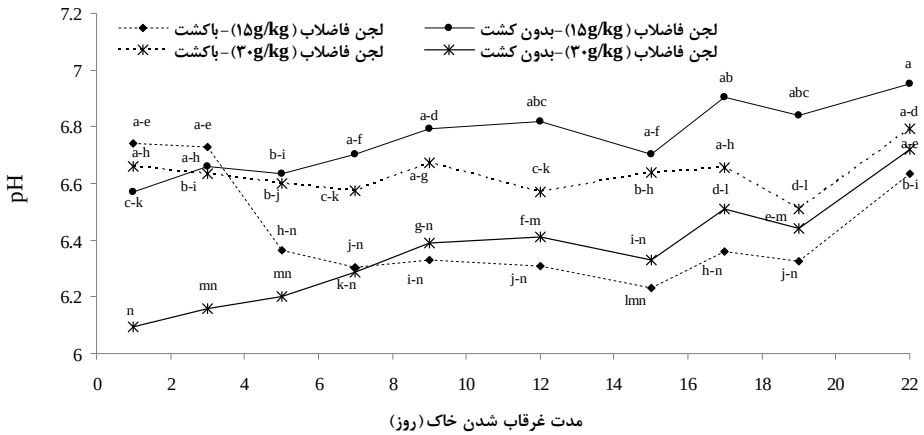
اثر غرقاب بر EC محلول خاک

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی غرقاب، کشت گیاه، کودهای آلی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر EC محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، EC محلول خاک در تیمار شاهد ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به یک حداکثر دوباره کاهش یافت (شکل ۵) که با نتایج نارته و صحراوات (۱۹۹۹) مطابقت داشت. این در حالی بود که در تیمارهای دارای کود دامی و لجن فاضلاب EC محلول خاک با افزایش مدت غرقاب، کاهش یافت (شکل ۵). افزایش EC محلول خاک پس از غرقاب می‌تواند ناشی از افزایش غلظت کاتیون‌های NH_4^+، Fe^{2+} و Mn^{2+} در این شرایط باشد. این کاتیون‌ها در مکان‌های تبادلی جایگزین یون‌های Na^+، K^+، Ca^{2+} و Mg^{2+} می‌شوند و در نتیجه غلظت آن‌ها در محلول خاک افزایش یافته و EC افزایش می‌یابد (Narteh & Sahrawat, 1999). به‌نظر می‌رسد کاهش بعدی EC محلول خاک پس از غرقاب ناشی از اکسایش Fe^{2+} و Mn^{2+} و رسوب آن‌ها به شکل هیدروکسید در لایه اکسیدی سطح خاک غرقاب می‌باشد (Larson & Schaffer, 1991). در تیمارهای دارای کود دامی و لجن فاضلاب، به‌نظر می‌رسد پدیده احیای آهن و منگنز و تبادل میان آن‌ها با کاتیون‌های فوق‌الذکر نتوانسته است EC محلول خاک را افزایش دهد.



شکل ۳) اثر کشت آفتابگردان بر pH محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای دارای کود دامی

Fig. 3) Effects of sunflower cultivation on changes in soil solution pH after waterlogging in farmyard manure treatments

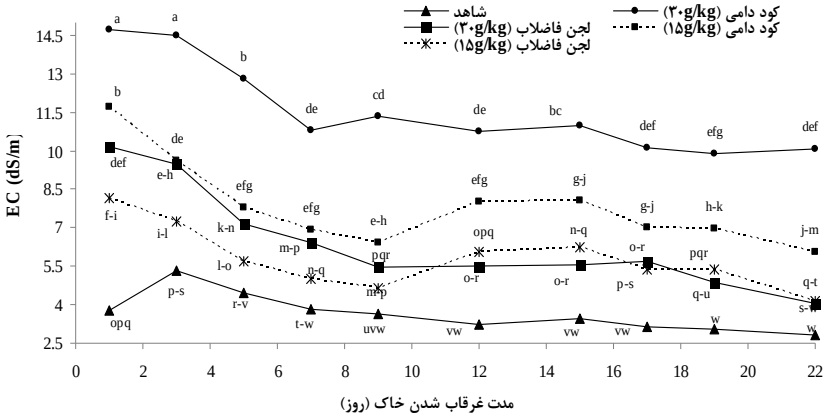


شکل ۴) اثر کشت آفتابگردان بر pH محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای دارای لجن فاضلاب

Fig. 4) Effects of sunflower cultivation on changes in soil solution pH after waterlogging in sewage sludge treatments

اثر منبع و مقدار ماده آلی بر EC محلول خاک

با کاربرد لجن فاضلاب و کود دامی و افزایش مقدار مصرف آن‌ها EC محلول خاک افزایش یافت (شکل ۵) که ناشی از بیشتر بودن EC کود دامی و لجن فاضلاب نسبت به خاک بود (جدول ۲). کاربرد کود دامی EC محلول خاک را بیشتر از کاربرد لجن فاضلاب افزایش داد. بیشتر بودن EC محلول خاک در تیمارهای دارای کود دامی را می‌توان به بیشتر بودن EC کود دامی مربوط دانست که ناشی از غلظت‌های بیشتر K^+، Na^+ و Ca^{2+} در آن بود (جدول ۲). جون و همکاران (۱۹۸۵) مشاهده کردند که با افزایش ماده آلی، EC محلول خاک در شرایط غرقاب بیشتر افزایش می‌یابد. شکل ۵ نشان می‌دهد که کاربرد مقادیر زیاد کود دامی و لجن فاضلاب در خاکی که زهکشی مناسبی ندارد یا اینکه بر اثر کم-آبی فاقد آبشویی است، بر اثر افزایش EC محلول خاک می‌تواند محدود کننده رشد گیاه باشد. بنابراین، باید در شرایط ذکر شده از مصرف مقادیر زیاد این مواد آلی خودداری شود.



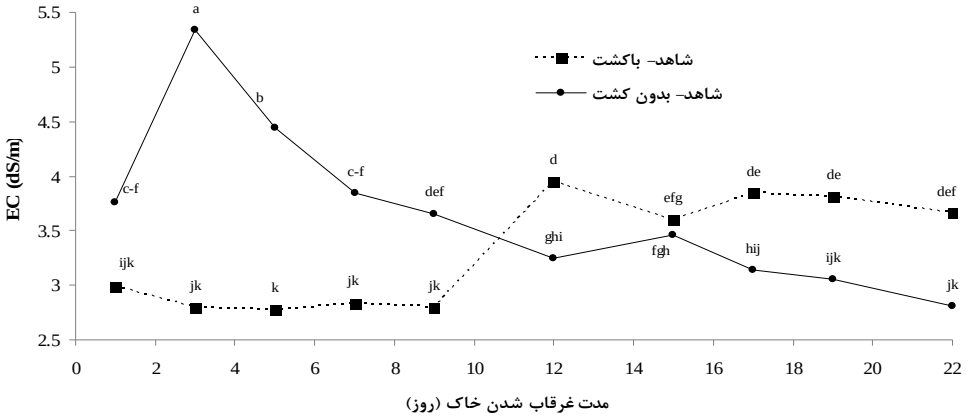
شکل ۵- اثر کود دامی و لجن فاضلاب بر EC محلول خاک پس از غرقاب در شرایط بدون کشت آفتابگردان

Fig. 5. Effects of farmyard manure and sewage sludge on changes in soil solution EC after waterlogging in no cultivation condition

اثر کشت آفتابگردان بر EC محلول خاک

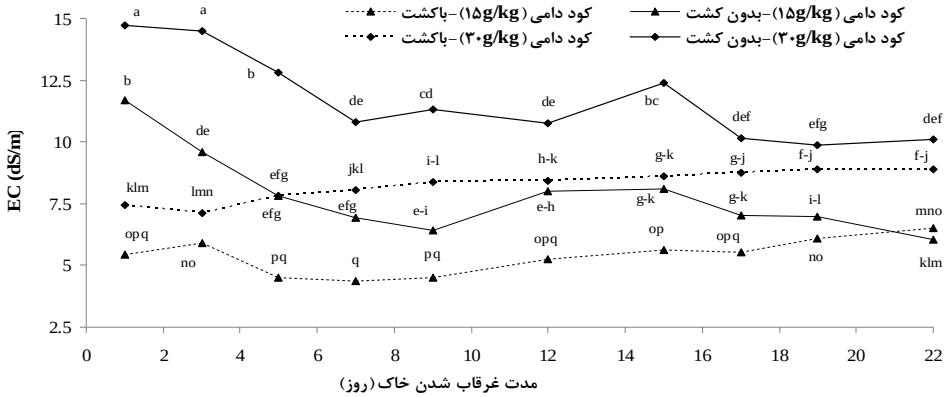
در تیمار شاهد، EC خاک رایزوسفر (باکشت آفتابگردان) تا حدود ۱۱ روز پس از غرقاب کمتر از خاک غیررایزوسفر (بدون کشت) بود ولی پس از آن بیشتر از EC خاک بدون کشت بود (شکل ۶). در تیمارهای دارای کود دامی، در سطح ۳۰ g/kg، EC خاک باکشت آفتابگردان در تمامی زمان‌های غرقاب کمتر از خاک بدون کشت بود ولی در سطح ۱۵ g/kg، EC خاک باکشت آفتابگردان با افزایش مدت غرقاب به EC خاک بدون کشت نزدیک شد و حتی در انتهای دوره غرقاب بیشتر از خاک بدون کشت بود (شکل ۷). روند مشابهی برای تیمارهای دارای لجن فاضلاب مشاهده گردید (شکل ۸). ارچارد و سو (۱۹۸۵) گزارش دادند که EC خاک باکشت آفتابگردان و سورگوم کمتر از خاک بدون کشت بود. سگوئین و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند که EC خاک رایزوسفر درختان جنگلی بیشتر از خاک غیررایزوسفری بود.

به نظر می‌رسد چندین عامل همزمان بر EC آبشویه گلدان‌های باکشت و بدون کشت آفتابگردان اثر می‌گذارند که عبارتند از: ۱) تغییر pH: با کاهش pH محلول، EC آن افزایش می‌یابد (نجفی و پارسازاده، ۱۳۹۰) زیرا فعالیت H^+ افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه یون H^+ بیشترین هدایت اکی‌والانی را در بین یون‌ها دارد (پازنده، ۱۳۷۱)، سبب افزایش EC محلول می‌گردد. همچنین، کاهش pH خاک باعث حل شدن ترکیبات مختلف و آزادسازی یون‌های مختلف به محلول خاک می‌شود که سبب افزایش EC محلول خاک می‌گردد. ۲) تبخیر آب از سطح گلدان‌ها که EC آبشویه گلدان‌ها را افزایش می‌دهد؛ ۳) چون برای آبیاری گلدان‌ها از آبی با EC حدود ۰/۲۵ dS/m استفاده می‌گردید و گلدان‌های باکشت به‌دلیل تعرق گیاه، آب بیشتری دریافت می‌کردند، نسبت به گلدان‌های بدون کشت، نمک بیشتری به آن‌ها افزوده می‌شد و می‌توانست EC محلول خاک گلدان‌های باکشت را بیشتر از گلدان‌های بدون کشت افزایش دهد. ۴) جذب آب و یون‌ها به‌وسیله ریشه گیاه: در این مورد ممکن است چندین پدیده به‌طور همزمان یا جداگانه انجام شده و هدایت الکتریکی رایزوسفر را تغییر دهند: ۴-۱) اگر یک آنیون و یک کاتیون به‌طور همزمان جذب شوند، مانند جذب همزمان H^+ و $H_2PO_4^-$ با واسطه ناقل‌های همبر (Marschner, 1995)، باعث کاهش EC آبشویه گلدان‌ها می‌شود. ۴-۲) اگر گیاه به ازای جذب یک کاتیون (مثل NH_4^+) از محیط، یک H^+ به رایزوسفر ترشح کند، غلظت H^+ در رایزوسفر افزایش می‌یابد. با توجه به بند ۱، EC رایزوسفر افزایش می‌یابد. ۴-۳) ریشه گیاه به ازای جذب یک آنیون (NO_3^-)، یک OH^- به بیرون ترشح می‌کند در نتیجه pH رایزوسفر افزایش و فعالیت H^+ کاهش یافته و در نتیجه EC آن کاهش می‌یابد؛ ۴-۴) اگر آب با سرعتی بیشتر از یون‌ها به‌وسیله گیاه جذب شود، باعث افزایش EC بستر کشت می‌شود ولی اگر یون‌ها با سرعتی بیشتر از آب به‌وسیله ریشه گیاه جذب شوند، ECبستر کشت کاهش می‌یابد (Barber, 1995؛ Jones, 1997؛ نجفی و پارسازاده، ۱۳۹۰). سینها و سینگ (۱۹۷۴) گزارش دادند که بر اثر جذب سریعتر آب به‌وسیله ذرت، یون‌ها در خاک رایزوسفر انباشته شدند و EC خاک رایزوسفر افزایش یافت. بنابراین، برآیند عامل‌های در بالا ذکر شده، جهت و میزان تغییر EC محلول خاک را تعیین می‌کند.



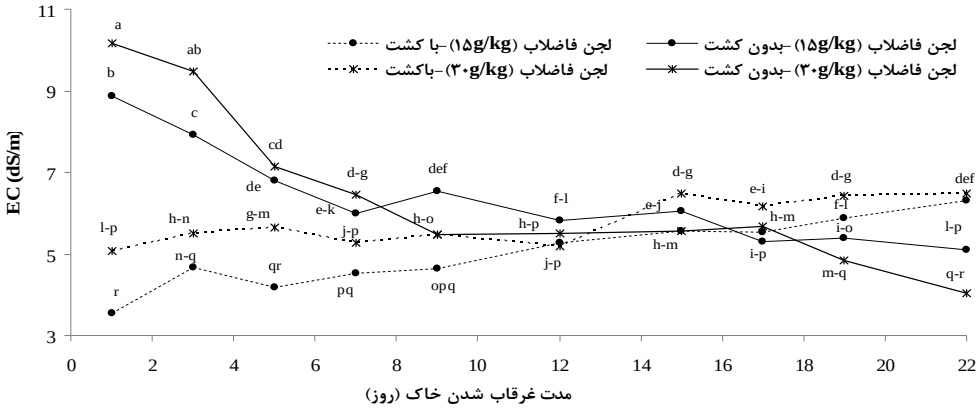
شکل ۶) اثر کشت آفتابگردان بر تغییرات EC محلول خاک پس از غرقاب در تیمار شاهد

Fig. 6) Effects of sunflower cultivation on changes in soil solution EC after waterlogging in control treatment



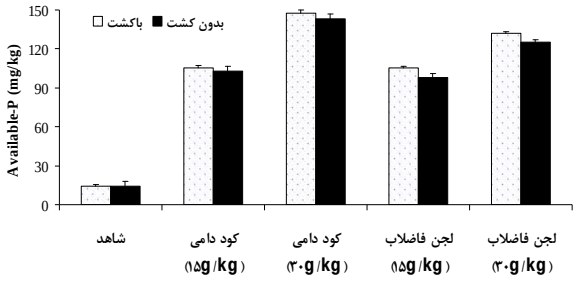
شکل ۷) اثر کشت آفتابگردان بر تغییرات EC محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای دارای کود دامی

Fig. 7) Effects of sunflower cultivation on changes in soil solution EC after waterlogging in farmyard manure treatments



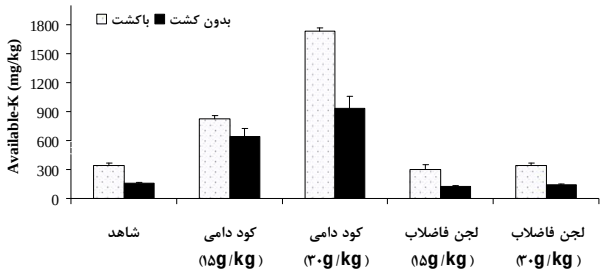
شکل ۸) اثر کشت آفتابگردان بر تغییرات EC محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای دارای لجن فاضلاب

Fig. 8) Effects of sunflower cultivation on changes in soil solution EC after waterlogging in sewage sludge treatments



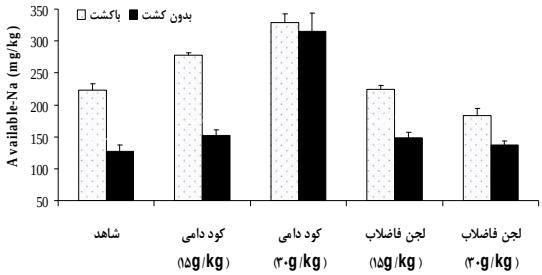
شکل ۹) اثر کشت آفتابگردان بر P قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 9. Effects of sunflower cultivation on available-P in different treatments



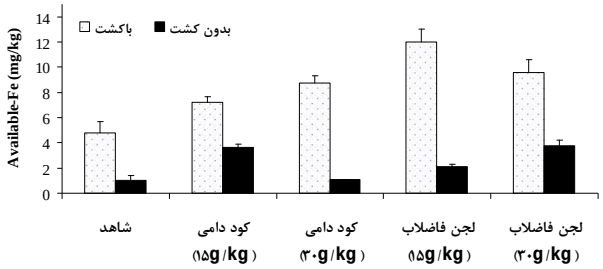
شکل ۱۰) اثر کشت آفتابگردان بر K قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 10. Effects of sunflower cultivation on available-K in different treatments



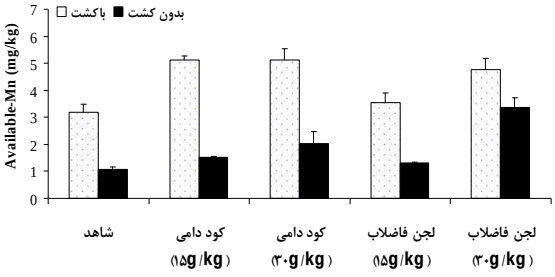
شکل ۱۱) اثر کشت آفتابگردان بر Na قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 11. Effects of sunflower cultivation on available-Na in different treatments



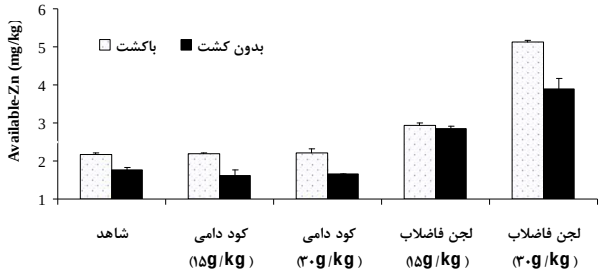
شکل۱۲) اثر کشت آفتابگردان بر Fe قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 12. Effects of sunflower cultivation on available-Fe in different treatments



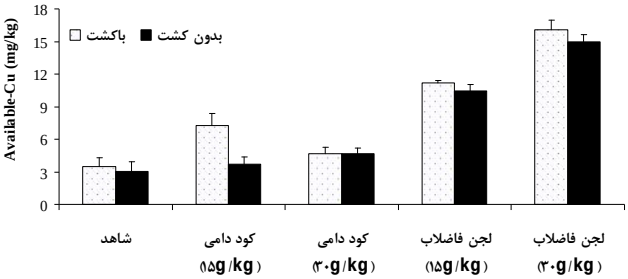
شکل ۱۳) اثر کشت آفتابگردان بر Mn قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 13) Effects of sunflower cultivation on available-Mn in different treatments



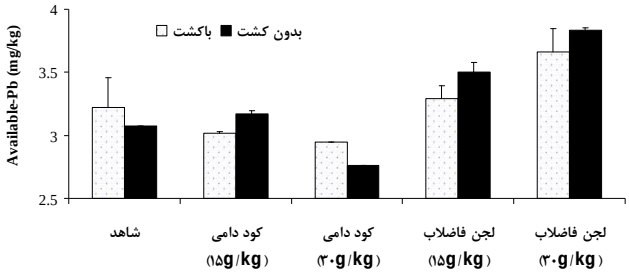
شکل۱۴) اثر کشت آفتابگردان بر Zn قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 14) Effects of sunflower cultivation on available-Zn in different treatments



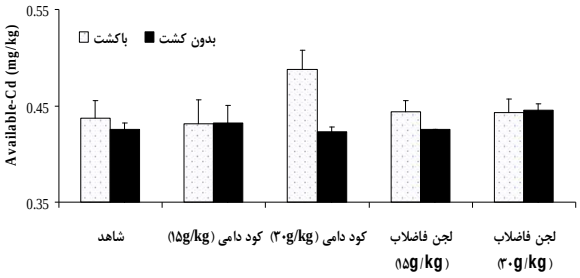
شکل ۱۵) اثر کشت آفتابگردان بر Cu قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 15) Effects of sunflower cultivation on available-Cu in different treatments

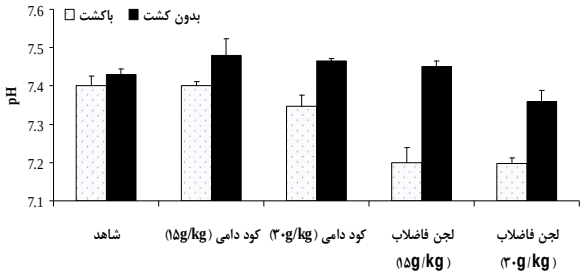


شکل۱۶) اثر کشت آفتابگردان بر Pb قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف

Fig. 16) Effects of sunflower cultivation on available-Pb in different treatments



شکل ۱۷) اثر کشت آفتابگردان بر Cd قابل‌جذب خاک در تیمارهای مختلف
Fig. 17) Effects of sunflower cultivation on available-Cd in different treatments



شکل ۱۸) اثر کشت آفتابگردان بر pH خاک در تیمارهای مختلف
Fig. 18) Effects of sunflower cultivation on Soil solution pH in different treatments

اثر کشت آفتابگردان بر فراهمی عناصر در خاک

نتایج نشان داد که در تمامی تیمارها، P قابل استخراج با بیکربنات سدیم ((Olsen-P، K و Na قابل استخراج با استات آمونیوم نرمال و Fe، Mn، Cu و Zn قابل استخراج با DTPA در خاک گلدانهای باکشت کمتر از خاک گلدانهای بدون کشت بود. به عبارت دیگر، بر اثر جذب این عناصر بهوسیله گیاه آفتابگردان، مقدار آنها در خاک رایزوسفر کاهش یافت. با این حال، وقتی مطابق گزارشهای جیانگو و شومن (۱۹۹۱) و نجفی و توفیقی (۱۳۸۵) مقدار عناصر جذب شده به وسیله ریشه و بخش هوایی گیاه آفتابگردان به عناصر قابل استخراج باقیمانده در خاک رایزوسفر افزوده شد (محاسبه مجموع عناصر جذب شده به وسیله گیاه و عناصر قابل استخراج باقیمانده در خاک رایزوسفر) مشاهده گردید که فراهمی P، K، Na، Fe، Mn، Cu و Zn در خاک گلدان های باکشت آفتابگردان بیشتر از خاک گلدان‌های بدون کشت بود (شکل‌های ۹ تا ۱۵). این نتایج با گزارش‌های سینها و سینگ (۱۹۷۴) در گیاه ذرت، احد و دبنات (۱۹۸۹) در گیاهان برنج، ذرت و سویا، حنفی و لسلی انجی (۱۹۹۶) و نجفی و توفیقی (۱۳۸۵) در گیاه برنج مطابقت داشت. پینتون و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که فراهمی مس، منگنز و کادمیوم برای گیاه در خاک رایزوسفر افزایش می یابد. شکل های ۱۶ تا ۱۷ نشان میدهند که میانگین Cd و Pb قابل استخراج با DTPA در خاک گلدان های باکشت تفاوت قابل ملاحظه ای با خاک گلدان های بدون کشت نداشت. با این حال، جورت و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کردند که با کاهش pH خاک رایزوسفر، جذب کادمیوم به وسیله شبدر افزایش یافت.

بحث کلی در مورد سازوکار اثر کشت گیاه بر فراهمی عناصر

محققان با بررسی علت افزایش فراهمی عناصر در رایزوسفر گیاهان بیان داشته‌اند که در خاک رایزوسفر فرآیندهای مختلفی اتفاق می افتند و بر عناصر قابل جذب گیاه در خاک اثر می گذارند که عبارتند از (Marschner, 1995؛ Neumann & Romheld, 1999؛ Havlin *et al*., 1999؛ Hinsinger, 2001؛ Pinton *et al*., 2007): ۱) تولید گاز CO_2 بر اثر تنفس سلول های ریشه و ریزجانداران رایزوسفر و تجزیه مواد آلی خاک رایزوسفر که CO_2 حاصل با آب واکنش داده و اسید کربنیک تشکیل می شود. بر اثر تفکیک این اسید پروتون آزاد شده و سبب کاهش pH خاک می شود. ۲) جذب آب به وسیله ریشه که سبب حرکت آب و در نتیجه یون های محلول در آن به سمت ریشه می شود و وسعت خاک رایزوسفر را افزایش می دهد. اگر سرعت جذب آب به وسیله ریشه بیشتر از سرعت جذب عنصر باشد، عنصر در رایزوسفر انباشته می شود. ۳) جذب یون های مختلف به وسیله ریشه که سبب کاهش غلظت آنها در محلول خاک شده و سبب انحلال ترکیبات جامد آن ها مثل فسفات های آهن، آلومینیوم و کلسیم و غیره در خاک رایزوسفر می شود. ۴) ترشح ترکیبات آلی مختلف (مثل اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، اسیدهای آمینه، موسیلاژ و غیره) به وسیله ریشه به رایزوسفر به طرق مختلف فراهمی عناصر مختلف در خاک را افزایش می

دهد: ۴-۱) این ترکیبات آلی با Ca^{2+}، Mg^{2+}، Fe^{3+}، Fe^{2+} و Al^{3+} و غیره کمپلکس تشکیل داده و غلظت این یون های آزاد را در محلول خاک رایزوسفر کاهش داده و سبب حل شدن ترکیبات جامد آنها و مانع رسوب فسفر موجود در محلول خاک می‌شوند. ۴-۲) مواد آلی ترشح شده به وسیله ریشه روی سطوح رسها و هیدروکسیدها را پوشانده و مانع جذب فسفات ها می شوند. از طرف دیگر، آنیون های آلی برای جذب شدن روی سطوح رس ها و هیدروکسیدها با فسفات ها رقابت می کنند. ۴-۳) این ترکیبات آلی در خاک رایزوسفر معدنی شده و عناصر موجود در ساختمان آن ها مثل فسفر به محلول خاک آزاد می شود. ۴-۴) اسیدهای آلی آزاد شده به خاک رایزوسفر سبب کاهش pH رایزوسفر می شود. ۵) افزایش جمعیت میکروبی (مثل قارچ های میکوریزی و ریزجانداران حل کننده ترکیبات مختلف) و افزایش فعالیت آنزیمی (مثل آنزیم های فسفاتاز و غیره) در خاک رایزوسفر که سبب افزایش حل شدن ترکیبات مختلف مثل ترکیبات فسفاتی و معدنی شدن مواد آلی مثل فسفر آلی شده و فراهمی عناصر از جمله فسفر را افزایش می دهند. ۶) چرخه کی لیت کننده فلز در خاک رایزوسفر: در نزدیک ریشه غلظت کی لیت کننده ها زیاد است و به ناحیه دور از ریشه پخش شده و آن جا با فلزات، کمپلکس کی لیت کننده فلز را تشکیل می دهد. چون غلظت این کمپلکس در ناحیه دور از ریشه زیاد است، به سمت ریشه پخش شده و فلز همراه آن به وسیله گیاه جذب شده و کی لیت کننده مجدداً چرخه فوق را تکرار می کند یا اینکه کی لیت کننده جدیدی این کار را تکرار می کند. در نتیجه، فراهمی فلزات در خاک رایزوسفر افزایش می یابد (Havlin *et al*., 1999). همان طور که در شکل ۱۸ مشاهده می شود کشت گیاه آفتابگردان در تمامی تیمارها pH خاک را در پایان دوره رشد کاهش داد. با افزایش کود دامی و لجن فاضلاب و افزایش سطح مصرفی آن ها، pH خاک رایزوسفر بیشتر کاهش یافت که ناشی از رشد بیشتر ریشه گیاه و بخش هوایی در این تیمارها بود. کاهش pH خاک رایزوسفر می تواند فراهمی عناصر مورد مطالعه را افزایش دهد. کاهش pH خاک پس از کاربرد کود دامی به وسیله لابوسکی و لامپ (۲۰۰۳) نیز گزارش شده است. آنان بخشی از این کاهش pH را به تولید پروتون بر اثر افزایش فعالیت میکروبی خاک نسبت دادند.

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که pH محلول خاک گلدان های بدون کشت در تمامی تیمارهای مورد مطالعه پس از غرقاب افزایش یافت. pH محلول خاک گلدان های بدون کشت پس از کاربرد لجن فاضلاب کاهش ولی پس از کاربرد کود دامی افزایش یافت. pH محلول خاک گلدان های با کشت آفتابگردان کمتر از گلدان های بدون کشت بود. در تیمار شاهد، EC محلول خاک پس از غرقاب ابتدا افزایش و پس از رسیدن به یک حداکثر مجدداً کاهش یافت. کاربرد کود دامی و لجن فاضلاب EC محلول خاک را افزایش داد و میزان افزایش با کاربرد کود دامی بیشتر از لجن فاضلاب بود. بنابراین، از کاربرد مقادیر زیاد کود دامی و لجن فاضلاب در خاک هایی که زهکشی مناسبی ندارند یا اینکه بر اثر کم آبی فاقد آبشویی هستند، باید خودداری شود تا بر اثر زیادی EC محلول خاک، رشد گیاه محدود نگردد. در تمامی تیمارها و بسته به مدت غرقاب، EC محلول خاک گلدان های با کشت آفتابگردان با EC محلول خاک گلدان های بدون کشت متفاوت بود. در تمامی تیمارها، فراهمی P، K، Na، Fe، Mn، Cu و Zn در خاک گلدان های باکشت آفتابگردان بیشتر از خاک گلدان های بدون کشت بود در حالی که میانگین Cd و Pb قابل استخراج با DTPA در خاک گلدان های باکشت تفاوت قابل ملاحظه ای با خاک گلدان های بدون کشت نداشت.

References

Ahad MA and Debnath NC. 1989. Phosphorus availability and pH changes in the rhizosphere of rice, maize, soybean and jute. Journal of Andaman Science Association, 5: 27-30.

Arshi Y. 1373. Sunflower science and technology (Translate). Cotton and Oil Seed Institute Publication. Tehran, Iran. (in Farsi with English Summary)

Balkcom KS, Adams JF, Hartzog DL and Wood CW. 2001. Mineralization of composted municipal sludge under field conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32 9: 1589-1605.

Barber SA. 1995. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2nd Ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.

Bolan NS and Duraisamy VP. 2003. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: A review involving specific case studies. Australian Journal of Soil Research, 41:533-555.

Brollier S, Smith SR, Henry CL and Harrison RB. 1992. Changes in soil chemistry: Seventeen years of municipal sludge application in forests. Agro. Abstracts, 33, ASA, Madison, WI.

Dakora FD and Phillips DA. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. Plant and Soil, 245: 35-47 .

Dane, J.H. and G.C. Topp. 2002. Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. ASA-CSSA-SSSA Publisher, USA.

Gouim FR. 1985. Growth of hardy chrysanthemums in containers of media amended with composted municipal sewage sludge. Journal of Environmental Horticulture, 3: 53-55.

Hanafi MN and Leslee Ng CH. 1996. Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of upland rice soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 27: 1459-1477.

Havlin JL, Beaton J.D, Tisdale SL and Nelson WL. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6th Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.

Hinsinger P, Plassard C, Tang C and Jaillard B. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. Plant and Soil, 248: 43-59.

Hinsinger P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. Plant and Soil, 237: 173-195.

Jaillard B, Plassard C and Hinsinger P. 2003. Measurement of H^+ fluxes and concentrations in the rhizosphereIn. Z. Rengel (ed.) Handbook of soil acidity. Marcel Dekker, Inc. New York, USA., 231-266 p.

Jauert P, Schumacher TE, Boe A and Reese RN. 2002. Rhizosphere acidification and cadmium uptake by strawberry clover. Journal of Environmental Quality, 31:627-633.

Jianguo H and Shuman LM. 1991. Phosphorus status and utilization in the rhizosphere of rice. Soil Science, 152: 360-364.

Jone JBJr. 1997. Hydroponics: A Practical guide for the soilless Grower. CRC Press, London, New York.

Jun W, Zhen SH and Ming ZD. 1985. Electrical conductivity. In: Ren, Y.T.(ed). Physical chemistry of paddy aoils. Science Press, Beijing, China, 157-177 p.

Kalbasi M. 1375. The role of compost on organic matter status of Iranian soils. The Proceedings of 5th International Congress on Iranian Soil Science, 10-13 Shahrivar, Agricultural College of Karaj, Karaj. (in Farsi with English Summary)

Kirk GJD. 2004. The biogeochemistry of submerged soils. John Wiley & Sons Ltd. ،Chichester, England.

Laboski CAM and Lamp JA. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. Soil Science Society American Journal, 67: 544-554.

Larson KD, Graetz DA and Schaffer B. 1991. Flood-induced chemical transformations in calcareous agricultural soils of South Florida. Soil Science, 152: 33-40.

Maftoun M and Moshiri F. 2008. Growth, mineral nutrition and selected soil properties of lowland rice, as affected by soil application of organic wastes and phosphorus. Journal of Agricultural Science and Technology, 10: 481-492.

Mandal LN and Mitra RR. 1982. Transformation of iron and manganese in rice soils under different moisture regimes and organic matter applications. Plant and Soil, 69: 45-56.

Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press, London.

Najafi N and Parsazadeh M. 1390. Effect of nitrogen form and pH of nutrient solution on EC and pH changes in spinach rhizosphere in hydroponics culture. Journal of Science and Technology of Greenhouse Cultures, 2(5): 44-29. (in Farsi with English Summary)

Najafi N. and Tofigi H. 1385. Study on the effect of rice plants rhizosphere on inorganic forms of phosphorous in paddy soils of Northern Iran. Iranian Journal of Agricultural Science, 37(5): 919-933. (in Farsi with English Summary)

Najafi N. and Towfighi H. 2008. Changes in pH, EC and concentration of phosphorus in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of north of Iran. 555-567p. In: Proceedings of the International Meeting on Soil Fertility, Land Management, and Agroclimatology, 29 October - 1 November, Kusadasi, Turkey.

Narteh LT and Sahrawat KL. 1999. Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. Geoderma, 87: 179-207 .

Neumann G and Romheld V. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. Plant and Soil, 211: 121-130.

Orchard PW and Jessop RS. 1984. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. I. Effects of stage of development and duration of waterlogging on growth and yield. Plant and Soil, 81:119-132.

Orchard PW and So HB. 1985. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. II. Changes in the soil environment under waterlogged conditions. Plant and Soil, 88: 407-419.

Page AL, Miller RH and Keeney DR. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA.

Patrick WH and Mahapatra IC. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Advances in Agronomy, 20: 323-359.

Pazandeh H. 1371. Electrochemistry for engineers. 3rd Ed. Tehran University Publication. 206 p. (in Farsi with English Summary)

Peters J. 2003. Recommended methods of manure analysis. Cooperative Extension Publishing, University of Wisconsin, USA.

Pinton R, Varanini Z and Nannipieri P. 2007. The rhizosphere: Biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.

Romheld 1990 V. The soil-root interface in relation to mineral nutrition. Symbiosis, 9: 19-27.

Ryan PR, Richardson AE and Delhaize E. 2004. The Rhizosphere: An example of plants modifying their environment to benefit their survival. 38p. In: Proceedings of Rhizosphere International Congress, 12-17 September, Munich, Germany.

Seguin V, Gagnon C and Courchesne F. 2004. Changes in water extractable metals, pH and organic carbon concentrations at the soil-root interface of forested soils. Plant and Soil, 260: 1-17 .

Shuman LM and Wang J. 1997. Effect of rice variety on zinc, cadmium, iron, and manganes content in rhizosphere and non-rhizosphere soil fractions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 28: 23-36 .

Silber A, Neumann RG and Ben-Jacov J. 1998. Effects of nutrient addition on growth and rhizosphere pH of Leucadendron "Safari Sunset". Plant and Soil, 199: 205-211.

Singh RP and Agrawal M. 2007. Effect of sewage sludge *amendment* on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* palnts. Chemosphere, 67: 2229-2240.

Singh RP and Agrawal M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management, 28: 347-358.

Sinha BK and Singh NT. 1974. Effect of transpiration rate on salts accumulation around corn roots in a saline soil. Agronomy Journal, 66: 557-560.

Tofigi H, Najafi N. 1380. Study on changes of pH, Eh and dissolved zinc during flooding on rice growth in tow paddy soil. (in Farsi with English Summary)

Vasegi S, Afyoni M, shariatmadari H and Mobli M. 1382. Effect of sewage sludge and soil pH on the availability of trace elements and heavy metals. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, 7 (3): 95-106. (in Farsi with English Summary)

Waling I, Vark WV, Houba VJG and Van der lee JJ. 1989. Soil and plant analysis. A series of syllabi. Part 7. Plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University, The Netherlands.

Walker DJ, Celemente R and Bernal MP. 2004. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. Chemosphere, 57: 215-224.

Westerman RL. 1990. Soil Testing and Plant analysis. 3rd Ed. Soil Science Society of America Book Series, Number 3, Madison, Wisconsin, USA.

Effects of Sunflower Cultivation, Manure and Sewage Sludge on Availability of Elements, pH and EC of an Alkaline Soil

Nosrat allah Najafi[1*], Sanie Mardomi[2]

1- Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Tabriz University
2- Former Graduate Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Tabriz University
*Corresponding author: nanajafi@yahoo.com

Received: 18.12.2012
Accepted: 27.04.2013

Abstract

Plant cultivation and application of organic matter can change chemical properties of soil and elements availability. In a greenhouse investigation, the effects of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivation, animal manure and sewage sludge on changes in pH and EC of an alkaline soil solution after waterlogging were studied. A factorial experiment based on completely randomized design with two replications including duration of waterlogging at 10 levels (1, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 17, 19, 22 days), source of organic fertilizer at two levels (animal manure, sewage sludge), amount of organic fertilizer at three levels (0, 15, 30 g/kg) and plant cultivation at two levels (cultivated and uncultivated) was carried out. The pots were waterlogged in the six-leaf stage of sunflower and during waterlogging period the water level was maintained 3-5 cm above the soil surface. The results showed that by increasing the duration of soil waterlogging, the pH of soil solution in uncultivated pots and all treatments increased. The pH of soil solution in uncultivated pots decreased after application of sewage sludge while increased after application of animal manure. The pH of soil solution in sunflower cultivated pots was lower than uncultivated pots. In control treatment, after waterlogging the EC of soil solution initially increased and then decreased after reaching a maximum. The EC of soil solution in uncultivated pots increased after application of sewage sludge and animal manure and the increase was greater with application of animal manure. In all treatments, the EC of soil solution in sunflower cultivated pots was different from uncultivated pots. The effect of sunflower cultivation on the availability of elements at the end of plant growth period was studied. The results showed that the availability of P, K, Na, Fe, Mn, Cu and Zn in sunflower cultivated pots was greater than uncultivated pots but the availability of Cd and Pb in cultivated pots was not significantly different from uncultivated pots .

Keywords: manure, rhizosphere, sewage sludge, sunflower, waterlogging