

干旱区不同土地利用方式下土壤呼吸 日变化差异及影响因素

周洪华 李卫红 杨余辉 曹志超 李 稚

(中国科学院新疆生态与地理研究所 中国科学院绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:利用开路式土壤碳通量测量系统 - LI-8100 对塔里木河下游 6 种土地利用方式下土壤呼吸速率的日变化进行了野外定位测量, 并就水热因子及土壤理化性质对土壤日呼吸速率差异的影响进行了分析。结果表明, 梨园、弃耕地、棉田、人工林、草地和天然林土壤呼吸速率日变化均呈单峰曲线, 土壤日呼吸速率差异显著。大气温度和土地利用方式是造成土壤日呼吸差异的主要因素, 其中土地利用方式通过改变地表温度、土壤水分、电导率、pH、盐分含量及机械组成等影响土壤日呼吸速率。

关键词:干旱区; 土地利用方式; 土壤呼吸; 空间差异; 塔里木河下游

中图分类号: S153.6⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)02-0190-07

气候变化是当前国内外研究的热点问题, 尤其是 2009 年哥本哈根会议的召开, 碳排放问题成为全世界关注的焦点。土壤呼吸作用是陆地生态系统碳循环的重要组成部分, 全球通过土壤呼吸排放到大气中的 CO₂ 约为 68~100 Pg C/a, 是全球化石燃料释放碳量的 10 倍左右^[1]。因此, 土壤呼吸作用的微小改变都将引起大气 CO₂ 浓度的明显改变, 从而影响全球气候^[2]。土壤呼吸作为导致全球气候变化的关键生态过程, 已经成为全球碳循环研究的核心问题^[3~5]。研究表明, 土地利用方式通过改变辐射特征、植物蒸腾等将加剧土壤碳释放^[6~10], 且长期土地利用方式的改变导致碳从陆地生态系统释放是大气 CO₂ 浓度不断升高的主要原因之一^[7]。因此准确评估土壤呼吸作用及其对土地利用方式的响应有助于定量评估生态系统碳循环和碳收支, 而且有助于减缓气候变化及其影响^[11~13]。

国内外关于土壤呼吸对土地利用方式的响应研究大多集中在湿润、半湿润和半干旱地区。Conant 等^[14]和 Maestre 等^[15]研究发现, 在半干旱区, 植被类型、植被覆盖度、土壤特性的小尺度空间变异对土壤呼吸速率有显著影响; 张金波等^[16]、王小国等^[12]以及王旭等^[13]也分别指出三江平原沼泽

湿地、四川盆地和长白山地区土地利用方式的改变显著影响土壤呼吸。干旱区约占地球表面的 1/5, 其土壤呼吸变化对全球陆地生态系统的碳收支有着直接关系。然而, 在干旱区, 土地利用方式对土壤呼吸速率的影响研究鲜见报道。本文以典型极端干旱区 - 塔里木河下游为研究对象, 对比分析典型土地利用方式下土壤呼吸速率日变化差异, 探讨土壤特性差异对土壤呼吸的影响, 为评估干旱区生态系统碳循环和碳收支提供科学依据与参数。

1 研究区概况

研究区位于塔里木河下游尾间绿洲 - 铁干里克。本区属暖温带极干旱气候区, 气候干燥, 多风沙, 年均降水量 17.4~42.0 mm, 年均蒸发量 2 500~3 000 mm, 年太阳总辐射 5 692~6 360 MJ/m², 日照时数 2 780~2 980 h, ≥10℃ 年积温 4 100~4 300℃, 平均日较差 13~17℃, 是中国极端干旱地区之一, 土壤多为碱化漠钙土和盐化草甸土, 浅层地下水主要由河水下渗补给。天然植被主要有胡杨 (*Populus euphratica*)、柽柳 (*Tamarix spp.*)、黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*)、盐穗木 (*Halostachys caspica*)、花花柴 (*Karelinia caspica*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、骆驼刺 (*Alhagi sparsifolia*)、甘草 (*Glycyrrhiza inflata*)、罗布麻 (*Apocynum venetum*)

收稿日期: 2010-03-31; 修订日期: 2010-06-08

基金项目: 国家自然科学基金(40901061, 40871059, 40901105)、西部之光项目(XBBS200810)资助。

作者简介: 周洪华(1980-), 女, 四川蓬溪人, 助理研究员, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: zhouhh@ms.xjb.ac.cn

等^[17],天然植被生长发育主要依靠地下水和天然降水。

本研究选取铁干里克绿洲 6 种主要土地利用类型为实验样地:农田、梨园、人工林、天然林、草地和弃耕地。

2 实验设计与数据获取

在每个样地上随机布设 5 个土壤监测点,间隔约 50 m。土壤呼吸速率测定用 LI-8100 (LI-COR, Lincoln, NE, USA)。为避免人为扰动,在监测点埋入 1 个 10 cm 左右的 PVC 管,上端露出地面 2~3 cm,尽量不破坏原有土壤物理结构和生物生活状态,经 24~48 h 平衡后再测定土壤呼吸。于 2009 年植物生长旺季(8 月)选取晴朗无风日,对多样地土壤呼吸进行循环监测,每个样地监测 3 d,监测时间 08:00~20:00(北京时间),监测频率为 2 h,每一监测点同一时段重复测定 3 次,分析时采用其平均值。

测定土壤呼吸速率日变化的同时,每一监测点挖 1 m 土壤剖面,使用 WMY-01C 同步测定气温和 0.5、10、20、30、50、80、100 cm 的土壤温度。由于干旱区一天内土壤含水量、盐分、养分等特征变化较小,在每一土壤剖面,分层(0~5、5~10、10~20、20~30、30~50、50~80、80~100 cm)取样对土壤水分、pH、电导率、盐分、全氮、速效氮、有机质和土壤机械组成进行当日分析,分析方法为常规方法。

数据统计和分析在 Excel 和 SPSS13.0 软件环境下进行,作图采用 Sigmaplot 9.0 软件。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用下土壤呼吸速率日变化差异及对温度的响应

各土地利用方式下的土壤呼吸速率日变化均呈单峰趋势(图 1),日均值的方差分析表明,各土地利用方式下的土壤呼吸速率均有显著差异,且梨园>弃耕地>棉田>人工林>草地>天然林($P < 0.05$)。不同土地利用方式对土壤呼吸速率日变化格局有着明显的影响,棉田、弃耕地、人工林、草地和天然林的日变化趋势比较一致,从 08:00 开始,土壤呼吸速率随着时间的推移变化明显,最高值均出现在 16:00,随后逐渐下降,最低值均出现在 08:00;梨园的土壤呼吸速率日变化相对较平

缓,最高值出现在 18:00;最低值在 08:00。

地表温度(0 cm)日变化表明,草地、天然林、棉田、弃耕地和人工林土壤日呼吸速率与温度变化存在较高的一致性,而梨园与地表温度不具同步性(图 1)。Pearson 相关分析也表明,除梨园外,其余各土地利用方式下土壤日呼吸速率均与大气温度和地表温度呈显著相关($P < 0.05$),而梨园土壤日呼吸与 80~100 cm 的土壤温度显著相关($P < 0.05$)(限于篇幅,数据未列出)。

土壤呼吸与温度的关系模型最为常用的有两种,一是线性模型,一是指数模型,但哪种模型更为优越,仍众说纷纭^[18]。采用线性和指数模型分别对 6 种土地利用方式下的土壤日呼吸速率与具有显著相关性的温度间关系进行拟合,用 R^2 作为拟合模型的变异解释量,结果表明(表 1),线性和指数模型都能较好地描述土壤日呼吸与温度的关系,但指数模型中温度所解释的土壤日呼吸速率时间变异率大于线性模型,如,在弃耕地,指数模型中大气温度和地表温度能解释土壤呼吸速率时间变异的 66.3% 和 79.8%,而线性模型仅解释了 59.7% 和 79.0%,而指数模型则仅解释 66.3% 和 79.8%。因此,指数模型能更好地描述温度与土壤日呼吸速率之间的关系。

Q_{10} 值是衡量土壤呼吸的温度敏感性指数, Q_{10} 值越高表明土壤呼吸速率对温度的依赖性越大,从表 1 可见,6 种土地利用方式下由指数模型计算的 Q_{10} 值略高于线性模型,但不论是由线性模型还是指数模型计算的 Q_{10} 值均在 1.02~1.97 的范围内变动,变异系数达 93.14%,均低于世界平均水平(2.4),说明在塔里木河下游土壤呼吸对温度的敏感性远低于其他地区,且不同土地利用方式下 Q_{10} 值存在着很大的差异。采用指数模型由地表温度计算出来的 Q_{10} 值大小依次是棉花(1.82)>草地(1.65)>弃耕地(1.36)>人工林(1.34)>天然林(1.15)。

3.2 不同土地利用下土壤呼吸速率日变化差异对土壤水分的响应

多样地 5 个土壤剖面的土壤水分与土壤呼吸速率日均值相关分析表明(表 2),土壤日呼吸速率与土壤水分有显著关系,其中草地、棉田和天然林土壤呼吸速率与 0~10 cm 土壤水分显著相关,弃耕地与 0~20 cm 土壤水分显著相关,人工林与 0~30 cm 土壤水分有显著关系,梨园与 0~100 cm

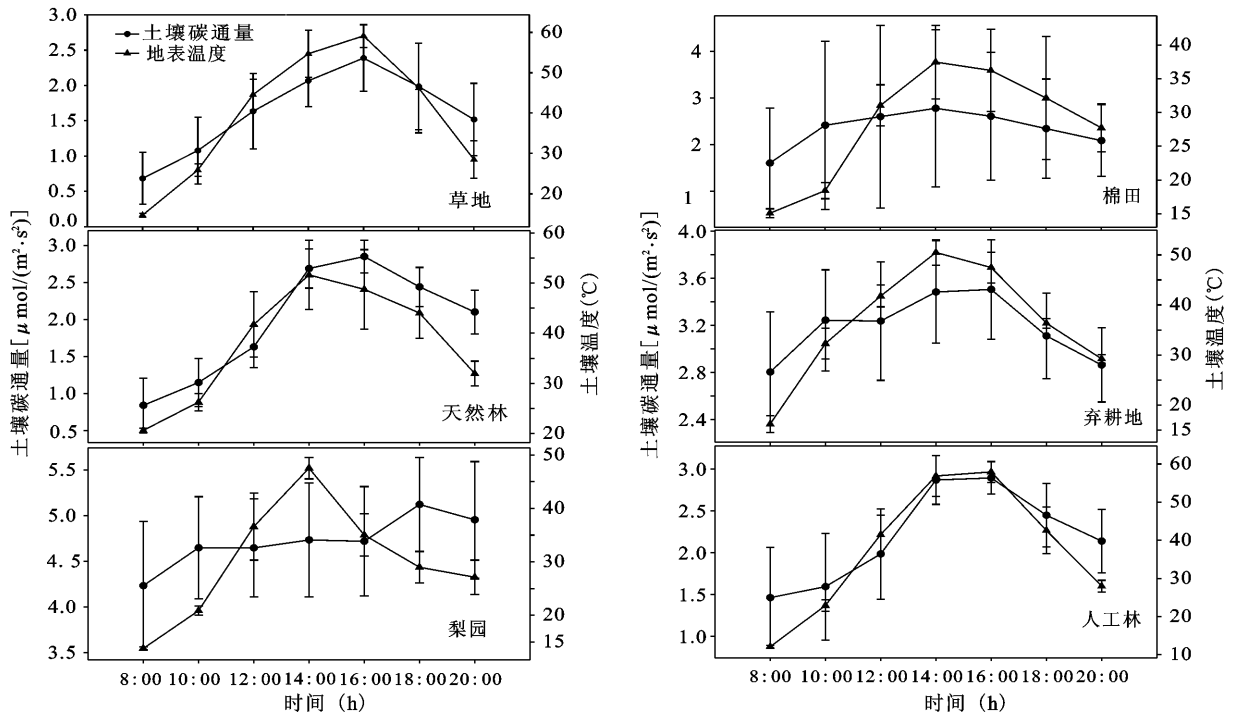


图 1 不同土地利用方式下的土壤呼吸和地表气温(0 cm)日变化

Fig. 1 Daily variation of soil respiration and soil temperature at 0 cm ground in different types of land-use

表 1 土壤日呼吸与温度的曲线拟合方程和 Q_{10} 值

Table 1 Fitted equation of soil respiration and temperature and its Q_{10} value

土地利用方式	温度	回归方程	Q_{10}	F	Sig.	R^2
弃耕地	大气温度	$Y = 2.390 + 0.029x$	1.34	7.403	0.042	0.597
		$Y = 0.062e^{0.037x}$	1.45	3.929	0.014	0.663
	地表温度	$Y = 2.446 + 0.021x$	1.23	18.837	0.007	0.790
		$Y = 0.611e^{0.031x}$	1.36	7.920	0.041	0.798
天然林	大气温度	$Y = 1.110 + 0.002x$	1.02	10.221	0.048	0.420
		$Y = 0.912e^{0.017x}$	1.19	7.113	0.056	0.530
	地表温度	$Y = 1.108 + 0.002x$	1.02	9.870	0.037	0.465
		$Y = 0.389e^{0.014}$	1.15	7.067	0.043	0.548
棉田	大气温度	$Y = 1.193 + 0.042x$	1.52	15.716	0.011	0.759
		$Y = 0.958e^{0.063}$	1.88	6.409	0.057	0.762
	地表温度	$Y = 1.266 + 0.04x$	1.49	14.973	0.012	0.750
		$Y = 0.133e^{0.06x}$	1.82	18.599	0.009	0.803
草地	大气	$Y = -0.204 + 0.06x$	1.82	66.245	0.000	0.830
		$Y = 0.323e^{0.068x}$	1.97	30.326	0.004	0.838
	地表	$Y = 0.196 + 0.038x$	1.46	31.234	0.003	0.862
		$Y = 0.03e^{0.05x}$	1.65	12.611	0.019	0.863
人工林	大气	$Y = 0.660 + 0.053x$	1.70	15.091	0.012	0.751
		$Y = 0.57e^{0.062x}$	1.86	11.452	0.022	0.851
	地表	$Y = 1.165 + 0.027x$	1.31	23.623	0.005	0.825
		$Y = 0.628e^{0.029x}$	1.34	9.463	0.030	0.826
	5cm	$Y = 0.656 + 0.01x$	1.11	7.676	0.025	0.752
	$Y = 0.658e^{0.020x}$	1.22	9.179	0.032	0.821	

表 2 土壤日呼吸与土壤水分的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between soil respiration and soil moisture

土壤水分	土壤呼吸					
	人工林	梨园	草地	棉田	天然林	弃耕地
0~5 cm	0.8902*	0.8802*	0.6297*	0.8681*	0.5717*	0.7312*
5~10 cm	0.9021*	0.8819*	0.6458*	0.8137*	0.5252*	0.9686**
10~20 cm	0.8867*	0.8765*	0.1730	0.8066	0.0012	0.9178*
20~30 cm	0.9284*	0.9449*	-0.1140	0.0885	0.1143	0.3788
30~50 cm	-0.5425	0.9298*	-0.1345	0.4211	-0.2958	-0.3588
50~80 cm	-0.2701	0.9272*	-0.0058	0.5442	0.1284	0.5551
80~100 cm	-0.2351	0.8636*	-0.1122	0.2043	0.2786	0.3217

注:* 表示相关水平达 0.05; ** 相关水平达 0.01。

土壤水分均有显著相关性。从图 2 可看出,各土地利用类型下浅土层的土壤水分均略小于深层。0~100 cm 土壤水分加权平均大小顺序为棉田>草地>天然林>弃耕地>人工林>梨园,且棉田和草地与天然林、人工林、梨园和弃耕地有显著差异(表 3)。

采用双因素模型 $R = a \cdot e^{bt} \cdot w^c$ 对人工林、草地、棉田、天然林和弃耕地的地表温度及与土壤呼吸具有显著相关性的土层土壤水分对土壤日呼吸速率的协同作用分别进行回归分析(方程未列出),结果表明,各土地利用方式下土壤温度和湿度共同解释了土壤呼吸速率日变化近 90% 以上。从变异解释量来看,草地(0.946)>人工林(0.939)>弃耕地(0.911)>棉田(0.907)>天然林(0.871)。

3.3 不同土地利用下土壤呼吸速率日变化差异对土壤其他特性的响应

LSD 方差分析表明(表 3) 6 种土地利用方式下 0~100 cm 土壤平均 pH、电导率、盐分含量、土壤砂粒百分比、粉粒百分比以及粘粒百分比之间存在显著差异,但土壤全氮、速效氮和有机质含量没有显著差异,表明土壤 pH、电导率、盐分含量、土壤机械组成差异与土地利用方式密切相关土壤水分的差异也证实了这一观点。相关分析也表明(数据未列出),各土地利用方式下土壤日呼吸速率与土壤 pH、电导率、盐分含量、砂粒百分比、粉粒百分比以及粘粒百分比之间存在着显著相关关系($P < 0.05$),而与土壤养分关系不明显($P > 0.05$)。

表 3 不同土地利用方式下的土壤特性方差分析(LSD)

Table 3 LSD of soil properties at different types of land-use

	水分 (%)	pH	电导率 (ms/cm)	盐分 (g/kg)	全氮 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	砂粒百分比 (%)	粉粒百分比 (%)	粘粒百分比 (%)	呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
弃耕地	3.32 ^a	8.23 ^a	1.019 ^{ab}	7.17 ^a	0.284 ^a	32.25 ^a	4.72 ^a	31.68 ^a	59.44 ^a	8.87 ^a	3.18 ^a
人工林	3.82 ^a	8.69 ^b	4.34 ^d	73.96 ^b	0.29 ^a	23.43 ^a	5.24 ^a	52.24 ^b	42.34 ^{bd}	5.41 ^{ac}	2.20 ^b
梨园	2.43 ^a	8.54 ^{bc}	0.13 ^b	0.86 ^a	0.28 ^a	12.89 ^a	4.87 ^a	45.86 ^{ab}	47.72 ^{abd}	6.43 ^{ac}	4.72 ^c
草地	13.69 ^b	8.59 ^b	3.57 ^d	62.88 ^{bc}	0.32 ^a	20.36 ^a	5.85 ^a	85.16 ^c	12.04 ^c	2.79 ^c	1.62 ^d
棉田	20.25 ^c	8.27 ^{ac}	0.45 ^{bc}	1.85 ^a	0.37 ^a	15.56 ^a	6.41 ^a	25.71 ^a	55.81 ^{ab}	18.47 ^b	2.35 ^b
天然林	4.89 ^a	8.21 ^a	2.31 ^{acd}	19.47 ^{ac}	0.32 ^a	19.66 ^a	6.34 ^a	60.41 ^b	33.56 ^d	6.02 ^{ac}	1.18 ^e

注:相同字母间表示没有显著差异,不同字母间表示有显著差异。

进一步将土壤日呼吸速率与地表温度的 Q_{10} 值分别与 0~100 cm 土壤加权平均 pH 值、电导率、盐分含量、砂粒百分比、粉粒百分比、粘粒百分比及 0~5 cm 土壤水分和地表温度进行曲线拟合,拟合结果显示(方程未列出),各土地利用方式下土壤 Q_{10} 值与土壤电导率、盐分含量、粘粒百分比、粉粒百分比和 0~5 cm 土壤水分均呈线性正相关($P < 0.05$, $R^2 = 0.657 - 0.938$),与 pH 值、砂粒百分比和地表温度呈线性负相关($P < 0.05$, $R^2 =$

0.523 - 0.895)。

4 讨论与结论

在塔里木河下游,梨园、弃耕地、棉田、人工林、草地和天然林的土壤日呼吸 CO_2 的速率分别为 4.72、3.18、2.35、2.20、1.62 和 1.18 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})^2$,且各土地利用方式下的土壤日呼吸速率均呈显著差异。从日变化来看,各土地利用方式下土壤呼吸速率最低值均出现在 8:00,棉田、弃耕地、人工林、

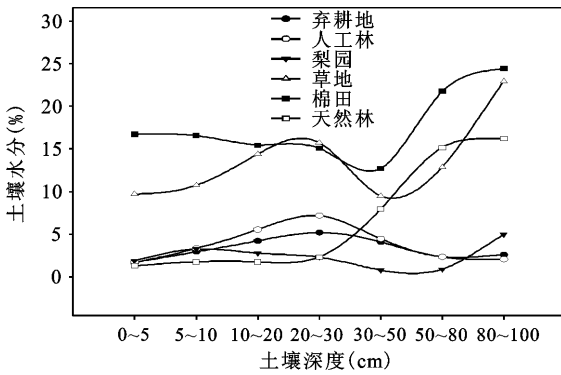


图2 6种土地利用方式下不同土层的土壤水分变化

Fig. 2 Changes of soil moisture at different layers of 6 types of land - use

草地和天然林土壤呼吸速率日变化较大,最高值出现在 14:00,梨园日变化相对较小,最高值出现在 18:00。不同土地利用方式下的土壤日呼吸速率差异与温度和土壤特性变化有着密切联系。

众多研究表明,温度是影响土壤呼吸的主要因素之一^[19~24]。本研究也证实,弃耕地、棉田、人工林、草地和天然林的土壤日呼吸速率与大气温度和地表温度存在显著相关性,且土壤呼吸速率的日最大值与地表温度存在一致性,但梨园仅与 80~100 cm 土壤温度显著相关。 Q_{10} 值是度量土壤呼吸速率对温度的敏感性指标。本研究得出不同土地利用方式下 Q_{10} 值差异很大,如由地表温度计算的 Q_{10} 值有棉田 > 草地 > 弃耕地 > 人工林 > 天然林,这可能与群落组成和结构有关。人工林和天然林为乔灌草结构,群落内通透性好,乔木和灌木冠幅大,对地表的遮阴度高,地表温度和土壤温度受气温的影响相对小于棉田、草地和弃耕地,因此,土壤日呼吸速率对地表温度的敏感度也相对较小。另外,各土地利用方式下 Q_{10} 值均 < 2.0,明显低于湿润、半湿润和半干旱区的研究结果^[25~27],也低于世界平均水平,但与塔里木河中下游胡杨群落的研究结论一致^[22],这可能是因为研究区过低的土壤水分妨碍了土壤溶液中可溶性有机碳的扩散,使根系及微生物可利用的溶解性有机碳减少,降低了土层中植物根系和微生物的活性,尤其是在高温和干旱的双重胁迫作用下(塔里木河下游夏季日温在 30℃ 以上)。

各土地利用下的土壤日呼吸速率与土壤水分相关性较地表温度更显著,梨园甚至与 0~100 cm 的土壤水分均有显著相关性(表 2)。方差分析证

实,土地利用方式显著影响土壤水分,棉田与草地土壤水分较高,天然林、人工林和梨园土壤水分较低,尤其是梨园,表明当土壤水分低时,土壤呼吸速率受水分的影响更为显著,这与王小国等对四川盆地的研究相反^[13]。这可能是因为在塔里木河下游干燥少雨,蒸发强烈,水是植物生长发育的关键因素,因而,土壤日呼吸对土壤水分敏感性更甚于温度,尤其是在土壤湿度较低时。双因素指数模型拟合结果表明,土壤温度和湿度协同作用可解释土壤日呼吸速率时间变异的近 90% 以上,明显优于单一温度的解释量,且草地变异解释量较高,表明在塔里木河下游未来气温升高或降雨量减少对草地的土壤呼吸影响更大一些,这可能是因为天然降水减少,地下水位下降,土壤水分减少,浅根系的草本植物生长发育更容易受抑制,从而导致植被盖度减少,群落退化,进而使得群落调节小气候的能力减弱,抵御环境恶化的能力衰减。

土壤呼吸是个复杂的生物地球化学过程,并非是对温度或湿度的生理响应过程。除土壤温度和湿度外,根系分布、根系生物量和微生物种群及活性等也是影响土壤呼吸的重要因素^[28~31]。土壤理化特性影响根系和微生物的数量和活性,因而也影响着土壤呼吸。Raich 等提出植物群落间土壤呼吸的差异主要归因于土壤微环境的不同^[32]。本研究结果表明,土地利用方式显著影响土壤 pH、电导、盐分含量及土壤机械组成,与土壤养分关系不大;而各土地利用方式下土壤日呼吸速率也与土壤 pH、电导、盐分含量有显著关系,而与土壤养分无显著相关。表 4 还显示,梨园、棉田和弃耕地土壤平均电导率和盐分含量最低,对应的土壤日呼吸速率最高;而草地、人工林和天然林土壤平均电导率和盐分含量高,对应的土壤日呼吸速率低。同时,各土地利用方式下的 Q_{10} 值也与土壤电导率和土壤盐分显著正相关。因此,土壤电导率和盐分含量也是影响土壤呼吸的重要因素。它们可能是通过影响植物根系和微生物生长来影响土壤呼吸,这一影响机理还有待进一步深入研究。另外,土壤日呼吸速率与粘粒和粉粒百分比呈显著正相关而与砂粒呈显著负相关,且 Q_{10} 值也与土壤粘粒和粉粒呈显著正相关,而与砂粒呈显著负相关。这可能是因为塔里木河下游土壤沙化严重,保水性能较差,因此粘粒和粉粒的增多可以有效地保持土壤水分,从而提高根系和微生物活性,增强土壤

呼吸。

综上所述,气温和土壤特性差异是引起干旱区不同土地利用方式下土壤日呼吸速率差异的主要因素,尤其是土壤温度、水分、pH、电导、盐分含量、砂粒百分比、粉粒百分比及粘粒百分等。而方差分析表明,土地利用方式显著影响地表温度、土壤水分、pH、电导、盐分含量及机械组成,即土地利用的改变导致了土壤特性的变化,从而影响着土壤日呼吸速率。

参考文献:

- [1] Aich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate [J]. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 1992, **44**(B): 81-99.
- [2] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle [J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1): 7-20.
- [3] Lloyd J, Taylor J A. On the temperature dependence of soil respiration [J]. *Functional Ecology*, 1994, **8**(3): 315-323.
- [4] Winkler J P, Cherry R S, Schlesinger W H. The Q_{10} relationship of microbial respiration in a temperate forest soil [J]. *Biochemistry*, 1996, **28**(8): 1067-1072.
- [5] 宋长春, 王毅勇, 王跃思, 等. 人类活动影响下淡水沼泽湿地温室气体排放变化 [J]. *地理科学*, 2006, **26**(1): 82-86.
- [6] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. *Science*, 1994, **263**(14): 185-190.
- [7] 李阳兵, 高明, 邵景安, 等. 岩溶山区不同植被群落土壤生态系统特性研究 [J]. *地理科学*, 2005, **25**(5): 606-613.
- [8] Palmroth S, Maier C A, McCarthy H R, et al. Contrasting response to drought of forest floor CO_2 efflux in a Loblolly pine plantation and a nearby Oak Hickory forest [J]. *Global Change Biology*, 2005, **11**(3): 421-434.
- [9] 张金波, 宋长春, 杨文燕. 沼泽湿地垦殖对土壤碳动态的影响 [J]. *地理科学*, 2006, **26**(3): 340-344.
- [10] 刘宇, 匡耀求, 吴志峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响——以广东东莞为例 [J]. *地理科学*, 2006, **26**(5): 597-602.
- [11] Sampson R N, Apps M, Brown S, et al. Terrestrial biosphere carbon fluxes quantification of sinks and sources of CO_2 [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1993, **70**(1-4): 3-15.
- [12] 王小国, 朱波, 王艳强, 等. 不同土地利用方式下土壤呼吸及其温度敏感性 [J]. *生态学报*, 2007, **27**(5): 1960-1965.
- [13] 王旭, 周广胜, 蒋延玲, 等. 长白山红松阔叶混交林与开垦农田土壤呼吸总用比较 [J]. *植物生态学报*, 2006, **30**(6): 887-893.
- [14] Conant R T, Klopatek J M, Malin R C, et al. Carbon pools and fluxes along an environmental gradient in northern Arizona [J]. *Biogeochemistry*, 1998, **43**(1): 43-61.
- [15] Maestre F T, Cortina J. Small-scale spatial variation in soil CO_2 efflux in a Mediterranean semiarid steppe [J]. *Applied Soil Ecology*, 2003, **23**(3): 199-209.
- [16] 张金波, 宋长春, 杨文燕. 不同土地利用下土壤呼吸温度敏感性差异及影响因素分析 [J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(11): 1537-1542.
- [17] 周洪华, 陈亚宁, 李卫红. 新疆铁干里绿洲水文过程对土壤盐渍化的影响 [J]. *地理学报*, 2008, **63**(7): 714-724.
- [18] 韩广轩, 周广胜. 土壤呼吸作用时空动态变化及其影响机制研究与展望 [J]. *植物生态学报*, 2009, **33**(1): 197-205.
- [19] Davidson E A, Verchot L V, Cattin J H, et al. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern [J]. *Biochemistry*, 2000, **48**(1): 53-69.
- [20] Qi Y, Xu M, Wu J G. Temperature sensitivity of soil respiration and its effects on ecosystem carbon budget: nonlinearity begets surprises [J]. *Ecological Modelling*, 2002, **153**(1-2): 131-142.
- [21] 张丽华, 陈亚宁, 李卫红, 等. 干旱区荒漠生态系统的土壤呼吸 [J]. *生态学报*, 2008, **28**(5): 1911-1922.
- [22] 黄湘, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河中下游胡杨群落土壤碳通量日变化研究 [J]. *自然科学进展*, 2006, **16**(11): 1405-1410.
- [23] 齐玉春, 董云社, 刘纪远, 等. 内蒙古半干旱草原 CO_2 排放通量日变化特征及环境因子的贡献 [J]. *中国科学(D辑)*, 2005, **35**(6): 493-50.
- [24] Osozawa S, Hasegawa S. Diel and seasonal changes in carbon dioxide concentration and flux in an arid soil [J]. *Soil Sci*, 1995, **160**(2): 117-124.
- [25] Fernandez D P, Nef J C, Belnap J, et al. Soil respiration in the cold desert environment of the Colorado Plateau (USA): abiotic regulators and thresholds [J]. *Biogeochemistry*, 2006, **78**(3): 247-265.
- [26] Frank A B, Liebig M A, Hanson J D. Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, **34**(9): 1235-1241.
- [27] Lou Y S, Li Z P, Zhang T L. Carbon dioxide flux in a subtropical agricultural soil of China [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2003, **149**(1-4): 281-293.
- [28] Moyano F E, Kutsch W L, Schulze E D. Response of mycorrhizal, rhizosphere and soil basal respiration to temperature and photosynthesis in a barley field [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, **39**(4): 843-853.
- [29] Lohila A, Aurela M, Regina K, et al. Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields: effect of soil and crop type [J]. *Plant and Soil*, 2003, **25**(1): 303-317.
- [30] 孙文娟, 黄耀, 陈书涛, 等. 作物生长和氮含量对土壤-作物系统 CO_2 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2004, **25**(3): 1-6.
- [31] 毕江涛, 贺达汉, 黄泽勇. 退化生态系统土壤微生物种群数量和分布对植被恢复的响应 [J]. *地理科学*, 2009, **29**(2): 238-243.
- [32] Raich J W, Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: correlations and controls [J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1): 87-90.

Soil Respiration Variant and Its Effecting Factors at Different Land Use in Arid Land

ZHOU Hong-hua , LI Wei-hong , YANG Yu-hui , CAO Zhi-chao , LI Zhi

(Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment , Xinjiang Institute of Ecology and Geography ,
Chinese Academy of Sciences , Urumqi , Xinjiang 830011 , China)

Abstract: Soil respiration rates at 6 different land-use (i. e. , cropland , orchard , abandoned farmlands , plantation , natural forest and grassland) in the lower reaches of the Tarim River were measured with an automated CO₂ efflux system (LI-COR 8100) , and the temperature , soil moisture , pH , salt content , organic content , total nitrogen content , available nitrogen content and soil texture were measured at the same time. The results showed that the diurnal variation of soil respiration rate of cropland , orchard , abandoned farmlands , plantation , natural forest and grassland , showed a single-peaked curve , were significant differences. The air temperature and land use types were main factors affected the differences of diurnal variation of soil respiration rate , in which the land use types changed the diurnal soil respiration through changing the soil properties including soil temperature , moisture , pH , salt content and texture.

Key words: arid land; land-use; soil respiration; spatial difference; lower reaches of Tarim River

《现代地貌学导论》

- ISBN:978 - 7 - 03 - 025401 - 6
- 发行号:P - 1931.0101
- 作者:吴正 主编
- 作者单位:华南师范大学地理系
- 出版日期:2009 - 09 - 08

内容简介:

地貌学是高等师范院校地理系的一门专业基础课,是地理科学专业的主干课程之一。本书是在学习和吸收国内外多本著名地貌学教材的优点,以及地貌学研究新成果的基础上编写成的。在编写过程中,除力求反映教材应具备的科学性和系统性外,更突出地体现了师范院校地貌学课程教材要具有浅、广、新的特色。同时,首次在地貌学教材中增加了应用地貌内容。

全书共分十五章。除第一章绪论外,按内容可分为三部分:第一部分,从第二章至第七章,详细介绍了部门地貌学的基础知识,阐述了主要的地貌类型和特征;第二部分,第八章至第十章,重点论述了应用地貌学的三个主要应用方向:环境与资源地貌、灾害地貌和工程地貌的基本内容;第三部分,第十一章至第十五章,扼要地介绍了地貌发育的重要理论、地貌系统的基本特性,以及地貌研究的主要方法。

读者对象:

本书除作为高等师范院校地理科学专业的地貌学课程教材外,还可用于综合大学地理系各专业和地质、农林、交通、水利、测绘等院校非地理系科学习地貌学课程的教材和参考书,亦可供有关科研、生产部门的工作人员参考。