

土壤水分对半干旱区石灰性土壤有机碳矿化的影响

贾俊仙^{1,2}, 蔚耀洲¹, 张健¹, 许剑敏¹, 张亚丽¹, 赵艳¹, 洪坚平¹

(1. 山西农业大学, 山西 太谷 030801;

2. 中国科学院 南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

摘要:为明确土壤水分对我国北方半干旱区域石灰性土壤有机碳矿化的影响,采用室内恒温培育试验,以栗钙土、栗褐土、褐土为研究对象,研究了不同土壤水分条件下土壤有机碳(SOC)矿化差异。土壤含水率设置为田间持水率(WHC)的40%、70%和100%。结果表明,随着土壤含水率升高,3类土壤2种利用方式(玉米地、果园)土壤有机碳累积矿化量及矿化率增大,较高水分下的增幅(70%WHC~100%WHC)小于较低水分下的增幅(40%WHC~70%WHC);土壤有机碳矿化动态符合一级动力学方程,土壤潜在矿化碳库(Cp)为33.10~193.56 mg/kg,潜在矿化率Cp/SOC为0.41%~3.35%,Cp及Cp/SOC随土壤含水率升高而增大,Cp及Cp/SOC较高水分条件下的增幅较小;40%WHC下Cp/SOC与土壤有机碳量显著负相关,70%WHC及100%WHC下则与土壤有机碳量及黏粒量显著负相关($P < 0.05$)。半干旱区石灰性土壤有机碳矿化及土壤有机碳固存能力在较低水分条件下(40%WHC~70%WHC)受土壤水分变化影响较大。

关键词:土壤水分;土壤有机碳矿化;栗钙土;栗褐土;褐土

中图分类号:S154.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.09.012

贾俊仙,蔚耀洲,张健,等. 土壤水分对半干旱区石灰性土壤有机碳矿化的影响[J]. 灌溉排水学报,2017,36(9):62-68.

0 引言

土壤有机碳矿化是土壤中重要的生物化学过程,与陆地生态系统碳循环和全球气候变化密切相关^[1]。揭示土壤有机碳的矿化规律对于温室气体释放的有效控制、土壤碳汇功能评价等都有十分重要的意义^[2]。土壤中有机碳的矿化受气候条件^[3-5]、土壤理化性质^[6]、土地利用方式及施肥管理^[7-9]等因素影响。其中水分是影响土壤有机碳矿化的重要环境因子^[10-12],特别是在干旱或半干旱地区,当土壤水分成为胁迫因子时可能取代温度而成为土壤呼吸的主要控制因子^[13-15]。

国内外关于土壤水分对土壤有机碳矿化的影响进行了很多研究,但不同类型土壤中得到的研究结果不一致,特别是对于干旱条件和淹水条件下土壤有机碳矿化速率问题存在分歧,大多数学者认为淹水条件下有机物碳矿化更慢。张薇等^[16]研究结果显示,紫色水稻土好气条件下土壤有机碳累积矿化量高于淹水条件。但丁长欢^[17]研究发现,相较于70%WHC的水分处理(WHC为田间持水率),高水分(100%WHC和淹水)对消落带紫色土土壤有机碳矿化无抑制效应。李忠佩等^[2]研究发现,淹水显著提高黄泥土的可溶性有机碳量,导致土壤有机碳矿化量高于好气处理。上述研究结果的不一致可能是由于土壤类型不同,土壤性质的差异所致。此外,徐汝民^[18]研究表明,黑土和红壤水稻土有机碳矿化对含水率变化的敏感性在低含水率下显著高于在较高含水率下,揭示在不同水分条件下,有机碳矿化对含水率变化的敏感性亦可能存在一定差异。

山西省地处沿海湿润森林气候向内陆荒漠干旱草原气候的过渡带,是全球变化反应敏感的生态脆弱带之一^[19],中南部为半干旱半湿润森林草原的褐土地带,吕梁山以西是由森林草原向干旱草原过渡的半干旱灌丛草原栗褐土地带,北部为半干旱草原栗钙土地带^[20]。随着全球气候变化,特别是在我国北方降水不断减

收稿日期:2016-12-13

基金项目:山西省自然科学基金项目(2012011033-7);土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金课题(0812201222);山西农业大学博士后基金项目(134849);山西农业大学引进人才科研启动项目(XB2010007)

作者简介:贾俊仙(1973-),女,副教授,主要从事农业资源利用研究。E-mail:jjxsxtg@163.com

少,干旱化不断加剧的背景下^[21],这些半干旱区域石灰性土壤有机碳矿化可能受到水分变化的影响较大,进而对土壤碳汇功能产生影响。因此,以我国北方半干旱区域三类典型石灰性土壤为研究对象,通过不同水分条件下的培育试验,明确土壤有机碳矿化对水分变化的响应特征,并初步分析不同水分条件下土壤有机碳矿化与土壤理化性质的关系,以探讨影响土壤有机碳矿化对水分变化响应的关键因子,为准确评价半干旱区域土壤碳汇功能对气候变化的响应提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地选择及土壤样品采集

选择山西省3类半干旱区域典型石灰性土壤(栗钙土、栗褐土、褐土)作为供试土壤,采样地分别位于大同县党留庄(113°25'E,39°59'N)、柳林县龙花垣村(110°46'E,37°45'N)、襄汾县新庄村(111°26'E,35°51'N)。在选定的各个采样地点,选择地形、母质相对一致的玉米地和果园(当地2种主要的农业土地利用方式)作为采样田块,不同利用方式采样田块间相距不超过500 m。在选定的田块上,采用多点混合采集表层0~15 cm土壤样品。样品风干,挑去肉眼可见的细根和石块,磨细过2 mm筛用于培育试验。供试土壤理化性质见表1。

表1 供试土壤基本理化性质

土壤类型	利用方式	有机碳量/ (g·kg ⁻¹)	全氮量/ (g·kg ⁻¹)	全磷量/ (g·kg ⁻¹)	全钾量/ (g·kg ⁻¹)	pH值	CaCO ₃ 质量分数/%	颗粒组成/%		
								黏粒	粉粒	砂粒
栗钙土	玉米地	9.07	0.82	1.10	36.19	8.35	9.07	16.7	41.4	41.9
	果园	7.39	0.66	0.08	19.43	8.31	9.06	11.1	24.2	64.7
栗褐土	玉米地	3.31	0.67	1.22	22.01	8.35	9.97	12.3	58.6	29.1
	果园	3.26	0.42	0.74	22.17	8.47	9.97	13.6	53.0	33.4
褐土	玉米地	12.42	1.16	1.96	17.94	8.33	9.29	22.9	59.9	17.2
	果园	6.99	0.60	1.17	18.28	8.33	7.34	23.0	60.2	16.8

1.2 培育试验

采用碱液吸收法测定土壤有机碳矿化量^[11]。试验含水率设置参照徐汝民^[18]的研究,分别为田间持水率(water holding capacity, *WHC*)的40%(W1)、70%(W2)、100%(W3)。为使试验条件相对一致,风干后过2 mm筛的土样调水分至30%*WHC*,置于(25±1) °C恒温培养箱中预培养10 d以恢复微生物活性^[22],并在实验室内恒温培养箱中进行培育试验,控制各处理温度条件一致,故影响土壤有机碳矿化的因素除水分外,主要是土壤自身理化性质差异。称取相当于50 g干土的预培养后的土壤样品若干份,平铺于500 mL培养瓶底部,调节水分使达到试验设定的含水率。将盛有5 mL 0.2 mol/L NaOH溶液的吸收瓶小心放入培养瓶内,培养瓶加盖密封,于(25±1) °C恒温培养箱中培养,每处理设3次重复,同时作空白试验。在培养的第1、3、6、10、15、20、25、30天取出吸收瓶,将吸收瓶中溶液全部转移至三角瓶中,加入1 mol/L BaCl₂溶液2 mL,加2滴酚酞指示剂,用标准酸(H₂SO₄)滴定至红色消失。根据CO₂的释放量计算培养期内土壤有机碳的矿化量。

1.3 分析方法

田间持水率采用环刀法测定,土壤有机碳量用重铬酸钾容量法测定,全氮量用半微量开氏法测定,全磷量用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定,全钾量用火焰光度法测定,土壤pH值(水土质量比2.5:1)采用电位计法测定,颗粒组成用LS13320型激光粒度仪测定,土壤CaCO₃采用HCl-NaOH中和滴定法^[23]测定。

1.4 数据处理

土壤有机碳日均矿化量以每千克干土每天矿化所释放的CO₂-C的毫克数表示,土壤有机碳矿化率以一定时间内土壤有机碳矿化所释放的CO₂-C量占土壤总有机碳量的比例(%)表示^[18]。

应用一级动力学方程 $C_t = C_p(1 - e^{-kt})$ 分析土壤有机碳矿化动态^[24-25]。式中: C_p 为潜在矿化碳库(mg/kg); k 为有机碳矿化速率常数; C_t 为培养时间 t 时的累积矿化量(mg/kg); t 为培养时间(d)。

数据处理和统计分析采用SPSS17.0和Excel 2003软件。

2 结果与分析

2.1 培养期间土壤有机碳矿化过程动态特征

由土壤有机碳日均矿化量随培养时间的动态变化(图1)可知,3类土壤2种利用方式不同水分处理的土壤有机碳日均矿化量均在培养的前3天内达到最高,然后总体呈降低趋势,在培养的前15天内降幅较

大, 15 d时玉米地和果园栗钙土、栗褐土、褐土的土壤有机碳日均矿化量40%WHC下分别为最大值的3.8%、16.7%、13.4%和7.2%、12.8%、8.9%, 70%WHC下分别为最大值的20.7%、23.3%、15.9%和19.1%、33.7%、8.7%, 100%WHC下分别为最大值的20.6%、31.1%、39.3%和34.3%、16.2%、21.1%, 15 d后变化幅度较小, 趋于稳定。前人研究表明, 土壤有机碳日均矿化量随培养时间的变化具有阶段性特征, 土壤有机碳矿化速率一般在培养的前3 d内达到最高, 之后是矿化速率递降阶段, 这一阶段的持续时间因土壤性质及培养条件而异, 后期则是矿化速率较低并相对稳定的阶段^[1,26-27]。导致土壤有机碳矿化这一较为规律的动态变化特征的原因主要是培养初期土壤微生物活性及易矿化组分量较高, 矿化速率很快, 随培养时间延长, 微生物可利用的底物减少, 矿化速率逐渐降低并趋于稳定^[11,28]。

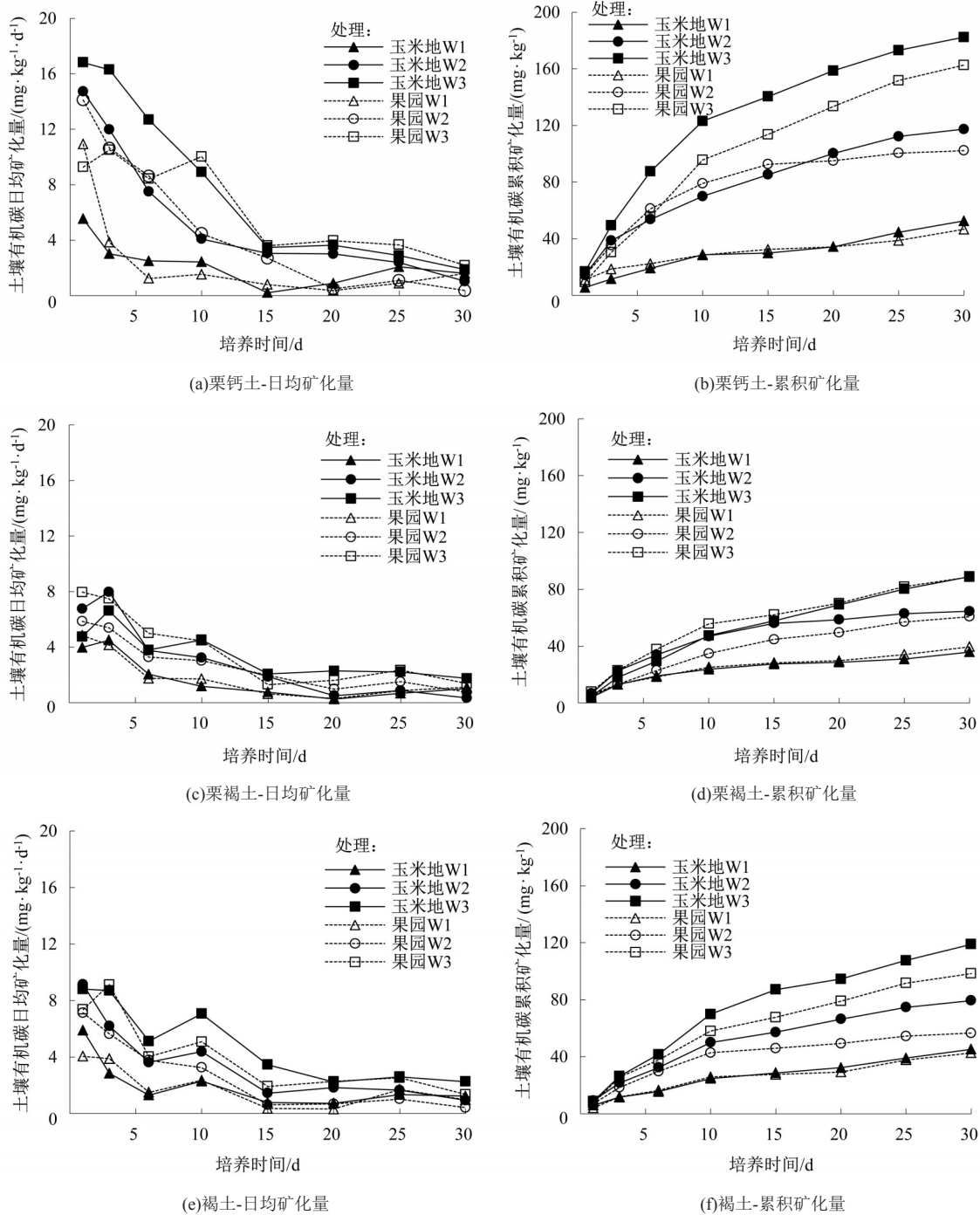


图1 不同水分处理培养期间土壤有机碳日均矿化量和累积矿化量动态

土壤有机碳累积矿化量在培养前期(0~15 d)增幅较大, 其后有所变缓, 变化趋势与日均矿化量动态相对应。培养前15 d, 玉米地和果园栗钙土、栗褐土、褐土的土壤有机碳累积矿化量40%WHC下分别占整个培养期(30 d)的56.8%、76.4%、63.3%和69.5%、71.5%、64.7%, 70%WHC下分别占72.6%、86.9%、72.1%和

90.5%、73.6%、81.1%，100%WHC下分别占77.0%、64.9%、73.3%和69.9%、70.1%、68.8%，同样说明培养前期土壤有机碳矿化速率大，矿化作用强。

2.2 不同水分处理土壤有机碳矿化作用差异

由表2可知，培养30 d的土壤有机碳累积矿化量随土壤含水率升高而增大，同一土壤不同水分处理间累积矿化量差异显著($P<0.05$)。土壤含水率由40%WHC增至70%WHC，玉米地和果园栗钙土、栗褐土、褐土的土壤有机碳累积矿化量增幅分别为123.2%、79.8%、75.5%和119.2%、53.4%、32.7%；70%WHC增至100%WHC，累积矿化量增幅分别为55.5%、37.7%、49.8%和59.1%、45.9%、74.0%。除褐土果园土壤有机碳累积矿化量70%WHC至100%WHC增幅大于40%WHC至70%WHC外，其他供试土壤累积矿化量增幅均在较高水分条件下(70%WHC至100%WHC)较小。

表2 土壤含水率对有机碳累积矿化量及矿化率的影响

土壤类型	利用方式	水分水平	有机碳累积矿化量/(mg·kg ⁻¹)	有机碳矿化率/%
栗钙土	玉米地	40%WHC	52.57±9.97Ca	0.58±0.88Cb
		70%WHC	117.31±19.97Ba	1.29±0.21Bb
		100%WHC	182.37±11.04Aa	2.01±0.12Ac
	果园	40%WHC	46.63±6.76Cab	0.63±0.10Cb
		70%WHC	102.21±14.32Ba	1.38±0.20Bb
		100%WHC	162.61±5.38Ab	2.20±0.07Ab
栗褐土	玉米地	40%WHC	35.94±1.31Cb	1.09±0.04Ca
		70%WHC	64.62±1.15Bbc	1.95±0.04Ba
		100%WHC	88.95±4.53Ad	2.69±0.14Aa
	果园	40%WHC	39.62±5.57Cab	1.22±0.17Ca
		70%WHC	60.77±4.14Bbc	1.87±0.13Ba
		100%WHC	88.67±2.14Ad	2.72±0.07Aa
褐土	玉米地	40%WHC	45.22±6.79Cab	0.36±0.06Cc
		70%WHC	79.36±4.98Bb	0.64±0.04Bc
		100%WHC	118.87±10.57Ac	0.96±0.09Ae
	果园	40%WHC	42.63±6.73Cab	0.61±0.10Cb
		70%WHC	56.57±1.09Bc	0.81±0.02Bc
		100%WHC	98.41±4.57Ad	1.41±0.07Ad

注 表中数值为3个重复的算术平均值±标准差，同列不同大写字母表示同一土壤不同水分间差异显著($P<0.05$)，不同小写字母表示相同水分不同土壤间差异显著($P<0.05$)。

同一土壤不同水分处理的土壤有机碳矿化率彼此间亦差异显著($P<0.05$)，并随土壤含水率升高而增大。同样，除褐土果园土壤外，其他供试土壤矿化率增幅在较高水分条件下较小。此外，40%WHC下，土壤有机碳矿化率表现为栗褐土(玉米地1.09%，果园1.22%)>栗钙土(玉米地0.58%，果园0.63%)>褐土(玉米地0.36%，果园0.61%)，彼此间差异显著($P<0.05$)，70%WHC及100%WHC下也表现出相同的变化规律，表明在相同土壤含水率下，不同类型土壤有机碳矿化率为栗褐土>栗钙土>褐土。除栗钙土100%WHC和褐土40%WHC、100%WHC下，果园土壤有机碳矿化率显著高于玉米地外($P<0.05$)，其他含水率相同的同类土壤2种利用方式间有机碳矿化率无显著差异。

2.3 不同水分处理土壤有机碳矿化动力学模拟

由表3可知，土壤有机碳矿化动态符合一级动力学方程 $C_t=C_p(1-e^{-kt})$ 。潜在矿化碳库 C_p 为33.10~193.56 mg/kg，3类土壤2种利用方式下 C_p 均随土壤含水率升高而增大。40%WHC增至70%WHC，玉米地和果园栗钙土、栗褐土、褐土的 C_p 增幅分别为100.7%、97.5%、67.0%和151.9%、85.9%、27.4%；70%WHC增至100%WHC， C_p 增幅分别为53.8%、69.5%、57.7%和88.4%、33.8%、94.6%。除褐土果园土壤 C_p 70%WHC至100%WHC增幅大于40%WHC至70%WHC外，其他土壤 C_p 增幅亦均在较高水分条件下较小，同土壤有机碳累积矿化量及矿化率的变化规律一致。 k 值随土壤含水率的变化在不同土壤中不同，变化情况较为复杂。

供试土壤有机碳潜在矿化率 C_p/SOC 值为0.41%~3.35%，变化趋势同 C_p ，亦均随土壤含水率升高而增大，增幅同样在较高水分条件下较小。不同类型土壤 C_p/SOC 有明显差异，总体表现为栗褐土>栗钙土>褐土。2种利用方式间 C_p/SOC 的变化情况因土壤类型及含水率不同而异。

表3 土壤有机碳矿化一级动力学参数及Cp/SOC值

土壤类型	利用方式	水分水平	Cp/(mg·kg ⁻¹)	k	R ²	(Cp/SOC)/%
栗钙土	玉米地	40%WHC	60.79	0.0534	0.956	0.67
		70%WHC	122.01	0.0918	0.984	1.35
		100%WHC	187.65	0.1006	0.997	2.07
	果园	40%WHC	40.77	0.137	0.903	0.55
		70%WHC	102.72	0.147	0.999	1.39
		100%WHC	193.56	0.061	0.996	2.62
栗褐土	玉米地	40%WHC	33.10	0.134	0.970	1.00
		70%WHC	65.38	0.127	0.997	1.98
		100%WHC	110.83	0.052	0.996	3.35
	果园	40%WHC	37.19	0.110	0.964	1.14
		70%WHC	69.12	0.068	0.998	2.12
		100%WHC	92.45	0.084	0.988	2.84
褐土	玉米地	40%WHC	50.52	0.0611	0.973	0.41
		70%WHC	84.39	0.0837	0.992	0.68
		100%WHC	133.07	0.0684	0.994	1.07
	果园	40%WHC	43.96	0.0754	0.958	0.63
		70%WHC	55.99	0.1289	0.992	0.80
		100%WHC	108.97	0.0710	0.992	1.56

2.4 不同水分处理的Cp/SOC与土壤理化性质的关系

Cp/SOC是土壤潜在矿化碳库占总有机碳的比例,能反映土壤有机碳的固存能力^[6]。对不同水分条件下Cp/SOC与土壤理化性质进行了相关性分析(表4)。结果显示,40%WHC条件下Cp/SOC仅与土壤有机碳量呈显著负相关关系($P < 0.05$),而70%WHC及100%WHC下与土壤黏粒量显著负相关($P < 0.05$),相关系数达0.838、0.915。试验各水分条件下,Cp/SOC与供试土壤的全氮量、全磷量、全钾量、pH值、CaCO₃量等无显著相关性。

表4 Cp/SOC与供试土壤基本理化性质指标的相关系数

水分水平	有机碳	全氮	全磷	全钾	pH	CaCO ₃	黏粒	粉粒	砂粒
40%WHC	-0.912*	-0.745	-0.247	0.140	0.806	0.532	-0.554	0.227	-0.019
70%WHC	-0.856*	-0.669	-0.464	0.230	0.672	0.723	-0.838*	-0.129	0.349
100%WHC	-0.867*	-0.667	-0.580	0.136	0.383	0.599	-0.915*	-0.255	0.472

注 *表示显著水平 $P < 0.05$

3 结论与讨论

随土壤含水率升高,玉米地和果园栗钙土、栗褐土、褐土的土壤有机碳累积矿化量及矿化率均增大,且增幅在较高水分下(70%WHC至100%WHC)小于较低水分下(40%WHC至70%WHC),这与李银坤等^[29]研究结果一致。这是由于土壤中有有机碳的矿化作用主要受二方面因素影响,一是微生物矿化作用的底物,二是微生物活性。土壤含水率升高,可溶性有机碳量增加,微生物矿化作用的底物增加^[2],土壤有机碳的矿化速率升高,但同时微生物活性受土壤水分的限制,土壤含水率过高或过低都会对微生物活性产生抑制作用^[30]。王媛华等^[31]研究表明,旱地土壤的适宜水分范围是田间持水率的45%~75%;本试验中,土壤含水率由70%WHC增至100%WHC,可溶性有机碳量的增加使得矿化作用增强,但厌氧环境使得微生物活性受到抑制^[29],矿化作用降低,二者共同作用的结果导致了累积矿化量及矿化率增幅反而比低水分条件下小。

一级动力学方程 $C_t = C_p(1 - e^{-kt})$ 能很好地描述短期培养条件下的土壤有机碳矿化动态。3类土壤2种利用方式下土壤潜在矿化碳库(Cp)及潜在矿化率(Cp/SOC)随土壤含水率的变化与土壤有机碳累积矿化量及矿化率变化规律一致,同样随含水率升高而增大,增幅亦在较高水分条件下较小。其中Cp/SOC是反映土壤有机碳矿化能力或固存能力的重要指标,该值越高,则土壤有机碳矿化能力越强,有机碳的固存量越少^[6],反之,则有机碳固存能力相对较高。供试土壤Cp/SOC范围为0.41%~3.35%,相对较低^[6,32],因此有机碳固存能力较强,不同类型土壤Cp/SOC为栗褐土>栗钙土>褐土,表明褐土具有更高的有机碳固存能力。总体来

看,半干旱区域石灰性土壤有机碳矿化及土壤有机碳固持能力在较低水分条件下,更易受土壤水分变化的影响。

在40%WHC下,影响供试土壤有机碳矿化的关键因子为土壤有机碳量,70%WHC及100%WHC下则为土壤有机碳量及黏粒量。研究^[33]发现,土壤黏粒量高,土壤中有有机物质的分解速率常较缓慢。黏粒量对有机质的保护作用一方面是由于有机物质与黏粒结合后可增强其稳定性,另一方面黏粒量还影响土壤的水气状况和微生物活性^[33-35]。本文研究表明,在较低水分条件下,供试土壤中黏粒对土壤有机质的保护作用不明显,而在较高水分条件下,黏粒量高的土壤通气状况较差,因而会影响有机质分解速率。此外,土壤水分状况变化还通过影响土壤微生物活性,进一步影响土壤有机碳矿化,关于土壤有机碳矿化对含水率变化响应的微生物学机制有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 潘根兴,李恋卿,郑聚锋,等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 901-914.
- [2] 李忠佩,张桃林,陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 544-552.
- [3] DEVÈVRE O C, HORWÁTH W R. Decomposition of rice straw and microbial carbon use efficiency under different soil temperatures and moistures [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(32): 1 773-1 785.
- [4] GUO J F, YANG Y S, CHEN G S, et al. Carbon mineralization of Chinese fir (*Cunninghamialanceolata*) soils under different temperature and humidity conditions [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 66-71.
- [5] LEWIS D B, BROWN J A, JIMENEZ K L. Effects of flooding and warming on soil organic matter mineralization in *Avicenniagerminans* mangrove forests and *Juncusroemerianus* salt marshes [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2014, 139(3): 11-19.
- [6] 李顺姬,邱莉萍,张兴昌. 黄土高原土壤有机碳矿化及其与土壤理化性质的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1 217-1 226.
- [7] MOSCATELLI M C, TIZIO A D, MARINARI S, et al. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems [J]. Soil and Tillage Research, 2007, 97(1): 51-59.
- [8] 周可,刘会,邓波,等. 农牧交错带土地利用方式对土壤有机碳矿化的影响[J]. 草业科学, 2013, 30(9): 1 303-1 307.
- [9] 张心昱,陈利顶,傅伯杰,等. 不同农业土地利用方式和管理对土壤有机碳的影响——以北京市延庆盆地为例[J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3 198-3 204.
- [10] CHEN L, ZHANG J B, ZHAO B Z, et al. Carbon mineralization and microbial attributes in straw-amended soils as affected by moisture levels.1 [J]. Pedosphere, 2014, 24(2): 167-177.
- [11] HAO R J, LI Z P, CHE Y P. Differences in organic C mineralization between aerobic and submerged conditions in Paddy soils of Southern Jiangsu Province, China [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(9): 1 410-1 418.
- [12] AMOLD C, GHEZZEHEI T A, BERHE A A. Decomposition of distinct organic matter pools is regulated by moisture status in structured wetland soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 81(81): 28-37.
- [13] 张凡,李长生. 气候变化影响的黄土高原农业土壤有机碳与碳排放[J]. 第四纪研究, 2010, 30(3): 566-572.
- [14] WANG Y S, HU Y Q, JI B M, et al. An investigation on the relationship between emission/uptake of greenhouse gases and environmental factors in semi arid grassland [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20 (1): 119-127.
- [15] 张东秋,石培培,张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(7): 778-785.
- [16] 张薇,王子芳,王辉,等. 土壤水分和植物残体对紫色水稻土有机碳矿化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1 013-1 019.
- [17] 丁长欢. 水热变化对三峡水库消落带典型土壤有机碳矿化的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [18] 徐汝民. 东部南北样带上土壤有机碳矿化对温度响应的空间分异特征[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2009.
- [19] 裘国旺,赵艳霞,王石立. 气候变化对我国北方农牧交错带及其气候生产力的影响[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 23-28.
- [20] 山西省土壤普查办公室. 山西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [21] 赵桂香,赵彩萍,李新生,等. 近47a来山西省气候变化分析[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 500-505.
- [22] 贾俊仙,李忠佩,车玉萍. 添加葡萄糖对不同肥力红壤性水稻土氮素转化的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1 617-1 624.
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [24] HYVONEN R, AGREN G I, DALIAS P. Analysing temperature response of decomposition of organic matter [J]. Global Change Biology, 2005, 11(5): 770-778.
- [25] 李君剑,严俊霞,李洪建. 矿区不同复垦措施对土壤碳矿化和酶活性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(12): 4 178-4 185.
- [26] ZHANG X H, LI L Q, PAN G X. Topsoil organic carbon mineralization and CO₂ evolution of three paddy soils from South China and the temperature dependence [J]. Journal of Environmental Sciences (China), 2007, 19(3): 319-326.
- [27] KHALIL M I, HOSSAIN M B, SCHMIDHALTER U. Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(8): 1 507-1 518.
- [28] FRANZLUEBBERS A J, HANEY R L, HONEYCUTT C W, et al. Climatic influences on active fractions of soil organic matter [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(7-8) : 1 103-1 111.
- [29] 李银坤,陈敏鹏,梅旭荣,等. 土壤水分和氮添加对华北平原高产农田有机碳矿化的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(14): 4 037-4 046.
- [30] 王丹,吕瑜良,徐丽,等. 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6 436-6 443.
- [31] 王媛华,苏以荣,李杨,等. 水田和旱地土壤有机碳周转对水分的响应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(2): 266-274.

- [32] 杨继松, 刘景双, 孙丽娜. 温度、水分对湿地土壤有机碳矿化的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(1): 38-42.
- [33] 李忠佩, 林心雄. 瘠薄红壤中有机物质的分解特征[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1 224-1 230.
- [34] SAGGAR S, PARSHOTAM A, HEDLEY C, et al. ¹⁴C-labelled glucose turnover in New Zealand soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31 (14): 2 025-2 037.
- [35] JHA P, GARG N, LAKARIA B L, et al. Soil and residue carbon mineralization as affected by soil aggregate size [J]. Soil and Tillage Research, 2012, 121(3): 57-62.

Effect of Soil Moisture on Mineralization of Soil Carbon in Calcareous Soils in the Semi-arid Regions of China

JIA Junxian^{1,2}, YU Yaozhou¹, ZHANG Jian¹, XU Jianmin¹, ZHANG Yali¹, ZHAO Yan¹, HONG Jianping¹

(1. Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: This paper studied the impact of soil moisture on mineralization of organic carbon (SOC) mineralization in calcareous soils in the semi-arid region of northern China. During the experiment, the temperature was kept at constant and the soil moisture varied from 40% to 100% of water holding capacity of the soils (*WHC*). Three calcareous soils - chestnut soil, chestnut brown soil and cinnamon soil - were examined. The results showed that the cumulative mineralization and the mineralization rate of SOC in maize and orchard fields in the three calcareous soils all increased with soil moisture, but the increase in the high moisture treatments, 70%~100% *WHC*, was less than those in the low moisture treatments, 40%~70% *WHC*. The SOC mineralization was well described by the first-order kinetics, where the soil organic carbon (*C_p*) varied from 33.10 to 193.56 mg/kg and the mineralization rate (*C_p/SOC*) varied from 0.41% to 3.35% respectively. Both *C_p* and *C_p/SOC* increased with soil moisture. Similarly, the increase in *C_p* and *C_p/SOC* in the high moisture treatments was higher than those in the low moisture treatments. The *C_p/SOC* was negatively correlated with SOC and clay content ($P < 0.05$) under 40% and 70% and 100% of *WHC*. In conclusion, the soil moisture has a great impact on soil organic carbon mineralization and carbon sequestration.

Key words: soil moisture; soil organic carbon mineralization; chestnut soil; chestnut brown soil; cinnamon soil

责任编辑:白芳芳