

乌鲁木齐河流域土壤有机碳与气候因子相关性研究

徐华君, 王丹彤, 王文欣

(新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 为了解土壤有机碳与气候因子的相关关系, 对乌鲁木齐河流域 6 种不同土壤类型进行了研究, 结果表明: 土壤有机碳与水热指标之间呈现不同性质和程度的相关性, 与降水指标呈较显著正相关, 与各温度指标呈较显著负相关; 不同土壤类型有机碳变化与水热指标间的相关关系呈现不同特征, 相关程度虽有不同, 但总体符合与降水正相关温度负相关的特征; 通过人为控制研究区气温与降水指标条件进行偏相关分析, 结果显示在控制温度的条件下降水增加有机碳含量可能减少; 在控制降水的条件下温度升高有机碳含量可能增加。研究认为在未来较长时间序列, 气候变化不会导致研究区土壤碳库容量大幅变化。

关键词: 土壤有机碳; 气候; 中天山北坡

中图分类号: P962

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0078-05

Study of Correlation Between Soil Organic Carbon and Climate Factors in the Urumqi River Basin in the Northern Slope in the Middle Section of Tianshan Mountainous

XU Huajun, WANG Dantong, WANG Wenxin

(College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: Six soil types in the Urumqi River Basin were adopted to analyze the correlations between soil organic carbon and climatic factors. The results show that the correlation between soil organic carbon and climatic factors has different features, soil organic carbon has significant positive correlation with precipitation index and significant negative correlation with the temperature index; different types of soil organic carbon change have different characteristics, but soil organic carbon change is positively related with precipitation index and negatively related with temperature index; if temperature and precipitation index conditions were artificially controlled in the study area, soil organic carbon may decrease with the increase of precipitation in setting temperature, soil organic carbon may increase with the rise of temperature in setting precipitation.

Keywords: soil organic carbon; climate; northern slope of Tianshan

国际学术界对土壤有机碳的相关研究由来已久, 早期研究主要关注于土壤碳库的估算方法及结合数据库和 3S 技术的土壤碳库空间分析, 取得了大量的研究成果, 较具有代表性有, Bohn^[1]、Post 等^[2] 和 Eswaren 等^[3] 等人采用不同的方法对全球尺度上的土壤有机碳库容量进行了估算。国家尺度上, 加拿大的 Lacelle 等^[4] 建立了本国 1:100 万的数字化土壤图和土壤景观及有机碳含量数据库, 计算加拿大 1 m 土层的土壤有机碳库容量。我国学者王绍强等^[5]、方精云等^[6] 人利用土壤普查资料估算中国的有机碳库及其空间分布。随着全球变暖等一系列全球环境变化问题的尖锐化, 自 20 世纪 90 年代以来陆地生态系统碳循环研究

成为国际学术界跨学科、综合性的热点研究内容, 对于土壤有机碳的研究重点转向探讨土壤碳库的稳定性、生物利用性及对气候变化的反馈研究^[7]。

全球环境问题是全球变化引起的, 而全球变化的核心是气候变化, 含碳温室气体浓度增加所加剧的地球温室效应是气候变化的主要原因^[8-9]。据估算, 全球 1 m 深度的土壤中贮存的有机碳量约为 1 500 Gt, 超过了植被与大气有机碳储量之和^[10], 其较小的波动也能导致大气含碳温室气体的较大变动, 从而以温室效应影响全球气候变化^[11]。国际学术界对土壤碳库和气候变化之间的反馈机制进行了大量的研究, 存在两种主要观点, 一种认为气候暖向发展促进土壤碳的

释放,而土壤碳释放又进一步导致气候暖向发展;另一种观点认为土壤碳释放对气候变暖反馈不敏感,气候变暖不一定导致土壤碳的加速释放。土壤和土壤有机碳库的形成本身就受到了气候条件的长期影响,土壤有机碳库的空间差异本身就反映了气候因子的空间异质性,研究土壤有机碳与气候因子之间的相关关系,可以帮助预测气候变化后土壤有机碳库的变化趋势。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

中天山北坡乌鲁木齐河流域处于欧亚大陆的中心地带,其河源发育在海拔 4 200 m 的冰川前缘,流经高山带、中山带、山前丘陵及山前冲洪积平原,最后消失在海拔约 500 m 的荒漠地带。本研究区位于中天山北坡乌鲁木齐河流域中上游,地理坐标位于 43°04′16″—43°50′55″N,86°48′46″—87°44′16″E,研究区(坡面)总面积 1 706.98 km²。土壤垂直带为高山草甸土—亚高山草甸土—山地黑钙土和山地灰褐色森林土(呈复区分布)—山地栗钙土—山地棕钙土,其直线距离不超过 200 km,几乎模拟了北半球大陆内部中高纬范围内主要山地土壤的类型分布,而北半球中高纬范围的土壤正是众多科学家认为的主要碳库区^[12]。

研究区土壤垂直带谱较为完整,展开面积较小,其土壤理化性质对空间的变异性相对较小,为保证数据资料的的代表性、权威性与完整性提供了一定的基础,是一个较为理想的研究区域。

1.2 土样采集方法

按照研究区土壤类型以及地貌部位的不同,采用非等间距不规则法采集样品,每种类型的土壤根据其分布的面积的大小,具体安排剖面的数量。剖面挖掘深度原则上以 1 m 为界,考虑到研究区不同区域土层发育年龄不同所导致的土层厚度差异,实际采样过程中以保证土壤剖面的完整性为原则选择挖掘深度,每个剖面点的位置利用 GPS 仪定位,记录地理位置、海拔高度和植被类型、覆盖度等环境指标。

本研究共挖掘剖面 401 个,其中,主采样剖面 126 个,检查剖面 252 个,分界剖面 23 个。土样的采集按土壤发生层进行,自上而下将土层划分为 4 层,即有机质层、淋溶层、淀积层和母质层,每层采集土样约 1 kg,将每个土壤剖面同一发生层的样品混合,取混合样。去除由于采样不规范或不完整等原因造成的不合格土样,测试样品取自 126 个主采样剖面中的 119 个典型土壤剖面,共取得待测样品 475 个。

1.3 土样分析方法

在普通分析测试范围内,对土样进行了土壤有机碳、土壤易氧化有碳、容重等指标的测定,除土壤易氧

化有机碳采用袁可能法^[13]外,所有检测均根据中国科学院南京土壤研究所编制的《土壤理化分析》中给出的方法进行^[14]。

1.4 数据分析方法

气象数据来自于天山及其周围的 17 个气象站,将 17 个气象站的气象统计资料进行回归分析,得出相应海拔高度(区域)的年平均气温、年平均降水和气温年较差的模拟数据,将该区域土壤类型的主要特征和该区域气象数据进行匹配。利用 SPASS 13.0,运用 Spearman 相关分析方法选取不同类型土壤的平均有机碳含量、表层有机碳含量、平均土壤有机碳稳定系数值(KOS)、平均容重和海拔高度等 5 项指标与气候模拟数值进行相关分析,从而分析相应气候条件对研究区土壤有机碳的影响,其中 KOS 表征土壤有机碳的稳定程度^[15],计算公式如下:

$$KOS=\frac{b-a}{a}=\frac{c}{a}$$

式中:*a*——土壤易氧化有机碳;*b*——测定的土壤有机碳;*c*——土壤难氧化有机碳。

2 结果与分析

2.1 气候因子与土壤有机碳的相关关系分析

气候变化主要在两个方面影响土壤碳循环过程:一是温度、降水变化影响植物生产力速率和凋落速率;二是气候变化影响微生物活性从而改变表层凋落物和土壤有机碳分解速率^[16]。温度和降水是影响土壤有机碳循环最主要的两项因子,这几乎是所有环境研究中必须考虑的要素。表 1 是研究区年平均气温、年平均降水和气温年较差等指标与研究区土壤理化特征进行 Spearman 相关分析的结果。

从表 1 可以看出海拔高度与所有指标都呈极显著的相关,海拔高度与年平均降水量呈极显著正相关,与温度指标均呈极显著的负相关,说明随海拔高度的变化,气候因子必定会发生变化。土壤平均有机碳、表层有机碳和平均 KOS 都跟年均气温及气温年较差呈显著负相关,而与年降水量呈显著正相关,而研究区土壤容重与气温和降水的相关性刚好相反,与降水呈显著负相关,与气温呈显著正相关。

表 1 中天山北坡垂直带土壤有机碳与气候因子的相关性

参数	年均降水量	年均温	气温年较差
平均有机碳	0.7207**	-0.7229**	-0.7309**
表层有机碳	0.7379**	-0.7400**	-0.7444**
平均 KOS	0.9031**	-0.9057**	-0.9136**
平均容重	-0.8147**	0.8170**	0.8239**
海拔高度	0.9946**	-0.9980**	-0.9996**

注: ** 在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

从通常情况看,温度的升高,降水量的减少,对土

壤微生物的种类、数量的增加和活性的提高有益,有机碳的分解强度增大,容易造成有机碳的丢失;而反之,则有利于有机碳的蓄积。试验数据表明,研究区土壤有机碳含量随温度的升高储量有降低趋势,随着降水的增高储量有上升的趋势,与理论相符合。

2.2 不同土壤类型气候因子的相关性差异

为了进一步确定研究区土壤有机碳与气温之间显著负相关,与降水显著正相关关系的可靠性,将研究不同土壤类型的 119 个样本与对应样点的气候因子进行相关性分析。

表 2 不同土壤类型土壤有机碳与气候因子的相关性

土壤类型	相关因子	年均降水量	<i>n</i>	年均温	<i>n</i>	气温年较差	<i>n</i>
高山草甸土	碳平均含量	0.636**	11	-0.609**	11	-0.609**	11
	表层碳含量	0.691**	11	-0.700**	11	-0.700**	11
	平均 KOS	0.745**	11	-0.818**	11	-0.818**	11
	平均容重	-0.740**	11	0.759**	11	0.759**	11
	海拔高度	0.991**	11	-1.000**	11	-1.000**	11
亚高山草甸土	碳平均含量	0.803**	16	-0.829**	16	-0.768**	16
	表层碳含量	0.697**	16	-0.609**	16	-0.515**	16
	平均 KOS	0.829**	16	-0.920**	16	-0.945**	16
	平均容重	-0.679**	16	0.721**	16	0.747**	16
	海拔高度	0.887**	16	-0.978**	16	-0.975**	16
灰褐色森林土	碳平均含量	0.411**	22	-0.411**	22	-0.364**	22
	表层碳含量	0.392**	22	-0.392**	22	-0.362**	22
	平均 KOS	0.498**	22	-0.498**	22	-0.504**	22
	平均容重	-0.742**	22	0.742**	22	0.755**	22
	海拔高度	0.995**	22	-0.995**	22	-0.996**	22
山地黑钙土	碳平均含量	0.346**	32	-0.322**	32	-0.327**	32
	表层碳含量	0.386**	32	-0.342**	32	-0.308**	32
	平均 KOS	0.599**	32	-0.664**	32	-0.713**	32
	平均容重	-0.498**	32	0.558**	32	0.619**	32
	海拔高度	0.914**	32	-0.977**	32	-0.997**	32
山地栗钙土	碳平均含量	0.592**	18	-0.504**	18	-0.533**	18
	表层碳含量	0.604**	18	-0.590**	18	-0.658**	18
	平均 KOS	0.689**	18	-0.681**	18	-0.720**	18
	平均容重	-0.461**	18	0.472**	18	0.486**	18
	海拔高度	0.991**	18	-0.999**	18	-0.989**	18
山地棕钙土	碳平均含量	0.769**	20	-0.808**	20	-0.796**	20
	表层碳含量	0.795**	20	-0.845**	20	-0.845**	20
	平均 KOS	0.670**	20	-0.742**	20	-0.729**	20
	平均容重	-0.545**	20	0.661**	20	0.700**	20
	海拔高度	0.868**	20	-0.942**	20	-0.992**	20

注: ** . 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的。

在不同类型的土壤中选取了平均土壤有机碳含量、表层有机碳含量、平均 KOS 值、平均容重和海拔高度等 5 项指标分析,结果见表 2。从表 2 可以看到,各土壤类型的 5 项指标与气候因子都有较显著的相关关系。可以看出气候因子在山地垂直带土壤分布中的作用,特别是对是维持土壤有机碳的稳定性有重要作用,几乎所有土壤类型都显示出 KOS 值(土壤有机碳稳定系数)相关性高于其他土壤理化指标的特征,亚高山草甸土的 KOS 值甚至达到了显著相关。除了土壤容重外,其他指标皆与年均降水量呈正相关,与温度指标呈负相关。这些特点与土壤在整个垂直带分布的特征是相吻合的。有研究表明^[17],在温

度或降水因子为非主导环境因子的情况下温度或降水变化对包括土壤根呼吸和微生物呼吸在内的土壤呼吸影响可能不明显。对应研究区各土壤类型的景观类型,可以看出在一定气候条件范围内,随着温度向变暖方向发展,土壤有机碳含量与温度的相关关系越来越小,即土壤碳循环对气候变暖的反馈是有限的。在一定的气候条件下,随着降水量减少,土壤有机碳含量与降水的相关关系越来越大,即土壤碳循环对气候变干的反馈是敏感的。

从理论上讲,良好的降水条件,能促进土壤中的养分物质充分作用,较好地供给植物生长所需,同时,也能适当控制微生物的种类和数量,使有机碳的矿化

过程适中,土壤形成良好的结构,有利于土壤有机碳的蓄积。而适中的温度也能促进土壤的良好状态,但如若温度过高,再加上降水量减少,就会导致土壤微生物的活性增强,加速土壤有机碳的矿化,同时土壤的良好结构难以形成,容重增大,不利于土壤有机碳的蓄积。表明当讨论土壤有机碳循环与温度之间的关系时,其结果必定受到降水变化的影响,反之亦然,而降水与温度变化之间又存在明显的相关关系,因此可通过偏相关分析来探讨三者之间的反馈机理。

2.3 设定气候条件下土壤有机碳性状变化

本文将随海拔高度变化的气候因子分为降水因素和温度因素两部分,人为地控制其中某些指标,用偏相关分析法分析研究区不同土壤类型有机碳性状的变化。假设温度包括年均温度和气温年较差 2 项指标,降水是指年均降水量。表 3 是分别设定温度和降水用偏相关分析方法得到的结果。从表 3 可知,所有指标相关程度都有所降低,某些指标的性质发生了转变。分析指标变化规律,在设定温度条件下,除高

山草甸土外,研究区内其他土壤类型均显示了随降水增加,有机碳含量减少的趋势;在设定降水条件下,除山地棕钙土无明显变化外,其余土壤类型均显示了随温度升高土壤有机碳含量增加的趋势。

有研究报道,土壤有机碳的大量积累并不是来自大的输入量,而是由于温度限制了分解者的活动而造成土壤有机碳的积累。因此,在未来的气候变化中,如果气温升高而降水量也增加,即气候向着暖湿方向发展,气候的变化并不会导致土壤有机碳含量发生太大的变化;而如果气温升高、降水量却减少,即气候向着暖干方向发展,土壤有机碳的含量还有可能增加;如果气温降低、降水量增加,即气候向着冷湿方向发展,土壤有机碳含量有可能大幅度减少,但气温和降水之间存在着明显的正相关性,气温降低而降水量增加的可能性很小,故从本研究的结论看,大可不必担心由于气候的变化(如全球变暖)而导致土壤有机碳的丢失。在今后的几十年到百年期间,土壤有机碳储量的变化可能不大^[18-19]。

表 3 控制气候指标下的偏相关系数矩阵

土类	相关因子	控制温度	n	控制降水		n
		年均降水量		年均温	气温年较差	
高山草甸土	碳平均含量	0.416**	11	0.377**	0.399**	11
	表层碳含量	0.219*	11	-0.181	-0.256*	11
	平均 KOS	0.231*	11	0.185	0.187	11
	平均容重	-0.201*	11	-0.191	0.115	11
亚高山草甸土	碳平均含量	-0.402**	16	-0.462**	-0.555**	16
	表层碳含量	0.735**	16	0.697**	0.598**	16
	平均 KOS	-0.588**	16	-0.702**	-0.584**	16
	平均容重	-0.120	16	0.157	0.309**	16
灰褐色森林土	碳平均含量	-0.294**	22	-0.292**	-0.324**	22
	表层碳含量	0.304**	22	0.300**	0.212*	22
	平均 KOS	-0.299**	22	-0.307**	-0.232*	22
	平均容重	-0.234*	22	-0.226*	0.199	22
山地黑钙土	碳平均含量	-0.648**	32	0.638**	0.622**	32
	表层碳含量	-0.274*	32	0.275*	0.255*	32
	平均 KOS	-0.447**	32	0.501**	0.456**	32
	平均容重	-0.111	32	-0.115	0.144	32
山地栗钙土	碳平均含量	0.253*	18	0.395**	0.468**	18
	表层碳含量	0.376**	18	0.408**	0.393**	18
	平均 KOS	-0.246*	18	-0.123	-0.235*	18
	平均容重	-0.329**	18	-0.173	-0.345**	18
山地棕钙土	碳平均含量	-0.485**	20	-0.632**	-0.695**	20
	表层碳含量	-0.510**	20	-0.659**	-0.710**	20
	平均 KOS	-0.421**	20	-0.403**	-0.185	20
	平均容重	0.463**	20	0.556**	0.599**	20
垂直带	碳平均含量	-0.252*	119	-0.273*	-0.415**	119
	表层碳含量	0.140	119	0.122	-0.367**	119
	平均 KOS	0.242*	119	0.260*	0.332**	119
	平均容重	0.307**	119	0.344**	0.479**	119

注: ** 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的。* 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的。

3 结论

(1) 从研究区整个土壤垂直带来看,土壤有机碳含量与随海拔高度变化的年均降水量呈较显著正相关,与各温度指标(年平均温度、气温年较差)呈较显著负相关,其他土壤理化性质指标除土壤容重外皆呈现与有机碳相似特征。说明研究区土壤有机碳含量随温度的升高储量有降低趋势,随着降水的增高储量有上升的趋势。

(2) 从研究区各土壤类型来看,除山地灰褐色森林土和山地黑钙土的多数指标与气候因子呈一般相关或较低之外,各土壤类型的5项指标与气候因子都有较显著的相关关系,且相关性特征与整个垂直带相吻合。所有土壤类型中除亚高山草甸土和灰褐色森林土外均显示出表层有机碳含量指标相关性高于土层平均碳含量的特征,说明表层土壤有机碳容量更易受气候扰动影响。在一定气候条件范围内,研究区土壤碳循环随着气候的变暖反馈是有限的,随着气候的变干反馈是敏感的。

(3) 人为控制研究区气温与降水指标条件,与研究区土壤有机碳进行偏相关分析,总体特征符合在控温条件下,随降水增加,有机碳含量有减少趋势;在控水条件下,随温度的升高,有机碳含量有增加趋势。在研究区各土壤类型中,山地棕钙土有机碳变化在控水条件下对温度因子响应变化不显著,高山草甸土有机碳变化在控温条件对降水因子响应变化不显著,基本维持原有相关关系特征。研究认为在未来较长时间序列,气候变化不会导致研究区土壤碳库容量大幅变化。

(4) 本文的气候相关数据是来自于对实测数据回归分析后的模拟数据,尽管与实测数据呈极显著相关,仍存在一定的误差,对研究结果有一定的影响。且土壤有机碳储量的变化与自身理化性质、植被状况及人类活动影响等非气候因素也存在复杂关系,增加了气候与土壤有机碳相关关系的复杂性,需在后续的研究中进行更深入的探讨。

参考文献:

- [1] Bohn H L. Estimate of organic carbon in world soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1976,40(3):468-470.
- [2] Post W M, Emanuel W R, Zinke P, et al. Soil carbon pools and world life zones [J]. Nature, 1982, 298(8): 156-159.
- [3] Eswaran H, Van Den Berg E, Reich P. Organic carbon in soils of the world[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(1): 192-194.
- [4] Soil processes and the carbon cycle[M]. CRC Press, 1997.
- [5] 王绍强,周成虎,李克让,等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533-544.
- [6] 方精云,刘国华,徐蒿龄. 中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义[M]//王庚辰,温玉璞. 温室气体浓度和排放监测及相关过程. 北京:中国环境科学出版社,1996.
- [7] 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.
- [8] 王绍强,刘纪远. 土壤碳蓄积量变化的影响因素研究现状[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 528-534.
- [9] 曹军,张懿铨,刘燕华. 近20 a海南岛森林生态系统碳储量变化[J]. 地理研究, 2002, 21(5): 551-560.
- [10] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world[J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47(2): 151-163.
- [11] 汪业勋,赵士洞,牛栋. 陆地土壤碳循环的研究动态[J]. 生态学杂志, 1999, 18(5): 29-35.
- [12] Post W M, Peng T H, Emanuel W R, et al. The global carbon cycle[J]. American Scientist, 1990, 78(4): 310-326.
- [13] 袁可能. 土壤腐殖质氧化稳定性的研究[J]. 浙江农业科学, 1964, 19(7): 159-164.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978.
- [15] 徐华君. 阿尔泰山区土壤有机碳氧化稳定性的初步比较分析 [J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 28-30.
- [16] 于贵瑞主编. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京:气象出版社, 2003.
- [17] 闫美杰,时伟宇,杜盛. 土壤呼吸测定方法评述与展望. [J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 148-157.
- [18] Kirschbaum M U F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? [J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 21-51.
- [19] Price D T, Peng C H, Apps M J, et al. Simulating effects of climate change on boreal ecosystem carbon pools in central Canada[J]. Journal of Biogeography, 1999, 26(6): 1237-1248.