

# 干旱区退化湿地恢复过程中的土壤呼吸特征研究

毋兆鹏<sup>1,2</sup>, 满中龙<sup>1</sup>, 王范霞<sup>1</sup>

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院地理系, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

**摘 要:** 精河入湖口湿地是典型干旱区湖泊湿地艾比湖湿地的重要组成部分。本研究采用空间序列代替时间序列的方法分析了艾比湖精河入湖口退化湿地恢复中土壤呼吸的变化特征。结果表明:(1)随着恢复期的延长, 土壤 CO<sub>2</sub> 通量的日变化有由单峰型向双峰型转变的趋势;(2)恢复期较短的湿地(1 a), 季节变化具有单峰型特点, 峰值在秋季, 恢复期较长的湿地(3~5 a), 季节变化呈现双峰型, 且春季高于秋季;(3)退化湿地在植被恢复过程中土壤呼吸速率逐渐增强;(4)在退化湿地的不同恢复阶段, 近地面 10 cm 土壤温度与土壤 CO<sub>2</sub> 通量的关系最密切。因此, 只要水源充足, 精河入湖口退化湿地在恢复过程中土壤呼吸速率随恢复时间延长而逐渐提高, 经 4~5 a 即可恢复到未退化状态。

**关键词:** 退化湿地; 恢复; 土壤呼吸; 干旱区

**中图分类号:** S154.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0194-06

湿地是陆地生态系统最重要的组成部分之一, 虽然面积较小, 约为全球陆地总面积的 2%, 但储存在湿地土壤中的碳却占土壤总蓄积量的 11%<sup>[1]</sup>, 在碳的储存中发挥着重要作用。干旱区湿地在我国湿地中占有较大的比重, 不仅是区域特殊的稀有景观, 同时对维护干旱地区生态平衡起着不可估量的作用。艾比湖湿地位于新疆北部准噶尔盆地西南隅, 属于典型的干旱区湖泊湿地, 在维持区域生态平衡、提供珍稀动植物栖息地和保护生物多样性等方面具有非常重要的生态环境价值<sup>[2]</sup>。最近五十年来, 由于缺乏有效的生态保护, 艾比湖湖面急剧萎缩, 由 20 世纪 50 年代的 1 200 km<sup>2</sup> 缩至 540 km<sup>2</sup>, 裸露湖底的含盐沙层经阿拉山口大风吹蚀所造成的风沙危害, 引发了一系列生态问题, 已使该地区成为目前仅次于塔里木河下游的新疆第二大生态退化区域。长期以来, 围绕湿地生态系统进行了大量的科学研究。但是关于沼泽、湿地土壤呼吸的影响研究还比较缺乏, 对自然生态系统土壤呼吸的研究工作大部分集中于森林、草原和农田等典型生态系统的土壤呼吸动态特征、土壤呼吸各组分状况及与环境因子之间的关系等方面<sup>[3-5]</sup>, 对该区域的研究则更加有限。本文拟通过空间序列代替时间序列的方法对艾比湖精河入湖口退化湿地不同恢复期土壤呼吸进行调查与分析, 旨在为干旱区退化湿地恢复研究提供理论基础, 也为研究区恢复状况研究提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

精河入湖口湿地是艾比湖湿地的重要组成部分, 位于新疆博尔塔拉州东北部, 坐标为 82°53'56" E, 44°48'27" N, 面积约 6.6 km<sup>2</sup>。气候为典型的温带干旱大陆性气候, 年降水量 100 mm 左右, 蒸发量 1 600 mm 以上, 极端最高气温 44℃, 极端最低气温 -33℃, 全年日照时数约 2 800 h。

### 1.2 样地选择

近年来, 精河出现断流现象, 来水量的减少直接导致湖滨湿地萎缩, 芦苇被盐角草、盐爪爪等一些耐盐植被替代。因此, 选择精河入湖口退化湿地作为试验基地具有典型性和代表性。

从 2004 年开始, 保护区在精河入湖口退化湿地每年围堰引水进行恢复。分别选取 2004 年(早期)、2006 年(中期)、2008 年(晚期)开始恢复的湿地为调查样区。另外, 在临近恢复地区, 选择一块未退化、保持原状的湿地为对照样地(图 1)。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 土壤呼吸速率测定** 在不同季节, 采用美国 Li-COR 公司生产的开路式土壤碳通量测量系统 LI-8100, 对样地进行土壤呼吸速率(R<sub>s</sub>)测定, 每个样地设 3 个重复点, 设置土壤环, 土壤环直径 20 cm, 高 20 cm。提前 3 d 将土壤环嵌入土壤中, 将样环内的

收稿日期: 2011-12-21

基金项目: 国家自然科学基金(41161032); 教科文卫引智项目(W2011091); 国家自然科学基金(40961039); 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2110211B10)

作者简介: 毋兆鹏(1976—), 男, 陕西西安人, 博士, 副教授, 从事 3S 技术与绿洲资源开发研究。E-mail: wuzhaopengj@sina.com。

植物齐地面剪掉,经过至少 72 h 的平衡后,土壤呼吸速率恢复到土壤环放置前的水平,避免由于安放放置气室对土壤扰动而造成短期内土壤呼吸速率的波动。受客观条件及季节观察条件限制,为了更好地观察土壤呼吸速率的变化,观测频度为:

① 春季:08:00~14:00,每间隔 2 h 测定一次。

② 夏季:08:00~次日 08:00,频度为 30 min 测定一次。

③ 秋季:08:00~14:00,每间隔 2 h 测定一次,14:00~18:00,每间隔 1 h 测定一次。

④ 冬季:08:00~21:00,每间隔 1 h 测定一次。



A:自然区 Natural area; B:2004年引水区 Rehabilitation in 2004; C:2006年引水区 Rehabilitation in 2006; D:2008年引水 Rehabilitation in 2008

图1 艾比湖精河入湖口退化湿地不同恢复时期观测点示意图

Fig.1 Monitoring location of different rehabilitation stage wetland in Jinghe River Estuary

### 1.3.2 温度测定 测量时使用 LI-8100 自带的辅

助传感接口连接土壤温度传感探针(soil temperature probe)测定近地面 0~10 cm 土壤温度。地表温度 10,15,20,40,60 cm 和 100 cm 地温通过设置于实验地的 MILOS20 自动记录气象站获取。

1.3.3 土壤理化性质 在各采样单元采样时,考虑土壤属性的最大空间相关尺度,取样点间距应小于空间变异范围,以满足分析与制图的精度需要。结合地势、地貌、土地利用、成土母质类型等因素,采用“S”法多点采集混合成一个样品,采用不锈钢取土钻。土壤采样点数目为 28 个,样品总数 87 个,采样时用 GPS 记录采样点的经纬度坐标及高程,并详细记录采样点周围的景观信息。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同恢复阶段湿地土壤基本性质

精河入湖口湿地各恢复期土壤 pH 值均高于 8,为碱性土壤(表 1)。依据《新疆土壤》中对土壤性质的划分标准<sup>[6]</sup>,含盐量高于 0.3% 的土壤为盐化土壤,恢复第 5 年的湿地土壤有轻度盐渍化现象,恢复的第 1,3 年,湿地盐渍化现象较为严重。已有研究表明,植被覆盖是影响艾比湖不同生境湿地土壤有机碳含量及垂直分布特征的主要因素,从总体上看,艾比湖湿地 6 种典型生境土壤有机碳含量相对较低<sup>[7]</sup>。各恢复时期土壤碱解氮、有效磷均不存在明显差异,速效钾在恢复的第 5 年与第 1 年、第 3 年有显著差异。

表 1 研究区不同恢复时期土壤理化性状

Table 1 Soil physical-chemical properties of research region

样地 Sampling location	pH	全盐(g/kg) Total salt	有机质(%) OM	碱解氮(mg/kg) Available N	有效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K
2004年	8.68a	4.56b	0.59a	38.5a	6.44a	296.69a
2006年	8.23ab	6.25a	0.50a	34.3a	8.16a	73.46b
2008年	8.88a	7.25a	0.33b	34.2a	8.43a	43.7b
对照 CK	8.59a	5.41ab	0.55a	30.1a	8.52a	155.47a

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 字母相同者表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant difference ( $P < 0.05$ ), while the same letters mean insignificant difference ( $P > 0.05$ ).

### 2.2 土壤 CO<sub>2</sub> 通量的日过程比较

在温带森林或其他植被条件下,受气温日变化的影响,土壤呼吸常常表现出明显的日变化特点<sup>[8]</sup>。杨建军等在艾比湖流域四种植物群落土壤呼吸速率的日变化监测结果表明:胡杨、梭梭、芦苇、盐节木四种群落土壤呼吸速率日变化基本都呈单峰曲线<sup>[9]</sup>。本研究同样表明,不同恢复阶段的湿地土壤呼吸具有较明显的日变化特点:对于自然样地,其土

壤 CO<sub>2</sub> 通量的日变化趋势为明显的昼高夜低型单峰曲线,如图 2 所示。比照自然样地,恢复期较长的湿地 CO<sub>2</sub> 通量在绝大多数时刻都高于恢复期较短的湿地,这种差距在恢复第 3 年的湿地上表现尤为明显。不同恢复期的湿地,土壤 CO<sub>2</sub> 通量总体趋势与自然样地相似,但过程差异明显:恢复 1 a 和 3 a 的湿地,日变化趋势呈现明显的单峰曲线特点,以自然样地日峰值出现在 16:00(地方时,下同)为比照,恢复期

1 a 的湿地日峰值出现时间有滞后的趋势,恢复期 3 a(包括 5 a)的湿地日峰值出现时间有提前的趋势。而恢复期为 5 a 的湿地,则表现出双峰型特征,第一

峰值出现在 12:00~13:00 之间,第二峰值出现在 16:00~17:00 之间,且第二峰值的强度都出现在下午(表 2)。

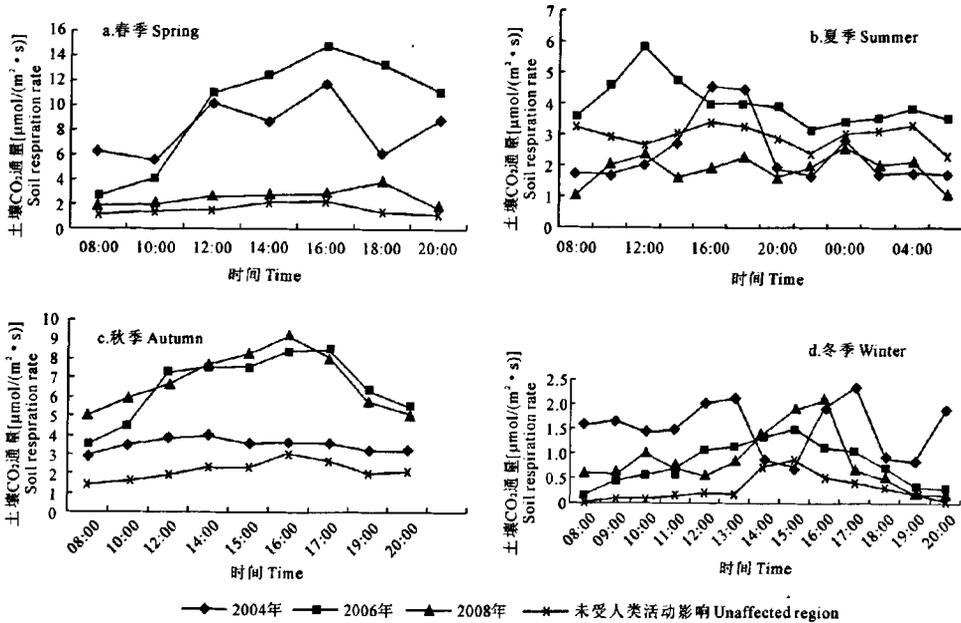


图 2 研究区土壤 CO<sub>2</sub> 通量日过程

Fig. 2 Diurnal characters of soil respiration rate of research region

表 2 不同湿地土壤呼吸强度的最高值[μmol/(m<sup>2</sup>·s)]

Table 2 The diurnal highest soil respiration value of different wetland

样地 Sampling Location	日最高值(春季) Diurnal highest value(Spring)	日最高值(夏季) Diurnal highest value (Summer)	日最高值(秋季) Diurnal highest value (Autumn)	日最高值(冬季) Diurnal highest value (Winter)
2004 年	第一峰值 The first value	10.285	4.529	3.998
		12:00	16:00	14:00
	第二峰值 The second value	11.9		2.136
		16:00		13:00
2006 年	14.77	5.841	8.412	1.518
	16:00	12:00	16:00	15:00
2008 年	3.821	2.679	9.143	2.062
	18:00	00:00	16:00	16:00
对照 CK	2.329	3.421	3.073	0.863
	16:00	16:00	16:00	15:00

注:表内数据上部为极值,下部为出现时间。

Note: The figures above are the highest values, while those below are their occurring time.

退化湿地恢复过程中,土壤 CO<sub>2</sub> 通量的日过程主要取决于土壤温度的变化,日出后随着气温和地温的升高,微生物消耗大量活性碳,生化反应和有机质分解开始加速<sup>[10]</sup>,CO<sub>2</sub> 释放增加,但到正午最热时地表温度可超过 60℃,这造成土壤微生物获取基质困难,并可能使一些与微生物活动相关的酶活性降低甚至被高温杀死,致使根系呼吸作用和微生物

物活动减弱,土壤 CO<sub>2</sub> 通量也随之受到抑制,到 14:00 后气温和土温逐渐下降,土壤微生物的高温胁迫也降低,土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率再次开始渐增,从而在 16:00~18:00 时段形成高峰。不同恢复期日峰值出现的时刻摆动特征可能与研究区气候和土壤的高盐碱、高钙特性有关。

2.3 土壤 CO<sub>2</sub> 通量的季节变化

对于自然状态湿地,其土壤呼吸速率具有明显的单峰型季节变化形式。冬季由于天气严寒,植物地上部分死亡,地下部分进入休眠状态,土壤微生物休眠或活性较低,因而土壤呼吸速率较低;春季随着温度的逐渐升高,土壤化冻,微生物活性增强,土壤呼吸速率也随之升高;进入夏季后,温度持续升高,达到全年的最高值,植物的生理活动也达到最旺盛的状态,土壤微生物活性进一步增强,土壤呼吸速率也因而达到峰值;秋季随着温度的降低,地上植物的枯萎,土壤微生物活性的减弱,土壤呼吸速率逐渐降低,这与多数相关研究结论一致<sup>[1,11]</sup>。

研究区湿地的退化,主要是由于缺水造成的,所以恢复主要采用围堰注水方法,即在每年夏季丰水期,实施注水。因此,在不同恢复时期,其土壤呼吸的季节变化也就具有了自身特征。

对于恢复期 1 a 的湿地而言,具有明显的单峰型季节变化形式。在恢复措施实施前,退化湿地区域为次生裸地,土壤盐渍化现象较为严重,土壤水分含量低,因此,土壤盐分含量较高,加之积水状况决定了土壤厌氧环境的强弱从而影响了土壤中 CO<sub>2</sub> 的产生,这也是春、夏季该区域土壤呼吸未出现峰值的原因。秋季,土壤水分含量有所升高,积水水位下降,土壤的通气状况得到改善,显著地促进了土壤微

生物呼吸作用,导致土壤中 CO<sub>2</sub> 的排放量增加,出现了一年峰值。

对于恢复期 3 a 和 5 a 的湿地而言,则具有明显的双峰型季节变化形式,即分别在春季和秋季出现土壤中 CO<sub>2</sub> 排放峰值,且春季大于秋季。出现这个现象的原因可能是由于,虽然经过长期的流水对土壤表面的冲刷,土壤含盐量有所降低,水分含量升高,植被群落恢复状况良好,但夏季一直保持水淹状态,土壤处于嫌气环境,好氧微生物的活性受到抑制,土壤有机质的分解速率降低,土壤中产生的 CO<sub>2</sub> 减少,因而即使在夏季温度较高的条件下,土壤呼吸速率也处于较低的水平。有关自然湿地的大量研究表明,湿地排水能够引起土壤呼吸作用的增强。所以,秋季实验区水位下降后,土壤的通气状况得到改善,虽然此时气温有所下降,但还维持在 20℃ 左右,处于微生物的活性范围内,显著地促进了土壤微生物呼吸作用,土壤呼吸速率出现了一个排放高峰。春季,除了前述相同原因导致土壤中产生的 CO<sub>2</sub> 升高外,由于经过多年恢复,土壤含盐量有所降低,植被种群数量增加,土壤含水量大,在冬季到来时微生物在冰下仍活动,这时由于地表有冰,CO<sub>2</sub> 释放不出来而存于冰中、冰下。到来年的春季随着冰的融化,CO<sub>2</sub> 才得以释放,两者叠加,使得春季出现了一年当中的峰值(图 3)。

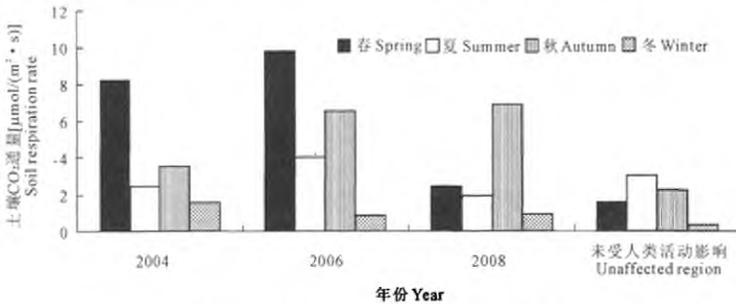


图 3 研究区土壤 CO<sub>2</sub> 通量季节变化特点

Fig.3 Seasonal characters of soil respiration rate in research region

2.4 退化湿地在植被恢复过程中植物群落变化

在退化湿地的植被恢复过程中,主要表现为植被特征显著不同,即湿地恢复第 1 年时群落内物种数为 17 种,第 3 年为 11 种,至第 5 年时仅芦苇 1 种,和未退化湿地物种数一样,形成单优势种,这说明随着退化湿地恢复,群落内物种数逐渐减少,最后形成单一优势种群落。

在恢复的第 1 年和第 3 年时,总生物量没有显

著差异,分别为 479.93 g/m<sup>2</sup> 和 807.99 g/m<sup>2</sup>,恢复的第 5 年生物量达最高,与第 1、第 3 年有显著差异(表 3),为 2 940 g/m<sup>2</sup>,未退化地为 1 579.2 g/m<sup>2</sup>。

随着植被恢复,群落组成结构不同,作为分解者的土壤微生物类群组成、活性也不同,因此,反映出土壤微生物的总体活性和土壤物质代谢的强度,以及表征土壤质量和肥力重要生物学指标的土壤呼吸活性也不同,表现于土壤呼吸速率的差异<sup>[12]</sup>。

表 3 研究区恢复中群落多样性变化

Table 3 Diversity indices of plant community in research region

样地 Sampling location	盖度 Coverage (%)	总生物量 Biological quantity (g/m <sup>2</sup> )	芦苇生物量 Biological quantity of bulrush (g/m <sup>2</sup> )	丰富度指数 Index of abundance	多样性指数 Index of diversity	均匀性指数 Index of uniformity	生长季土壤呼吸平均强度 Average intensity of soil respiration in growing season[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
2004 年	100	2490a	2490a	1	0	0	5.301
2006 年	96.11	807.99b	660.05b	3.33	2.6	0.73	6.927
2008 年	85.89	479.93b	446.56b	4.75	3.1	0.76	2.181
对照 CK	100	1579.2c	1579.2c	1	0	0	2.282

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 字母相同者表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant difference ( $P < 0.05$ ), while the same letters mean insignificant difference ( $P > 0.05$ ).

研究发现,退化湿地在植被恢复过程中土壤呼吸速率逐渐增强,即未受人类活动影响湿地 < 恢复 1 a 的湿地 < 恢复 5 a 的湿地 < 恢复 3 a 的湿地(表 3),表征了土壤中微生物、土壤动物、土壤根系活性、数量逐渐增多,土壤有机质的矿化作用增强,营养元素的循环周期缩短,土壤质量和肥力随着植被恢复而提高的过程。之所以恢复 3 a 的湿地大于恢复 5

a 的湿地,主要是与两个时段中的物种多样性有关。

## 2.5 温度对土壤 CO<sub>2</sub> 通量的影响

温度作为影响土壤呼吸速率的一个重要指标,在许多研究中都备受重视。本研究中对 4 个样地的近地面 10 cm 处土壤温度和地表气温进行了测定,并将其与观测期间各样地的土壤呼吸速率做相关分析(表 4)。

表 4 研究区不同恢复湿地土壤呼吸速率与土壤、地表温度的相关分析

Table 4 The correlation analysis of soil respiration with soil temperature and ground surface temperature

样地 Sampling location	近地面 10 cm 处土壤温度 Soil temperature 10 cm underground				地表气温 Ground surface temperature			
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
2004 年	0.77*	0.55**	0.539**	-0.216	0.298	0.449**	0.392	-0.103
2006 年	0.871*	0.574**	0.915**	0.899**	0.624	-0.26	0.606	0.864**
2008 年	0.445**	0.257	0.725	0.614*	0.59**	0.19	0.236	0.373
对照 CK	0.855*	0.382**	0.887**	0.594	0.583	0.421**	0.792**	0.774

注: \* 表示在 0.05 水平上达到了显著性水平; \*\* 表示在 0.01 水平上达到了极显著水平。

Note: \* means significant difference at 0.05 level, while \*\* means very significant difference at 0.01 level.

分析表明,所有样地的土壤 CO<sub>2</sub> 通量与近地面 10 cm 处气温的相关性明显高于地表温度,说明土壤 CO<sub>2</sub> 通量受温度影响主要局限在土壤表层。这一方面在于土壤温度变化滞后于气温变化,其变化幅度随深度而减小;其次是干旱区土壤微生物活动主要集中在土壤表层。

## 3 讨论与结论

### 3.1 退化湿地不同恢复期土壤 CO<sub>2</sub> 通量的日过程

土壤 CO<sub>2</sub> 通量的日过程主要取决于土壤温度的变化,且土壤 CO<sub>2</sub> 通量越高,其日变幅越大<sup>[13]</sup>,本文结果证实这一规律亦适用于我国西北干旱区不同恢复期的退化湿地,即退化湿地在恢复过程中土壤 CO<sub>2</sub> 通量的日变化趋势仍遵循单峰型特点,但在此

过程中,日峰值出现的时刻呈现出滞后→提前→滞后的摆动特征。

### 3.2 退化湿地不同恢复期土壤 CO<sub>2</sub> 通量的季节变化

研究表明土壤 CO<sub>2</sub> 通量的季节变化与太阳辐射类似,呈先升后降的趋势<sup>[14]</sup>,就北半球而言,通常夏季 6、7 月最高<sup>[15]</sup>,本文自然状态湿地的结果与此相似。不同的是,恢复期较短的湿地,其土壤 CO<sub>2</sub> 通量的季节变化具有单峰型特点,峰值不是在夏季,而是在秋季,其原因在于土壤盐分较高及积水环境。恢复期较长的湿地,其土壤 CO<sub>2</sub> 通量的季节变化呈现双峰型季变化趋势,且春季大于秋季,其原因在于土壤含盐量有所降低,植被种群数量增加,土壤含水量大。

### 3.3 植被对退化湿地不同恢复期土壤 CO<sub>2</sub> 通量的影响

物种适应环境是演替发生的先决条件,早期物种一方面能改善土壤水分状况,另一方面植被覆盖后土壤蒸发大大减少,从而使土壤含盐量下降,土壤环境得到改善。精河入湖口湿地的退化,主要是由于缺水造成的,湿地恢复中,在引水恢复的第1年和第3年,物种数较多,群落结构较为复杂。而在恢复的第5年,芦苇形成单一群落,其覆盖度达100%,结构简单。

植被是决定土壤呼吸排放速率的重要因素<sup>[16]</sup>,因此,退化湿地在植被恢复过程中土壤呼吸速率逐渐增强,且表现出“未受人类活动影响湿地 < 恢复1 a 湿地 < 恢复5 a 湿地 < 恢复3 a 湿地”的特征。

### 3.4 温度对退化湿地不同恢复期土壤 CO<sub>2</sub> 通量的影响

生长季节土壤 CO<sub>2</sub> 通量与月均温、大气温度、地表温度、不同深度地温以及土壤温度和气温的加权平均都有不同程度的关系,但尚无统一的模型来描述二者的关系<sup>[17]</sup>。通常,土壤 CO<sub>2</sub> 通量的变化主要是由土壤温度引起的,土壤湿度的影响很小,原因在于土壤温度能直接影响微生物和根系的代谢活动<sup>[18]</sup>。本文结果表明,在退化湿地的不同恢复阶段,同样是近地面10 cm 土壤温度与土壤 CO<sub>2</sub> 通量的关系最密切。究其原因,一方面是作为微生物分解基质的有机质主要以凋落物形式集中于地表,因而微生物活动主要发生在地表和土壤表层;二是深层土壤的温度变幅较小,且其变化滞后于地表和气温,对微生物分解活动影响相对较小。研究区的气温和地表温度日变幅大,因此地表附近温度的变化能强烈影响到土壤表层微生物活动。

综上,对退化湿地实施科学合理的人工干预,不仅能改变其土壤呼吸的强度,在某种程度上也改变了土壤碳循环过程。只要水源充足,精河入湖口退化湿地经4~5 a 即可恢复到未退化状态。但在干旱地区,对退化湿地恢复阶段小生境的这种小尺度水平土壤呼吸的研究,还须经过更多充分实验揭示其规律。

### 参考文献:

- [1] 江长胜,郝庆菊,宋长春,等.垦殖对沼泽湿地土壤呼吸速率的影响[J].生态学报,2010,30(17):4539-4548.
- [2] 陈蜀江,侯平,李文华,等.新疆艾比湖湿地自然保护区综合科学考察[M].乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2006.
- [3] 王丹,王兵,戴伟,等.杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响[J].生态学报,2011,31(3):680-688.
- [4] 王凤玉,周广胜,贾丙瑞,等.水热因子对退化草原羊草恢复演替群落土壤呼吸的影响[J].植物生态学报,2003,27(5):644-649.
- [5] 谢静霞,翟翠霞,李彦.盐生荒漠与绿洲农田土壤 CO<sub>2</sub> 通量的对比研究[J].自然科学进展,2008,18(3):262-268.
- [6] 崔文采.新疆土壤[M].北京:科学出版社,1996.
- [7] 徐欢欢,曾从盛,王维奇,等.艾比湖湿地土壤有机碳垂直分布特征及其影响因素分析[J].福建师范大学学报(自然科学版),2010,26(5):86-91.
- [8] Wu J, Guan D, Wan G M, et al. Year-round soil and ecosystem respiration in a temperature broad-leaved Korean pine forest[J]. Forest Ecology and Management, 2006,223:35-44.
- [9] 杨建军,吕光辉,张燕,等.艾比湖流域土壤呼吸日变化及水热因子影响[J].新疆农业科学,2009,46(2):223-231.
- [10] Newman, Dianne K, Banfield J F, et al. Geomicrobiology: How molecular scale interactions underpin biogeochemical system[J]. Science,2002,296:1071-1077.
- [11] 杨青,吕宪国.三江平原湿地生态系统土壤呼吸动态变化的初探[J].土壤通报,1999,30(6):254-256.
- [12] 殷士学,宋明芝,封克.免耕法对土壤微生物和生物活性的影响[J].土壤学报,1992,29(4):370-376.
- [13] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. The Botany Review, 1977,43(4):449-528.
- [14] Davidson E A, Belk E, Boone R D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest[J]. Global Change Biology, 1998,4(2):217-227.
- [15] 周广胜,王玉辉,许振柱,等.中国东北样带碳循环研究进展[J].自然科学进展,2003,13(9):917-922.
- [16] 牟守国.温带阔叶林、针叶林和针阔混交林土壤呼吸的比较研究[J].土壤学报,2004,41(4):564-570.
- [17] 张东秋,石培礼,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.
- [18] 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.

(英文摘要下转第243页)

## Soil moisture change and its response to climate change in cropland on the Loess Plateau

JIANG Chong<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>1,2\*</sup>, MU Xing-min<sup>1,2</sup>, HOU Qun-qun<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** We analyzed the temporal evolution tendency characteristics of temperature, precipitation and soil moisture on the Loess Plateau of China and the response of soil moisture to climate change (mainly about temperature and precipitation) by using annual and monthly meteorological data of 91 meteorological stations within and around the Loess Plateau from 1961—2010 and the soil moisture data from 4 agricultural meteorological stations from 1992—2011. The major methods were linear trend analysis and correlation analysis. The results indicated that: (1) The precipitation on the Loess Plateau in recent 50 years declined gradually, while the temperature increased gradually. The geographical distribution characteristics of mean annual precipitation (temperature) was that the southern part was higher than northern part, the eastern part was higher than the southern part. The temperature and precipitation descended from southeast to northwest gradually, which was determined by altitude and terrain. Semiarid and semihumid area had overall southward trend. (2) The change of different year's climate, environment conditions led to the change of top 50 cm soil moisture condition in Xifeng, Changzhi, Yanan, Suide among different years. (3) Soil moisture had a negative feedback to temperature but it had a positive feedback to precipitation. Temperature and precipitation changes were the main reasons of variation of soil moisture on the Loess Plateau. (4) In a case study of Xifeng, the climate change trend and its effect on soil moisture, as well as the evolution of soil moisture were analyzed. During the period between 1991 and 2010, in terms of topsoil moisture, it negatively correlated with temperature but precipitation positively correlated with it. While in terms of the deep soil, the correlation relationship between soil moisture and temperature, precipitation varied depending on the seasons. On the scale of month, soil moisture had a response to climate. There was a negative correlation relationship between temperature and soil moisture, some of them had reached significant level. Actually soil moisture had no obvious response to precipitation, but reached significant level in some months.

**Keywords:** soil moisture; climate change; cropland; response; temperature; precipitation; the Loess Plateau

(上接第 199 页)

## Study on soil respiration characters of degenerative wetland in arid region

WU Zhao-peng<sup>1,2</sup>, MAN Zhong-long<sup>1</sup>, WANG Fan-xia<sup>1</sup>

(1. Department of Geography, Geography and Tourism Science Institute, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;

2. Municipal key laboratory of arid lake environment and resource, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

**Abstract:** The wetland of Jinghe River estuary is a main part of Ebunur Lake wetland. The soil respiration characters of degenerative wetland in this region were studied based on the method of space substituting time. The results indicated that: (1) The trend of diurnal soil respiration was changing from single peak to double peaks during the recovery time. (2) The character of soil respiration which was recovering in short time (only one year) was a single peak curve in autumn. Meanwhile, the character of soil respiration which was recovering in long time (3 ~ 5 years) was a double peak curve in spring and autumn. The value of soil respiration in spring was higher than it was in autumn. (3) The soil respiration rate was enhancing gradually along with the vegetation recovering. (4) The air temperature of 10 cm near surface had close correlation to soil respiration in different recovery period. So the conclusion is that the soil respiration rate will go up along with the more longer recovery time if the sufficient water could be supplied in degenerative wetland. It is possible that the degenerative wetland will come back to the initial status if we can take effective measures.

**Keywords:** degenerative wetland; recovery; soil respiration; arid region