اثر رطوبت، حرارت و مدت خواباندن بر رفتار شیمیایی گوگرد و مقدار عناصر غذایی قابل جذب در خاک آهکی

نصرت اله منتجبی
عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

چکیده

در آزمایش اول اثر دو سطح رطوبتی ۶۰٪ (M_1) و ۹۰٪ ظرفیت زراعی (M_2) و چهار سطح گوگرد (S_0=۰، S_1=۵۰۰ ، S_2= ۱۰۰۰ و S_3= ۲۰۰۰kg/ha) بر اکسایش گوگرد بررسی شد. خاک‌ها در دمای ۲۵°C اینکوبات شدند و در ۶ نوبت (T_1=۳۰، T_2=۶۰ ، T_3=۹۰، T_4=۱۲۰، T_5=۱۸۰ و T_6=۲۷۰ روز) نمونه‌برداری شد ولی در آزمایش دوم خاک‌ها در دمای ۳۶°C اینکوبات و در ۳ نوبت (T_7=۱۴، T_8=۲۸ و T_9=۴۲ روز) نمونه‌برداری شد. pH، P، Fe، Mn، Zn و SO_4^{2-} خاک اندازه‌گیری شدند. تمام اثرات اصلی و متقابل سطوح رطوبت، گوگرد و مدت انکوباسیون خاک بر تمام صفات اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌دار داشت. افزایش رطوبت موجب افزایشP، Zn و SO_4^{2-} و کاهش pH، EC ، Fe و Mn خاک شد. با مصرف گوگرد، pH محلول خاک کاهش و مقادیر SO_4^{2-}، P، Zn ، Fe و Mn افزایش نشان دادند. بیشترین میزان آهن و روی قابل جذب خاک به ترتیب با مصرف ۵۰۰ و kg/ha ۱۰۰۰ گوگرد و بیشترین مقدار P، Mn و SO_4^{2-} محلول با مصرف kg/ha ۲۰۰۰ گوگرد حاصل شد. تیمار M_2S_3 کمترین pH و بیشترین EC، P و SO_4^{2-} را داشت. تیمار M_2T_4 بیشترین Mn و SO_4^{2-} و کمترین pH را داشت. بیشترین ava.P را M_2T_3 داشت. حداقل pH و حداکثر Mn و SO_4^{2-} را تیمار S_3T_4 داشت و بیشترین P و Zn قابل جذب را S_3T_3 و S_2T_3 بوجود آوردند.

واژه های کلیدی : گوگرد، پهاش، سولفات، فسفر، عناصر

مقدمه

اکسایش گوگرد باعث کاهش pH شده و قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می دهد. بیشتر خاک‌های ایران آهکی است و کمبود گوگرد و عناصر غذایی یک پدیده بسیار معمول است. کاهش pH خاک یک راه موثر برای رسیدن به ثبات عناصر غذایی در خاک آهکی است که به سبب pH بالا و غلظت بالای یون‌های Ca، قابلیت جذب بعضی عناصر غذایی کاهش می‌یابد (حیدر زاده و همکاران، ۲۰۱۲). درجه حرارت و رطوبت دو عامل مهم موثر بر اکسیداسیون گوگرد هستند و اثر درجه حرارت بیشتر از رطوبت است. میزان اکسیداسیون گوگرد عنصری در درجه حرارت زیر ۵ درجه سانتی گراد ناچیز یا خیلی کم است و با افزایش درجه حرارت به سرعت افزایش می یابد(Janzen and Bettany,1987b). اکسیداسیون گوگرد عنصری در زیر ۱۰ درجه سانتی گراد خیلی کم است و به سرعت تا ۲۳ درجه افزایش و در ۳۰ درجه، مقدار آن چند برابر می شود (Li & Caldwell, 1966). بررسی اثر مصرف گوگرد در کاهش pH خاک نشان داد که مصرف ۶۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد می تواند پس از ۵ سال pH خاک را از ۸/۰۳ به ۵/۴۸ کاهش دهد (میلر، ۱۹۶۵). بعد از ۵۶ روز اینکوبیشن، متوسط اکسیداسیون گوگرد عنصری مصرفی در ۵ خاک در دماهای ۵ ، ۱۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد به ترتیب ۸، ۲۲ و ۴۷ درصد بود(نور و طباطبائی،۱۹۷۷). بیشترین مقدار اکسیداسیون گوگرد برای ذراتی با قطر ۴۰ میکرومتر در روز و شب به ترتیب در دماهای ۲۴ و ۱۸°c بود و یک رابطه خطی میان مقدار اکسیداسیون گوگرد و درجه حرارت ۱۴ الی ۲۰°c در خاک وجود دارد (Shedly,1982). دمای مناسب برای اکسیداسیون گوگرد از ۲۳°c در خاک منطقه ساسکچوان کانادا (Janzen & Bettany,1987b)، ۳۰ درجه در خاک‌های آیوا (Deng & Dick,1991) تا ۴۰°c در خاک‌های مینه سوتای امریکا (Watkinson & Blair,1993) متفاوت است. درجه حرارت خاک اثر زیادی روی معدنی شدن گوگرد آلی، مقدار

اکسیداسیون گوگرد مصرفی و تبدیل گوگرد عنصری به گوگرد آلی داشته و به ترتیب در خاک‌های اسیدی ،خنثی و قلیائی در طول پریود زمانی ۴۲ روز و دمای ۳۶°c و مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در پریود زمانی ۱۴ روز ابتدایی و در حرارت ۳۶°c به ترتیب در خاک‌های قلیائی ،خنثی و اسیدی بیشترین بود (Jaggi et.al; 1999). مقدار اکسایش گوگرد عنصری در رطوبت ۶۰ درصد اشباع و درجه حرارت ۳۶°c خاک صرفنظر از پهاش، بیشترین بود. مقدار رطوبت ۶۰ درصد خاک صرف نظر از پهاش خاک در پریود زمانی ۲۴روز اثر زیادی روی فرآیندهای معدنی شدن گوگرد آلی بومی خاک، اکسیداسیون و تبدیل گوگرد عنصری به آلی دارد. همچنین در پریود زمانی ۱۴ روز و رطوبت ۶۰ درصد بیشترین مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در خاکهای قلیائی و خنثی و کمترین در خاک اسیدی بود (Aulak et. al; 2002 & Jaggi et. al; 1999). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی باعث آلودگی منابع آب و خاک می‌گردد. وجود غلظت‌های بالای فسفر و عناصر فلزی در آبهای سطحی اثرات منفی قابل ملاحظه‌ای دارد و اغلب منجر به پدیده آب تباهی (Eutrophication) می‌گردند(Blaney & Cinar, 2007). مطالعه اثر گوگرد در سه رزیم رطوبتی ۴۰ ،۶۰ و۱۲۰ درصد اشباع و سه دمای ۱۲، ۲۴ و ۳۶°c روی تغییر پهاش و غلظت فسفر در خاک‌های اسیدی، خنثی و قلیائی، در پریودهای زمانی ۰، ۱۴ ،۲۸ و ۴۲ روز خواباندن نشان داد که مصرف گوگرد در تمام رژیم‌های رطوبتی تغییری در پهاش خاک‌های اسیدی و خنثی نداد اما در خاکهای قلیائی در شرایط رطوبتی ۴۰ و۶۰ درصد اشباع، پهاش خاک کاهش یافت. همچنین مقدار رطوبت و درجه حرارت خاک اثر زیادی روی غلظت فسفر قابل استفاده در تمام خاک‌ها داشت و در شرایط غرقابی ۱۲۰ در صد اشباع و دمای ۳۶°c بیشترین بودند. دما و رطوبت دو عامل مهم موثر بر اکسایش گوگرد هستند(Jaggi et.al; 2005).

مواد و روشها

یک نمونه خاک آهکی از افق A تهیه شد. برخی خصوصیات مهم فیزیکوشیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جداول ۱). در یک آزمایش، دو رژیم رطوبتی (۶۰ و ۹۰ ٪ حد ظرفیت زراعی)، چهار سطح گوگرد (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و kg/ha ۲۰۰۰) و ۶ دوره خواباندن (T_1=۳۰، T_2=۶۰، T_3=۹۰، T_4=۱۲۰، T_5=۱۸۰ و T_6=۲۷۰ روز) در سه تکرار تیمار شد. از خاک دارای هر سطح گوگرد، ۶ ویال ۷۰۰ گرمی تهیه شد. رطوبت ۳ ویال به ۶۰ ٪ و سه ویال دیگر به FC ۹۰٪ رسانده شد. خاک ها داخل آون ۲۵°C اینکوبات شدند. در آزمایش دوم خاک ها در ۳ دوره (T_7=۱۴، T_8=۲۸ و T_9=۴۲ روز) در دمای ۳۶°C اینکوبات شدند. در پایان هر دوره از هر ظرف نمونه برداری شد و در هر نمونه، pH، P، So_4^{2-}، Fe، Zn و Mn اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش

EC_{ex}	pH_{paste}	Texture	٪Clay	٪Silt	٪Sand	٪O.C	٪$CaCo_3$	٪PWP	٪FC
۲/۲۶	۸/۱	Si-C-L	۳۸	۴۲	۲۰	۱/۰	۲۴	۱۲/۳۷	۲۶/۲۱

ادامه جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش (میلی گرم در کیلوگرم)

So_4^{2-}	Cu	Zn	Mn	Fe	P
۲۵۱	۲/۱۲	۰/۶	۴/۱۶	۲/۶۲	۱۷/۲

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات اصلی و متقابل سطوح رطوبت، گوگرد و مدت انکوباسیون خاک بر تمام صفات اندازه گیری شده تفاوت معنی دار داشت (جدول ۲). نتایج اثرات اصلی سطوح رطوبت و گوگرد مصرفی بر میانگین صفات اندازه گیری شده در جدول ۳ و نتایج تیمارهای اثر متقابل رطوبت و مدت انکوباسیون بر میانگین صفات اندازه گیری شده در جدول ۴ آورده شده است. اثر مدت انکوباسیون خاک و اثر متقابل تیمارهای (رطوبت و گوگرد) بر میانگین صفات pH، SO_4^{2-} محلول، فسفر، آهن، روی

و منگنز قابل جذب در شکل های ۱ تا ۱۲ آورده شده است که همگی تفاوت معنی دار نشان داد. نتایج تیمارهای اثر متقابل سطوح گوگرد و مدت اینکوبات بر صفات اندازه گیری شده در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر متغیرهای آزمایش بر صفات اندازه گیری شده

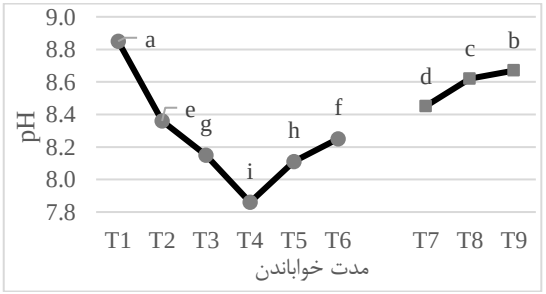
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean of Square)						
	DF	pH	EC	P	Fe	Zn	Mn	SO_4^{2-}
رطوبت	۱	۰/۴۸**	۱۸۷۲۶۷**	۵۹/۸۴**	۹۳/۰۶**	۰/۱۰*	۱۰۲/۲۳**	۱۱۰۳۹۷۶۴**
گوگرد	۳	۱/۴۱**	۱۰۵۳۵۳۴**	۲۸/۹۵**	۱۱/۳۰**	*۱/۷۱*	۷۵/۷۲**	۲۰۱۲۳۵۶۳**
مدت خواباندن	۸- (۶)	۲/۳۲**	۳۷۳۱۶۰.**	۲۸۷**	۶۱/۹۲**	۲۲/۲۹**	۹۳/۶۱**	۵۷۰۲۹۴۲**
رطوبت×گوگرد	۳	۰/۰۳۵**	۶۶۴۱۱**	۶/۲۵**	۷/۴۹**	۱/۳۲**	۳۰/۵۸**	۵۳۴۴۶۹**
رطوبت× مدت خواباندن	۸- (۶)	۰/۱۲۹**	۲۸۷۵۸۱**	۸/۰۹**	۹/۰۱**	۵/۲۹**	۶۴/۸۱**	۷۱۴۲۸۳**
گوگرد× مدت خواباندن	۲۴- (۱۸)	۰/۰۳**	۱۲۲۶۸**	۴/۱۵**	۷/۳۷**	۱/۱۱**	۳۱/۱۴**	۱۸۲۸۶۵**
رطوبت×گوگرد×مدت خواباندن	۲۴- (۱۸)	۰/۰۳**	۶۷۸۶**	۴/۲۱**	۶/۸۷**	۱/۶۱**	۱۱/۹۶**	۱۸۶۲۵۴**
خطا	۱۴۴- (۱۱۲)	۰/۰۰۳۵	۴۷۵۱	۰/۵۷	۰/۴۴	۰/۲۵	۱/۲۵	۷۷۴۲
ضریب تغییرات (CV)		۰/۷۱	۹/۹۶	۳/۷۴	۷/۶۰	۲۶/۰۸	۸/۵۸	۶/۲۴

توجه: اعداد داخل پرانتز در ستون درجه آزادی، نشان دهنده درجه آزادی منابع تغییر برای صفات P، Fe، Zn ، Mn و SO_4^{2-} هستند.
*در هر ستون حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار مقادیر است.

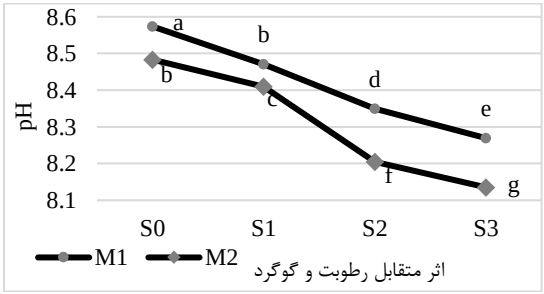
جدول۳- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده تحت تاثیر سطوح رطوبت و گوگرد

صفت / متغیر	pH	P	Fe	Zn	Mn	SO_4^{2-}
				mg/kg		
M_1	۸/۴۱a	۱۹/۶۲b	۹/۵۱a	۱/۸۳b	۱۳/۸۰a	۱۱۵۵b
M_2	۸/۳۲b	۲۰/۸۱a	۸/۰۲b	۱/۹۸a	۱۲/۲۴b	۱۶۶۷a
S_0	۸/۵۵a	۱۹/۲۷d	۹/۱۹a	۱/۸۱b	۱۱/۱۹c	۷۱۰d
S_1	۸/۴۴b	۱۹/۹۹c	۹/۲۳a	۱/۷۶b	۱۳/۳۱b	۱۰۵۵c
S_2	۸/۲۸c	۲۰/۳۲b	۸/۳۸b	۲/۲۰a	۱۳/۱۶b	۱۵۷۷b
S_3	۸/۱۹d	۲۱/۲۷a	۸/۲۵b	۱/۸۵b	۱۴/۴۱a	۲۳۰۱a

اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر pH معنی دار است و با افزایش رطوبت و گوگرد pH کاهش پیدا کرد.



شکل ۱- رابطه مدت اینکوبات با pH

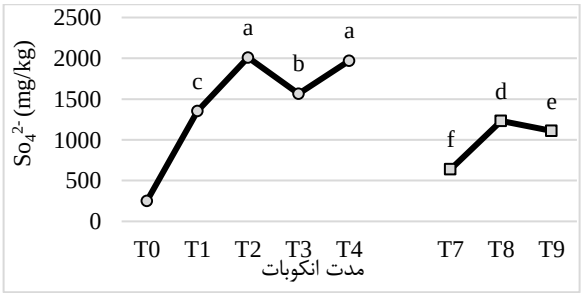


شکل ۲- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با pH

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده تحت اثر متقابل رطوبت و مدت اینکوبات خاک

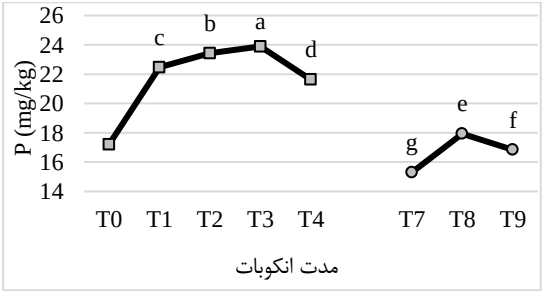
صفت / تیمار	pH	EC (µS/cm)	P	Fe	Zn	Mn	SO_4^{2-}
				mg/kg			
M_1T_1	۸/۸۹a	۴۳۳j	۲۱/۵۰e	۷/۷۱ef	۱/۸۴e	۱۱/۸۹de	۸۶۶i
M_1T_2	۸/۵۳f	۴۹۰hi	۲۲/۲۷d	۷/۴۹ef	۱/۹۳de	۱۱/۵۸def	۱۵۱۶e
M_1T_3	۸/۶۰e	۶۱۸de	۲۲/۸۸bc	۱۱/۲۲b	۲/۷۸c	۱۳/۶۳c	۱۱۳۳gh
M_1T_4	۸/۱۸i	۴۹۲hi	۲۰/۷۳f	۱۲/۲۳a	۳/۴۱b	۱۲/۱۶d	۱۶۵۲d
M_1T_5	۸/۳۰g	۵۶۱fg	-	-	-	-	-
M_1T_6	۸/۳۲g	۶۴۹d	-	-	-	-	-
M_1T_7	۸/۷۳d	۴۷۱hij	۱۵/۷۲i	۸/۵۸d	۰/۷۵f	۱۴/۸۶b	۵۳۳k
M_1T_8	۸/۷۸c	۴۵۸ij	۱۷/۳۸h	۱۱/۰۷b	۰/۹۹f	۱۸/۱۹a	۱۱۱۸gh
M_1T_9	۸/۸۳b	۴۵۳ij	۱۶/۸۰h	۸/۵۵d	۰/۹۹f	۱۴/.۷۷b	۱۰۶۵h
M_2T_1	۸/۸۲bc	۵۷۳ef	۲۳/۴۳b	۷/۸۵e	۳/۹۱a	۱۱/۱۷ef	۱۸۳۷c
M_2T_2	۸/۲۳h	۷۶۱c	۲۴/۵۳a	۶/۸۲g	۲/۲۸d	۹/۰۰g	۲۳۰۶a
M_2T_3	۸/۰۴j	۸۵۵b	۲۴/۹۱a	۱۰/۰۱c	۱/۸۵e	۱۱/۶۳def	۲۰۰۲b
M_2T_4	۷/۸۶k	۸۵۵b	۲۲/۵۳cd	۱۰/۰۹c	۲/۹۱c	۱۳/۸۷c	۲۲۹۰a
M_2T_5	۸/۰۱j	۷۶۴c	-	-	-	-	-
M_2T_6	۸/۳۱g	۹۵۶a	-	-	-	-	-
M_2T_7	۸/۳۱g	۵۸۶def	۱۴/۸۷j	۷/۱۸fg	۰/.۸۱f	۱۷/۴۶a	۷۳۹j
M_2T_8	۸/۶۲e	۶۳۴d	۱۸/۵۱g	۷/۴۶ef	۱/۱۲f	۱۰/۸۷f	۱۳۴۳f
M_2T_9	۸/۶۹d	۵۱۳gh	۱۶/۸۹h	۶/۷۳g	۰/۹۹f	۱۱/۶۶def	۱۱۵۴g
LSD	۰/۰۵	۵۵/۴۳	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۴۰	۰/۹۰	۷۱

* حروف مشابه هر ستون نشان دهنده تفاوت غیر معنی دار است. **توجه**: در دمای انکوبات ۲۵ درجه، داده های ۶ زمان برای پارامترهای pH و EC آورده شده است.

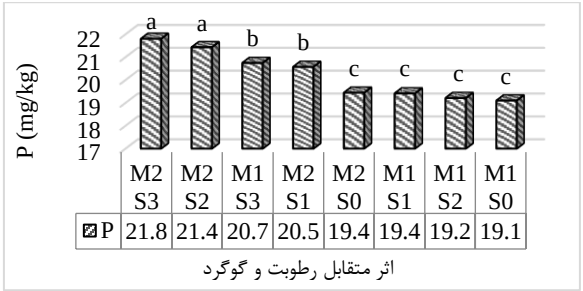


شکل ۳- رابطه مدت اینکوبات با سولفات محلول خاک

شکل ۴- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با سولفات محلول

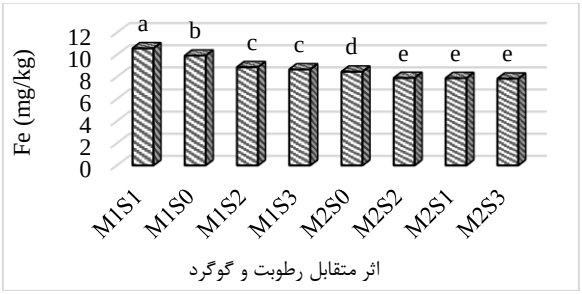


شکل ۵- رابطه مدت اینکوبات خاک با فسفر

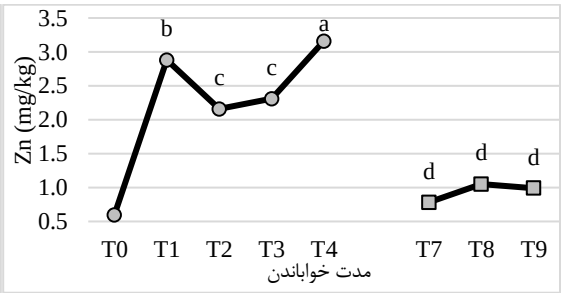


شکل ۶- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با فسفر

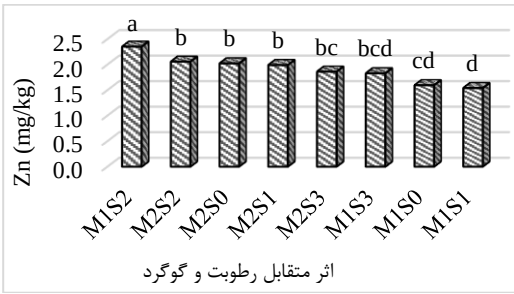
شکل ۷- رابطه مدت اینکوبات خاک با آهن قابل جذب



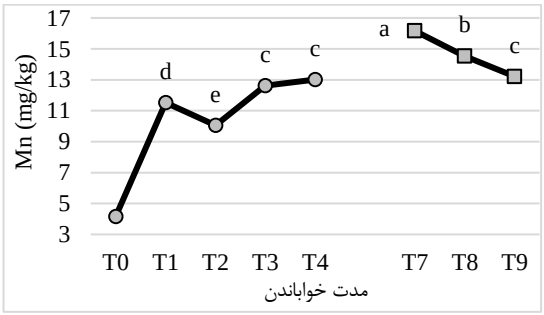
شکل ۸- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با آهن قابل جذب



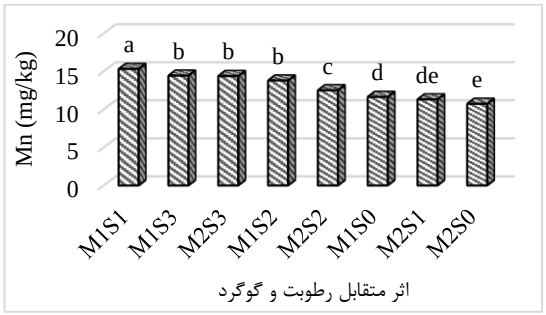
شکل ۹- رابطه مدت اینکوبات خاک با روی قابل جذب



شکل ۱۰- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با روی قابل جذب



شکل ۱۱- رابطه مدت اینکوبات خاک با منگنز قابل جذب



شکل ۱۲- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با منگنز قابل جذب

جدول ۵- اثر متقابل گوگرد و مدت اینکوبات خاک بر میانگین صفات اندازه گیری شده

	مدت خواباندن		T_1	T_2	T_3	T_4	T_7	T_8	T_9	LSD
	سطوح گوگرد									
	pH	S_0	۸/۹۶a	۸/۵۵f	۸/۴۲ij	۸/۱۱mn	۸/۶۰e	۸/۸۱c	۸/۸۸b	۰/۰۶۷
		S_1	۸/۹۳ab	۸/۶۴de	۸/۲۶k	۷/۹۴o	۸/۴۸ghi	۸/۶۵de	۸/۶۶de	
		S_2	۸/۸۱c	۸/۱۹i	۷/۹۹o	۷/۷۵p	۸/۴۰i	۸/۵۴fg	۸/۶۳de	
		S_3	۸/۶۹d	۸/۰۶n	۷/۹۴o	۷/۶۳q	۸/۳۰k	۸/۴۷hi	۸/۵۱fgh	
µS.cm	EC	S_0	۴۳۲St	۵۲۰qr	۶۰۴klmn	۵۶۹nopq	۴۷۰rS	۴۵۷St	۴۰۶t	۵۵/۴۳
		S_1	۴۷۰rS	۶۰۴klmn	۷۴۰gh	۷۱۵h	۵۵۹nopq	۵۷۷nop	۵۳۷opq	
		S_2	۵۸۷lmnop	۸۰۹ef	۹۳۰bc	۹۸۲ab	۶۳۱klm	۶۴۹ijk	۵۹۱lmno	
		S_3	۶۳۳kl	۸۵۳e	۹۸۵a	۹۱۱cd	۶۹۲hi	۷۷۷fg	۷۲۵gh	
mg.kg	P	S_0	۲۲/۲۷gh	۲۲/۲۴gh	۲۲/۵۹efg	۲۰/۴۱j	۱۴/۴۰q	۱۷/۴۰i	۱۵/۵۹op	۰/۸۶
		S_1	۲۲/۴۰fg	۲۳/۷۶bcd	۲۴/۰۶abc	۲۱/۰۲ij	۱۵/۵۲op	۱۶/۶۶lmn	۱۶/۵۴mn	
		S_2	۲۲/۶۷efg	۲۳/۱۴def	۲۴/۲۶abc	۲۳/۴۳cde	۱۵/۱۰pq	۱۷/۱۹lm	۱۶/۴۶mn	
		S_3	۲۲/۵۳fg	۲۴/۵۶ab	۲۴/۶۷a	۲۱/۶۷hi	۱۶/۱۶no	۲۰/۵۳j	۱۸/۷۷k	
	Fe	S_0	۷/۹۴f	۷/۵۴fghi	۱۱/۱۴bc	۱۲/۰۴a	۷/۸۹f	۱۱/۰۹bc	۶/۷۰jk	۰/۷۶
		S_1	۷/۵۶fghi	۶/۸۳ijk	۹/۷۱e	۱۱/۰۴bc	۸/۰۲f	۱۰/۸۷bc	۱۰/۵۸cd	
		S_2	۷/۷۰fg	۶/۷۸jk	۱۱/۵۹ab	۱۰/۹۳bc	۷/۶۲fgh	۷/۷۸f	۶/۲۹k	
		S_3	۷/۹۳f	۶/۸۹hijk	۱۰/۰۱de	۱۰/۶۲cd	۷/۹۸f	۷/۳۲fghij	۷/۰۱ghijk	
	Zn	S_0	۲/۷۸cde	۲/۱۸fgh	۱/۷۱hi	۳/۲۷bc	۰/۷۶i	۰/۹۹i	۰/۹۸i	۰/۵۷
		S_1	۲/۶۶def	۱/۹۴gh	۱/۷۷h	۳/۲۲bcd	۰/۷۴i	۱/۰۱i	۱/۰۰i	
		S_2	۲/۹۷bcd	۲/۱۴fgh	۳/۹۸a	۳/۴۱b	۰/۷۸i	۱/۱۷i	۰/۹۸i	
		S_3	۳/۱۰bcd	۲/۳۶efg	۱/۷۹h	۲/۷۵cde	۰/۸۵i	۱/۰۵i	۱/۰۲i	
	Mn	S_0	۹/۵۴k	۹/۷۴k	۱۰/۶۶ijk	۱۱/۶۴fghi	۱۲/۰۸fg	۱۳/۹۵d	۱۰/۶۹hijk	۱/۲۸
		S_1	۱۱/۰۵ghij	۱۰/۰۸jk	۱۲/۳۶ef	۱۱/۹۰fghi	۱۳/۴۴d	۱۷/۰۲b	۱۷/۳۷b	
		S_2	۱۲/۱۳efg	۱۰/۰۹jk	۱۵/۵۰c	۱۲/۲۳efg	۱۶/۸۴b	۱۳/۳۷de	۱۱/۹۶fgh	
		S_3	۱۳/۴۰de	۱۰/۲۷jk	۱۲fg	۱۶/۳۱bc	۲۲/۲۹a	۱۳/۷۹d	۱۲/۸۳def	
	SO_4^{2-}	S_0	۵۱۲n	۱۲۶۱i	۶۳۶m	۱۱۶۰j	۲۷۷p	۶۸۰lm	۴۴۶no	۱۰۰/۶
		S_1	۱۰۶۵j	۱۶۳۰f	۱۱۵۶j	۱۶۰۲f	۳۵۸op	۸۲۴k	۷۵۲kl	
		S_2	۱۴۸۵g	۲۰۸۴d	۱۸۴۱e	۲۰۹۱d	۷۵۲kl	۱۴۱۸gh	۱۳۶۹h	
		S_3	۲۳۴۵c	۳۰۶۶a	۲۶۳۷b	۳۰۳۲a	۱۱۵۵j	۲۰۰۰d	۱۸۷۰e	

* حروف مشابه برای هر صفت نشان دهنده تفاوت غیر معنی دار است.

با افزایش رطوبت، pH کاهش ولی سولفات ، P و Zn خاک افزایش داشت. اکسایش گوگرد در رطوبت نزدیک به FC به سرعت افزایش یافته و ماکزیمم است (جانزن و بتانی، ۱۹۸۷b). درجه حرارت و رطوبت دو عامل مهم موثر بر اکسایش گوگرد بودند که با نتایج جانزن و بتانی(۱۹۸۷b) مطابقت دارد و احتمالا دلیل این امر بیشتر بودن فعالیت باکتری‌ها و سرعت واکنش‌های شیمیایی در دمای ۳۶°C نسبت به ۲۵°C است. مصرف گوگرد باعث کاهش pH و افزایش Mn، Fe، Zn، P و SO_4^{2-} شده است. اکسایش گوگرد باعث کاهش pH خاک و افزایش فسفر و دیگر عناصر غذایی کم مصرف می شود(بشارتی، ۱۳۷۷). افزایش مصرف گوگرد تا ۲۰۰۰kg/ha، بیشترین غلظت سولفات محلول و کمترین pH را داشت. کمترین میزان pH و بیشترین مقدار قابل جذب عناصر Mn، Fe، Zn و SO_4^{2-} پس از مدت ۱۲۰روز خواباندن حاصل شد.

منابع

بشارتی، ح.۱۳۷۷. مطالعه اثر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس بر روی افزایش برداشت بعضی عناصر غذایی. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم خاک. ۱۷۶ صفحه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

Aulakh M.S., Jaggi R.C. and Sharma R. 2002. Mineralization-immobilization of soil organic Sulfur and oxidation of elemental Sulfur in subtropical soils under flooded and nonflooded conditions. Biology and Fertility of Soils, 35:197–203.

Blaney L.M. and Cinar S. 2007. Hybrid anion exchanger for trace phosphate removal from water and wastewater. Water Research, 41(7): 1603-1613.

Deng, S. and Dick ,R.P. (1990). Sulfur oxidation and rhodanese activity in soils. Soil Science. 150:552-560.

Jaggi R.C., Aulakh M.S. and Sharma.R. 1999. Temperature effects on soil organic sulphur mineralization and elemental sulphur oxidation in subtropical soils of varying pH. Nutrtion Cycling Agroecosyst, 54: 175 - 182.
Jaggi R. C. Aulakh M.S. and Sharma R. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biology and Fertility of Soils, 41: 52–58.
Janzen H. H. and Bettany J. R. 1987b. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. Soil Science, 144: 81–89.
Li p. and Caldwell A.C. 1966.The oxidation of elemental sulphur in soil.soil Science Society of American Proceeding, 30: 370-372.
Nor, Y.M. and Tabatabai, M.A. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. Soil Science Society of American Journal, 41: 736-741.
Shedley, C. D. (1982) Ph.D. Thesis. Australia, Armidale, N.S.W.
Watkinson, J.H .and Blair, G.J .(1993). Modeling the oxidation of elemental sulfur in soils. Fertlizer Research, 35: 115–126.

Effect of moisture, temperature and incubation period on Sulfur chemical behavior and available nutrients in Calcareous Soil

N. Montajabi,
Esfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension organization, Esfahan, Iran.

Abstract
Research propose was investigation of effect of moisture, temperature and incubation periods on Sulfur oxidation. In the first experiment 2 moisture levels [%60FC (M_1) and %90FC(M_2)], 4 Sulfur levels (S_0=0, S_1=500, S_2=1000 and S_3=2000kg/ha) and 6 incubation periods (T_1=30, T_2=60, T_3=90, T_4=120, T_5=180 and T_6=270 days) were treated and Soils were incubated at 25°C. Second experiment was like to first one but Soils were incubated for 3 incubation periods (T_7=14, T_8=28, T_9=42 days) at 36°C. At every incubation period were sampled from each vial soil. PH, available P, Fe, zn, Mn and solution So_4^{2-} were measured in each sample. All main and interaction effects of variables were significant on all measured characteristics. Moisture increasing caused So_4^{2-}, P, and Zn increasing and decreasing of pH, Fe and Mn. Sulfur application decreased pH and caused to increase others. Most available Fe and Zn accrued with 500 and 1000kg/ha sulfur application and others with 2000 kg/ha. Least pH and maximum of Fe, Zn, Mn and So_4^{2-} gained on T_4 but available Phosphorous on 90 days incubation period. M_2S_3 had minimum pH and maximum EC, P and So_4^{2-}. The most Mn and So_4^{2-} and the least pH accrued with M_2T_4. M_2T_3 had maximum P. S_3T_4 had minimum pH and maximum Mn and So_4^{2-} and S_3T_3 and S_2T_3 had the most available P and Zn respectively.

Keywords: Sulfur, pH, Sulfate, Phosphorous, elements