

黄土丘陵区土壤基础呼吸对草地植被恢复的响应及其影响因素*

黄懿梅¹ 安韶山² 刘连杰¹ 薛虹¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部西北农林科技大学水土保持研究所 杨凌 712100)

摘要 为探讨黄土丘陵区草地植被自然恢复过程中土壤微生物活性的变化特征及其影响因素,采用“时空互代”法采集宁夏云雾山自然保护区8个不同植被恢复年限的春、夏两季0~20 cm和20~40 cm的土样,用室内密闭静态培养—碱液吸收法测定了新鲜和风干土样的基础呼吸。结果表明:土壤基础呼吸随植被恢复年限增加呈增加趋势,土壤呼吸强度和累积呼吸量都表现为植被恢复73年和78年较高,而耕地和植被恢复3年最低。采样季节对呼吸强度测定有较大影响,春季土样能更好地反映土壤微生物活性的变化。风干土样可以通过预培养后测定土壤的呼吸作用,且能更加稳定地反映不同土壤之间的差异。在测定土壤基础呼吸时,利用1 d或3 d的培养平均值能更稳定地表现不同土壤的特性。累积呼吸量可较呼吸强度更直观地反映不同土壤的微生物活性。土壤有机质和全氮含量与土壤呼吸强度密切相关。

关键词 植被恢复 土壤呼吸强度 土壤累积呼吸 微生物活性 黄土丘陵区 风干土样
中图分类号: S154.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)05-0862-08

Soil basal respiration response to grass vegetation restoration and its affecting factors in the Loess Hilly-Gully Region

HUANG Yi-Mei¹, AN Shao-Shan², LIU Lian-Jie¹, XUE Hong¹

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

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Ministry of Water Resources and Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract Soil respiration response to different stages of vegetation restoration was determined via closed system measurements of carbon dioxide and selected factors affecting the correctitude and sensitivity of soil respiration. Eight different soil samples under different vegetation restoration stages were separately collected at 0~20 cm and 20~40 cm soil depth in spring and summer and both fresh and air-dried samples analyzed. The results show that the period of vegetation restoration significantly influences soil basal respiration (SBR), which logarithmically increases with vegetation recovery time. Measurements of equivalent daily respiration (EDR) and cumulative respiration (CR) show that respirations in 73- and 78-year recovery sites are highest, while those in farmland and 3-year recovery sites are lowest. SBR is distinctly different for the spring and summer samples. SBR of spring samples better reflect soil basal microbial activity. Air-dried soils can be used for measuring SBR after pre-incubation, more stably reflecting difference among soils. 1 or 3-day EDR mean data can better reflect soil quality. CR more directly and clearly reflects microbial activities of different soil types than EDR. There is a positive correlation between SBR and soil organic carbon and nitrogen content.

Key words Vegetation restoration, Equivalent daily respiration, Cumulative respiration, Microbial activity, Loess Hilly-Gully Region, Air-dried soil sample

(Received June 20, 2008; accepted Dec. 6, 2008)

* 国家自然科学基金项目(40701095)、“十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BCA01A07)和陕西省自然科学基金项目(2007D12)资助
黄懿梅(1971~),女,博士,副教授,主要从事土壤微生物生态与固体废物处理的研究。E-mail: ymhuang1971@nwsuaf.edu.cn

收稿日期: 2008-06-20 接受日期: 2008-12-06

土壤呼吸一般指土壤中有代谢作用的活实体, 在代谢过程中吸收 O₂ 和释放 CO₂ 的过程^[1], 包括 3 个生物学过程(植物的根系呼吸、土壤微生物的异氧呼吸以及土壤动物呼吸)和 1 个非生物学过程(含碳物的化学氧化过程)^[2]。其中, 土壤微生物呼吸和根系呼吸是土壤呼吸的主要组分。采集土样在室内测定的主要是土壤微生物呼吸, 测定方法有静态密闭培养测定和动态连续测定^[1]。在测定过程中, 不加基质直接测定的是基础呼吸, 加入易降解基质后测定的是基质诱导呼吸(Substrate-induced respiration SIR)^[1,3]。国际上用土壤呼吸评价土壤微生物活性的标准方法有基质诱导呼吸(OECD, 2000)^[4]或基础呼吸和基质诱导呼吸相结合(ISO, 2002)^[5]。有人认为基质诱导呼吸能较好地反映土壤微生物的活性, 也有人认为因为基质的加入会造成一定的呼吸假相, 基础呼吸能够更好地说明土壤微生物活性^[3,6]。

土壤呼吸强度可反映土壤中有机的分解和土壤微生物总的活性, 是评价土壤肥力和农药环境安全性的一项重要指标^[1,7], 目前被很多人用于指示重金属和农药污染以及土地利用转化等方式对土壤质量的影响^[6-12]。但是, 有关黄土丘陵区草地植被自然恢复过程中土壤呼吸的响应特征研究较少, 土壤微生物呼吸测定时所用土样的状态、培养时间以及结果的表达方式等还不完全一致。为此, 本研究采用静态密闭培养-碱液吸收法, 测定黄土丘陵区草地植被自然恢复不同阶段下土壤基础呼吸的变化规律, 并比较新鲜和风干样及不同季节的测定结果, 探讨土壤基础呼吸对草地植被恢复的响应及其影响因素。

1 材料和方法

1.1 采样区概况

云雾山草原自然保护区位于宁夏回族自治区固原县东北部, 东经 106°25'~106°29', 北纬 36°14'~36°20', 南北长 11 km, 东西宽 5.5 km, 总面积约 4 000 hm², 除村庄、道路和农田外, 可保护草原面积 3 400 hm²(包括 133 hm²灌丛)。该区为黄土覆盖的低山丘陵区, 海拔 1 800~2 148 m, 大部分在 2 000 m 以下。年均气温 4~6 , 1 月份平均气温-14 , 7 月份平均气温 22~25 , 无霜期 112~137 d, 年均降水量 400~450 mm。土壤为山地灰褐土和浅黑垆土。保护区划分为核心区、缓冲区和试验区 3 部分: 核心区面积 1 130 hm², 居保护区中偏北部; 缓冲区 1 000 hm², 在保护区南端; 试验区 1 879 hm², 从保护区南端起沿南、东、北 3 面围于核心区 and 缓冲区之外。此外, 在保护区外还有 500 hm²的外围保护地带^[13]。保护区植物以草原植物为主, 包括长芒草(*Stipa bungana* Trin. Ledeb)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis* L.)、百里香(*Thymus mongolicus* Ronn)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum* Ledeb.)等, 主要分布在保护区的中心地带海拔 1 800~2 120 m 的阳坡、半阳坡、半阴坡及梁顶。

1.2 采样方法

本研究采用“时空互代”法, 分别在自然保护区的不同区域选择植被恢复过程中不同恢复年限的 8 个典型样地(表 1)。分别于 2005 年 4 月和 7 月采集 0~20 cm 和 20~40 cm 两层土样, 在面积大约为 100 m×

表 1 供试样地主要植被与基本情况
Tab. 1 The geographical and vegetation information of sampling sites

恢复年限 Recovery time (a)	优势种 Dominant species	主要伴生种 Accompanying species	海拔 Elevation (m)	坡度 Slope gradient (°)
78	大针茅 <i>Stipa grandis</i> P. Smirn.	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> Willd. 星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i> L. 花苜蓿 <i>Medicago ruthenica</i> (Linn.) Trautv 窄裂委陵菜 <i>Potentilla angustiloba</i> Yu et Li	2 020	12
73	长芒草 <i>Stipa bungana</i> Trin. Ledeb	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i> Ledeb. 百里香 <i>Thymus mongolicus</i> Ronn. 赖草 <i>Leymus secalinus</i> (Georgi) Tzvel. 二裂叶委陵菜 <i>P. bifurca</i>	2 040	15
58	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i> 长芒草 <i>S. bungana</i>	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i> (Willd.) Novopokr. 百里香 <i>T. mongolicus</i>	2 040	10
23	百里香 <i>Thymus mongolicus</i> Ronn. 长芒草 <i>S. bungana</i>	大针茅 <i>Stipa gradiss</i> 铁杆蒿 <i>A. sacrorum</i> 二裂叶委陵菜 <i>P. bifurca</i>	2 040	10
15	百里香 <i>T. mongolicus</i> 长芒草 <i>S. Bungana</i>	白颖苔草 <i>Carex rigescens</i> (Franch.) V. Krecz 花苜蓿 <i>Medicago ruthenica</i> (Linn.) Trautv 糙叶黄芪 <i>Astragalus scaberrimus</i> Bunge	1 940	11
9	香茅草 <i>Leymus secalinus</i> (Georgi) Tzvel. 百里香 <i>T. mongolicus</i>	猪毛蒿 <i>A. scoparia</i> 二裂叶委陵菜 <i>P. bifurca</i>	1 908	10
3	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et Kit. 二裂叶委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> L.	阿尔泰狗娃花 <i>H. altaicus</i> 百里香 <i>T. mongolicus</i> 长芒草 <i>S. bungana</i> .	1 940	2
CK	玉米 Maize		1 908	2

表 2 供试土壤 0~20 cm 和 20~40 cm 土层化学性质
Tab. 2 Characteristics of soil chemical properties in 0~20 cm and 20~40 cm layers

恢复年限 Recovery time (a)	层次 Soil layer (cm)	有机碳 Organic carbon (g · kg ⁻¹)	全氮 Total N (g · kg ⁻¹)	碱解氮 Available N (mg · kg ⁻¹)	pH	电导率 Electric conductivity (μS)
78	0~20	24.74	2.51	167	7.71	145.6
	20~40	20.71	2.26	125	7.90	122.1
73	0~20	30.05	2.31	141	7.57	152.9
	20~40	21.94	1.96	117	7.58	155.0
58	0~20	22.73	2.47	167	8.00	124.0
	20~40	19.82	2.20	142	8.07	118.0
23	0~20	26.73	2.02	174	7.81	160.5
	20~40	22.96	1.92	130	7.80	159.4
15	0~20	13.80	1.27	91	7.99	139.9
	20~40	6.70	0.61	32	8.14	117.5
9	0~20	15.40	1.39	53	7.88	125.8
	20~40	8.23	0.74	43	8.02	117.9
3	0~20	5.11	0.41	24	7.98	122.7
	20~40	4.41	0.42	50	8.03	102.4
CK	0~20	3.39	0.33	13	8.09	111.2
	20~40	4.93	0.41	26	8.07	104.7

100 m 的样地内, 采用“S”型多点采集混和样, 每个处理两个重复, 用塑料自封袋带回实验室。供试土壤基本理化性质见表 2。新鲜土样采回后, 过 2 mm 筛, 分成两份, 一份于 4 °C 保存, 一份风干备用。

1.3 测定方法

土壤呼吸采用改进的室内密闭培养法, 称取 50 g 土样于 500 mL 广口瓶中, 调节土壤含水量为田间持水量的 50%; 将盛有 5 mL 0.1 mol · L⁻¹ NaOH 溶液的吸收瓶小心悬挂在土壤的上方。密封广口瓶口后于 25±1 °C 恒温培养 24 h, 然后将 NaOH 完全转移于 100 mL 三角瓶中, 加入 1 mol · L⁻¹ BaCl₂ 2 mL 和酚酞指示剂 2 滴, 用 0.05 mol · L⁻¹ 的标准盐酸滴定至红色消失。同时, 以 20 mL 蒸馏水代替土壤作为对照, 每处理重复 3 次。土壤理化性质采用常规分析方法。数据处理采用 EXCEL2003 进行。

2 结果与分析

2.1 不同植被恢复时期的土壤呼吸强度和累积呼吸量的变化

土壤微生物呼吸的表述有两种方式, 一种是土壤呼吸强度, 即单位土壤培养过程中每天产生的 CO₂ 量, 常用 mg(CO₂-C) · 100g⁻¹ · d⁻¹ 或者 mg(CO₂-C) · kg⁻¹ · d⁻¹ 表示。另一种是土壤累积呼吸量, 即单位土壤培养过程中产生的 CO₂ 随培养时间的累积量, 常用 mg(CO₂-C) · 100 g⁻¹ 或者 mg(CO₂-C) · kg⁻¹ 表示^[6]。通常主要用新鲜土样测定土壤呼吸, 但也可用风干样预培养后测定^[8-10]。植被恢复不同阶段春

季和夏季 0~20 cm 与 20~40 cm 土样的土壤呼吸强度和土壤累积呼吸量分别见图 1 和图 2 所示。

由图 1a 可以看出, 春季新鲜和风干土样中呼吸强度的变化趋势一致, 都随着培养时间的延长逐渐下降。培养第 1 d 的呼吸强度表现出新鲜土样明显高于风干土样; 在培养过程中, 鲜样各天呼吸强度的变化幅度较大, 而风干样则表现为缓慢下降, 波动较小。不同植被恢复年限土壤呼吸强度有明显差距, 尤其是在培养的第 1 d, 差距较明显, 基本上表现为植被恢复 73 年最高, 然后是 78 年和 58 年, 恢复当年(CK)最低。风干样的土壤呼吸强度随着植被恢复年限的增加明显增加。图 1b 则更加明显地显示不同土壤间呼吸作用的区别, 新鲜土样的规律不是很明显, 而 0~20 cm 和 20~40 cm 风干土样的呼吸累积量都分为 3 个明显的层次: 植被恢复 78 年、73 年和 58 年较高, 其次是 23 年、15 年和 7 年, 3 年和恢复当年较低(CK)。

夏季土样微生物呼吸强度在培养过程中的变化趋势与春季土样相同(图 2a)。鲜样的土壤呼吸强度在培养第 1 d 明显高于风干样; 0~20 cm 土层明显高于 20~40 cm。新鲜土样的呼吸强度在培养的前 3 d 明显直线下降, 而后又有所回升, 培养 7 d 后趋于稳定; 风干样则除第 2 d 明显下降外, 其余时间都呈缓慢下降趋势, 并且上下两层都在培养的第 9 d 基本趋于稳定。第 1 d 的呼吸强度基本上都表现为植被恢复 23 年值最高, 然后是 15 年、58 年或 78 年与 73 年, 3 年或恢复当年(CK)值最小。累积呼吸量一定程度上表现为随着植被恢复年限的增加而升高(图

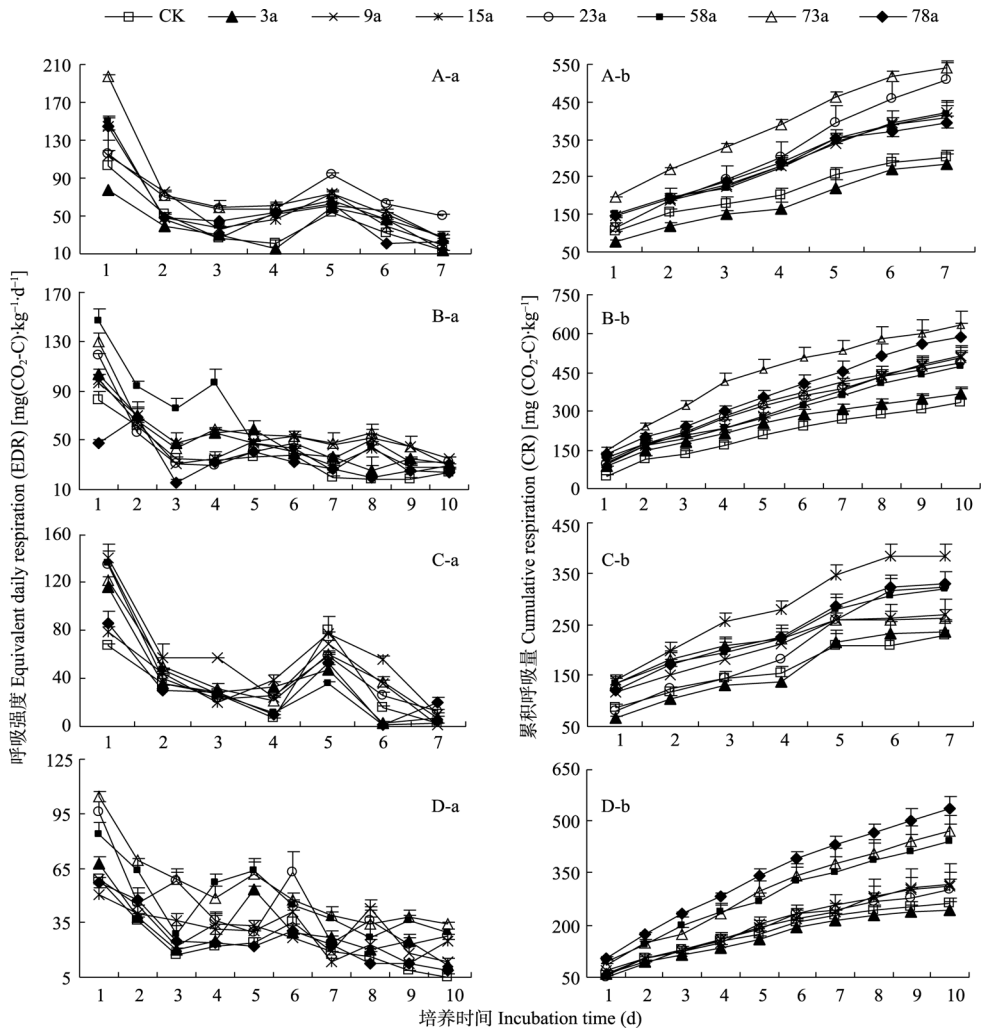


图 1 不同植被恢复时间春季 0~20 cm(A、B)和 20~40 cm(C、D)土层新鲜土样(A、C)和风干土样(B、D)培养测定的呼吸强度(a)与累积呼吸量(b)的变化

Fig. 1 Changes of equivalent daily respiration (a) and cumulative respiration (b) during the incubation of fresh soil (A, C), air-dried soil (B, D) 0~20 cm (A, B), 20~40 cm (C, D) deep sampled at spring at different vegetation recovery times

2b)。0~20 cm 土壤鲜样测定值由高到低依次为 15 a>9 a>23 a>78 a>58 a>73 a>3 a>0 a(CK), 风干样则为 78 a>23 a>15 a>58 a>73 a>9 a>3 a>0 a(CK), 规律不完全一致。20~40 cm 鲜样和风干样测定值都表现为 58 年或 23 年最高, 其次是 73 年、78 年, 然后是 15 年和 9 年, 最小的是 3 年和恢复当年。可以看出, 用呼吸强度和累积呼吸量表示土壤呼吸各有优势, 呼吸强度可以反映培养过程中微生物活性的动态变化, 而累积呼吸量能更直观地反映不同土壤间微生物活性的差异。

2.2 土壤呼吸强度对不同植被恢复阶段的响应

由图 3A、B 可以看出, 春季土壤呼吸强度基本上随着植被恢复年限的增加上升, 特别是在植被恢

复的前 15 年, 呼吸强度增加明显, 而后缓慢增加, 并且在植被恢复 70 年左右达到峰值, 然后有下降趋势, 或趋于稳定。风干样测定的呼吸强度与植被恢复时间的线性相关性更显著, 特别是 20~40 cm 土层的呼吸强度随植被恢复年限的增加呈线性升高。

在植被恢复的前 23 年, 夏季土壤呼吸强度随着植被恢复时间的增加明显上升, 而后缓慢下降, 70 年后又缓慢上升(图 3C、D)。0~20 cm 土层的土壤呼吸强度(1 d)与植被封育时间的对数相关关系很弱; 20~40 cm 土层中, 风干样测定的土壤呼吸强度随植被恢复时间增加呈较明显对数增加。

2.3 培养时间对土壤呼吸强度测定结果的影响

土壤基础呼吸常用培养 24 h 的测定值表示, 也

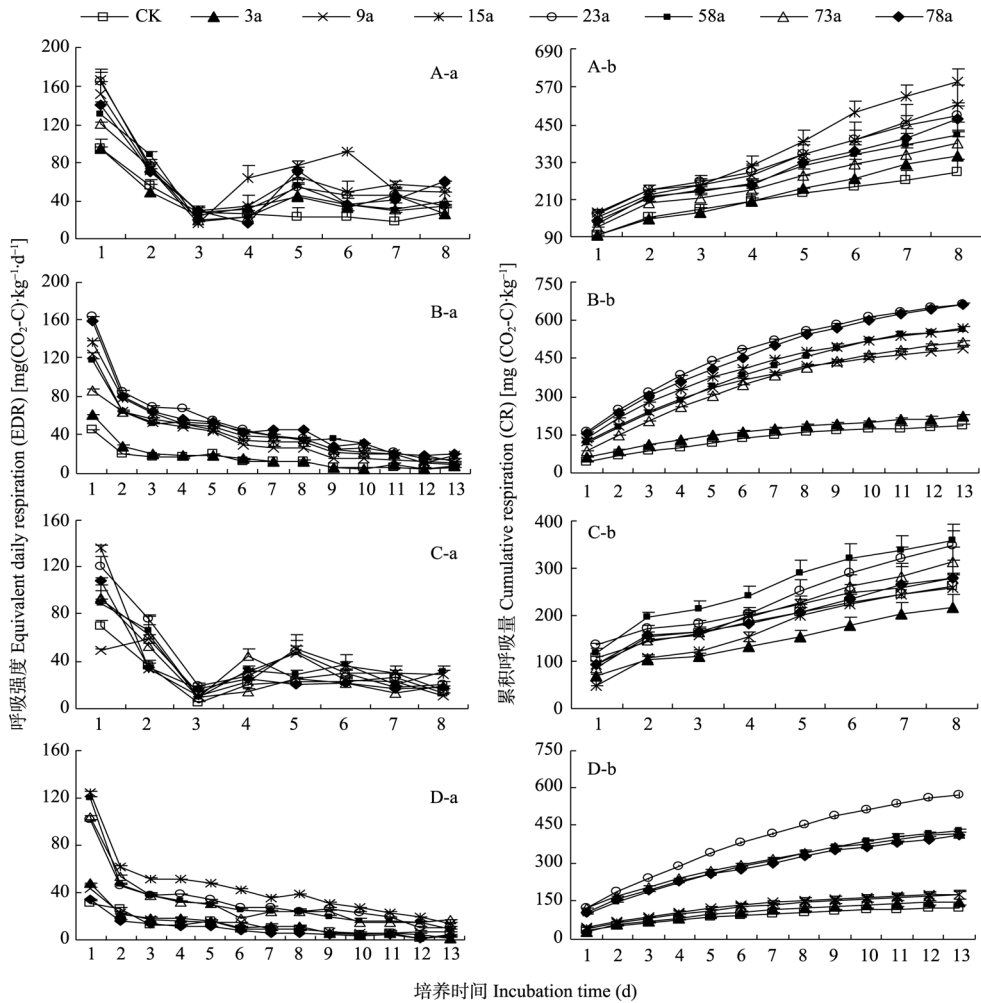


图 2 不同植被恢复时间夏季 0~20 cm(A、B)和 20~40 cm(C、D)土层新鲜土样(A、C)和风干土样(B、D)培养测定的呼吸强度(a)与累积呼吸量(b)的变化

Fig. 2 Changes of equivalent daily respiration (a) and cumulative respiration (b) during the incubation of fresh soil (A, C), air-dried soil (B, D) 0~20 cm (A, B), 20~40 cm (C, D) deep sampled at summer at different vegetation recovery times

有采用培养 3 d^[8,9]和 7 d^[14], 或者培养 10 d^[11]或更长时间^[12]的测定值表示。比较培养 1 d、3 d 和 7 d 的春季土壤基础呼吸强度的平均值与植被恢复时期的相关性发现, 新鲜土样的呼吸强度随植被恢复年限增加而升高的线性相关系数在 0~20 cm 和 20~40 cm 层次都表现为 1 d、3 d、7 d 依次递减, 0~20 cm 土层的 r 值分别为 0.802 7**、0.686 6**、0.626 8**, 20~40 cm 土层的 r 值分别为 0.604 0*、0.463 9*、0.286 7。风干土样 0~20 cm 土层的变化规律同上, r 值分别为 0.866 0**、0.752 6**、0.749 3**, 而 20~40 cm 土层却表现为随着 1 d、3 d、7 d 依次增加, r 值分别为 0.879 3**、0.920 0**、0.972 7**。

夏季鲜样的呼吸强度与植被恢复时间的线性相关系数都是 3 d 最大, 0~20 cm 和 20~40 cm 土层分别

为 0.268 3 和 0.529 6*。风干样的呼吸强度随着植被恢复时间的增加有较明显升高, 线性相关系数在 0~20 cm 土层表现为 1 d、3 d、7 d 依次增大, 分别为 0.371 2、0.455 4*、0.553 9*; 而在 20~40 cm 土层则表现为依次减小, 分别为 0.794 1**、0.757 8**、0.684 4**。可见, 培养 24 h 所测得的呼吸强度基本上都随植被恢复时间的延长而呈显著线性增加趋势, 能更好地反映植被恢复对土壤微生物活性的影响。

2.4 采样季节和土样状态对土壤微生物呼吸的影响

由表 3 可以看出, 春夏两个季节新鲜样和风干样测定的平均呼吸强度基本上呈显著正相关关系。其中, 0~20 cm 土层用培养 3 d 的平均结果表示相关性最高; 其次是培养 1 d 的结果; 而在 20~40 cm 土

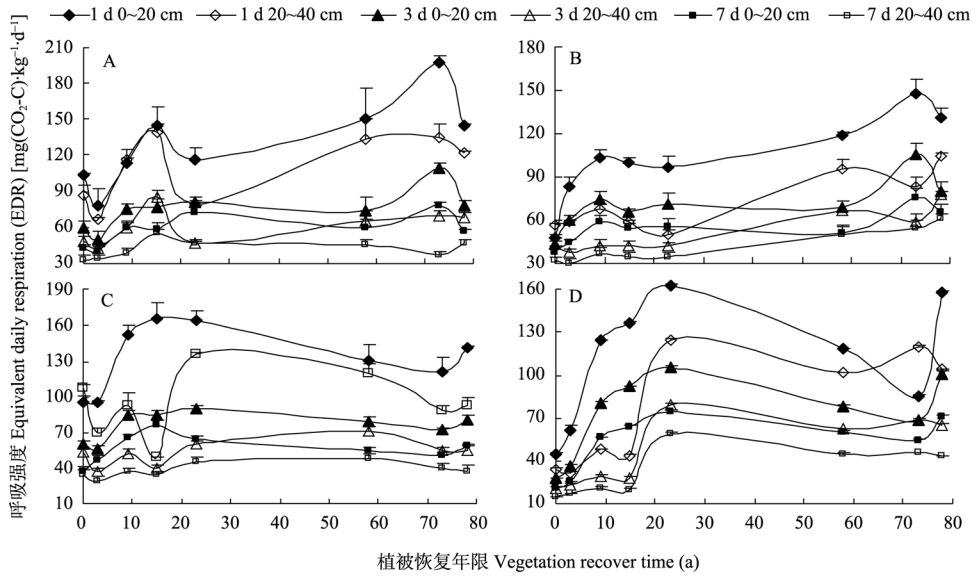


图 3 春季(A、B)和夏季(C、D)采集的 0~20 cm、20~40 cm 新鲜土样(A、C)和风干土样(B、D)的平均呼吸强度随植被恢复年限的变化

Fig. 3 Changes of equivalent respiration in fresh soil (A, C), air-dried soil (B, D) 0~20 cm, 20~40 cm deep sampled at spring (A, B), summer (C, D) with different vegetation recovery time

表 3 不同季节鲜样与风干样平均呼吸强度之间的相关系数 (n=8)

Tab. 3 Correlations of the equivalent respirations between fresh and air-dried samples at different seasons

采样季节/样品状态		土样层次	培养 1 d	培养 3 d	培养 7 d
Sampling time/sample condition		Soil depth (cm)	Incubation for 1 day	Incubation for 3 day	Incubation for 7 day
新鲜样与风干样 Fresh sample and air-dried sample	春季 Spring	0~20	0.804 3**	0.886 7**	0.806 8**
		20~40	0.607 5**	0.391 9	0.223 5
	夏季 Summer	0~20	0.911 5**	0.947 4**	0.754 9**
		20~40	0.568 6*	0.675 5**	0.820 1**
春季与夏季样品 Samples in spring and summer	新鲜样 Fresh sample	0~20	0.274 2	0.476 4*	0.428 2
		20~40	-0.260 9	0.001 1	0.384 9
	风干样 Air-dried sample	0~20	0.487 1*	0.461 6*	0.640 2**
		20~40	0.492 4*	0.601 1*	0.565 8*

层中, 两个季节表现不一致。总之, 鲜样与风干样对呼吸强度的影响并不大, 用风干样也可以得到土壤呼吸强度的相同变化趋势。风干土样通过预培养后测定的土壤基础呼吸能够更加稳定地反映不同土壤之间的区别。

春季和夏季土壤平均呼吸强度相关性不明显, 用风干样培养 7 d 或 3 d 测定的平均值相关性相对较高。同样的土壤, 在不同季节采集测定, 变化趋势明显不同, 说明采样季节对测定呼吸强度有着较大影响。有人认为这主要与不同季节土壤中水分含量不同有关^[15], 但植被的生长状况也不可忽视, 春季植被还没有完全成长好, 而夏季植被生长旺盛, 根系的影响较大^[16,17]。可见, 春季土样能更好地反映土壤微生物活性的变化, 风干土培养 3 d 的平均呼吸强度能更准确地反映土壤微生物活性。

3 讨论

一般而言, 土壤微生物呼吸能有效地指示土壤微生物的活性, 在土壤质量健康中占有重要地位^[18], 是评价土壤质量的关键指标^[19,20]。在植被恢复的不同阶段, 土壤微生物呼吸明显不同, 且表现出呼吸强度随着植被恢复年限的增加以指数关系增加。说明随着植被封育时间的延长, 土壤微生物总的活性有增加的趋势, 这与蒋平安等^[21]的研究结果一致。植被恢复对土壤微生物活性的改变主要与植物根系分泌物中提供的可利用碳含量有关, 也受微生物对营养物质的矿化和固定作用的净平衡影响^[22]。草地植被自然恢复过程中, 由于植被覆盖度和返还土壤的植被量的逐渐增大以及植物根系的变化, 使土壤微生物活性逐渐得到改善。

表 4 不同季节与土样状态的基础呼吸与土壤化学性质之间的相关系数($n=8$)

Tab. 4 Correlations between the soil basal respiration and soil chemical properties in fresh and air-dried samples in different seasons

采样季节 Sampling time	样品状态 Sample condition	土层 Soil depth (cm)	有机碳 Organic carbon	全氮 Total N	碱解氮 Alkali-hydrolysis N	pH	电导率 Electric conductivity
春季 Spring	鲜样 Fresh sample	0~20	0.850 3**	0.730 8**	0.641 3**	-0.820 6**	0.722 2**
		20~40	0.173 9	0.235 8	0.076 5	0.021 5	0.119 6
	风干样 Air-dried sample	0~20	0.834 6**	0.732 2**	0.603 6*	-0.934 7**	0.702 9**
		20~40	0.674 7**	0.812 0**	0.715 1**	-0.285 2	0.156 8
夏季 Summer	鲜样 Fresh sample	0~20	0.637 3**	0.647 1**	0.654 4**	-0.299 4	0.602 7
		20~40	0.715 5**	0.749 6**	0.741 2**	-0.241 5	0.385 0
	风干样 Air-dried sample	0~20	0.740 0**	0.755 0**	0.786 2**	-0.460 5	0.743 8**
		20~40	0.992 2**	0.946 7**	0.949 8**	-0.709 1**	0.824 9**

Wang 等^[14]认为在合适的温度和水分条件下,土壤基础呼吸更多地取决于基质的利用性; Salifou 等^[16]发现最高的基础呼吸是由较高的有机碳和氮投入得到的; Teklay 等^[23]认为限制微生物活性的因素依次是可利用有机碳、氮和磷; Ludwig 等^[24]则发现草地生态系统主要受氮素的限制。对两个季节鲜样与风干样测定的土壤基础呼吸与土壤化学性质进行相关分析(表 4)表明,土壤基础呼吸几乎与土壤有机碳、全氮和碱解氮都呈极显著正相关关系,其中有机碳的影响最明显,其次是全氮。与 pH 值似乎有负相关关系,电导率也有一定影响。说明土壤性质是相互影响的,土壤理化性质的改变必然会影响到土壤微生物的生长和代谢。

总体上,土壤基础呼吸的风干样测定结果与土壤化学性质的相关系数较鲜样高,说明风干样在反映土壤微生物活性时,较新鲜土样更加稳定,可能与新鲜土样受植物根系的影响更大有关。另外,不同季节土壤基础呼吸与土壤化学性质间的相关性也有所不同,说明随着植物生长季节及植物群落的不同,土壤呼吸作用强度有很大差异。

4 结论

土壤基础呼吸可一定程度上反映植被恢复对土壤微生物活性的影响,土壤呼吸强度随着植被恢复年限的增加呈对数增加趋势。与呼吸强度相比,累积呼吸量可更直观地反映不同土壤的微生物活性。风干土样可以通过预培养后测定土壤的呼吸作用,能够更加稳定地反映不同土壤之间的差别。采样季节对测定呼吸强度有着较大影响,春季土样能更好地反映土壤微生物活性的变化。培养 1 d 所测得的呼吸强度能更好地反映植被恢复对土壤微生物活性的影响;风干土培养 3 d 的平均呼吸强度能更准确地反映土壤微生物活性。土壤有机质和全氮含量与土壤基础呼吸密切相关。

参考文献

- [1] Schinner F., Ohlinger R., Kandeler E., *et al.* Methods in Soil Biology[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1996: 93-94
- [2] Singh J. S., Gupta S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. The Botanical Review, 1977, 43: 449-528
- [3] Van Beelen P., Doelman P. Significance and application of microbial toxicity tests in assessing ecotoxicological risks of contaminants in soil and sediment[J]. Chemosphere, 1997, 34(3): 445-499
- [4] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Soil Microorganisms: Carbon Transformation Test[R]. Reference Number No. 217, 2000(E)
- [5] ISO (International Organisation for Standardisation). Soil Quality-Determination of Abundance and Activity of Soil Microflora Using Respiration Curves[R]. Switzerland: Reference Number ISO 17155, 2002(E)
- [6] Montserrat G., Martí E., Sierra J., *et al.* Discriminating inhibitory from enhancing effects in respirometry assays from metal polluted-sewage sludge amended soils[J]. Applied Soil Ecology, 2006, 34(1): 52-61
- [7] 周瑛, 刘维屏, 叶惠娜. 异丙甲草胺及其高效体对潮土微生物的影响. 土壤呼吸[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1305-1309
- [8] Zimmermann S., Frey B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: Effects of wood ash[J]. Soil Biol. Biochem., 2002, 34: 1727-1737
- [9] Lazzaro A., Schulin R., Widmer F., *et al.* Changes in lead availability affect bacterial community structure but not basal respiration in a microcosm study with forest soils[J]. Science of The Total Environment, 2006, 371(1/3): 110-124
- [10] Martiniello P. Biochemical parameters in a Mediterranean soil as effected by wheat-forage rotation and irrigation[J]. European Journal of Agronomy, 2007, 26(3): 198-208
- [11] Sicardi M., Garcia-Préchal F., Frioni L. Soil microbial indi-

- cators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay[J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27(2): 125-133
- [12] Moreno J. L., Aliaga A., Hernández N. S. T., *et al.* Effects of atrazine on microbial activity in semiarid soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(1): 120-127
- [13] 宁夏云雾山草原自然保护区管理处. 宁夏云雾山自然保护区科学考察与管理文集[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2001
- [14] Wang W. J., Dalal R. C., Moody P. W., *et al.* Relationship of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2003, 35: 273-284
- [15] Zornoza R., Guerrero C., Mataix-Solera J., *et al.* Assessing the effects of air-drying and rewetting pre-treatment on soil microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soluble carbon under Mediterranean conditions[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2007, 43(2): 120-129
- [16] Traoré S., Thiombiano L., Millogo J. R., *et al.* Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *Acacia* spp. in eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(3): 660-669
- [17] Liu H. S., Li L. H., Han X. G., *et al.* Respiratory substrate availability plays a crucial role in the response of soil respiration to environmental factors[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 32(3): 284-292
- [18] Oliveira O. C., Oliveira I. P., Alves B. J. R., *et al.* Chemical and biological indicators of decline/Degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 103: 289-300
- [19] 张平究, 李恋卿, 潘根兴, 等. 长期不同施肥下太湖地区黄泥土表土微生物碳氮量及基因多样性变化[J]. *生态学报*, 2004, 24(12): 2818-2824
- [20] Bardgett H., Shine A. Linkages between plant litter diversity: Soil microbial biomass and ecosystem function in a temperate grassland[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1999, 31: 317-321
- [21] 蒋平安, 罗明, 蒋永衡, 等. 不同种植年限苜蓿地土壤微生物区系及商值(qMB, qCO₂) [J]. *干旱区地理*, 2006, 29(1): 115-119
- [22] Hobbie S. E. Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra[J]. *Ecol. Monogr.*, 1996, 66: 503-522
- [23] Teklay T., Nordgren A., Malmer A. Soil respiration characteristics of tropical soils from agricultural and forestry land-uses at Wondo Genet (Ethiopia) in response to C, N and P amendments[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2005, 36: 777-786
- [24] Ludwig F., Kroon H., Berendse F., *et al.* The influence of savanna trees on nutrient, water and light availability and the understorey vegetation[J]. *Plant Ecol.*, 2004, 70(1): 93-105

欢迎订阅 2010 年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办，中国科学院主管，科学出版社出版。中文核心期刊、中国科技核心期刊，被美国化学文摘、国际农业生物学文摘、哥白尼索引、美国乌利希国际期刊指南以及中国科学引文数据库、中国期刊全文数据库等多家检索系统和数据库收录。荣获第三届、四届全国农业优秀期刊一等奖和首届北方优秀期刊奖，连续三届获得河北省优秀期刊奖。

《中国生态农业学报》主要报道农业生态学、生态学、农业资源与环境保护、农业生态经济学及生态农业建设等领域创新性研究成果。适于从事农业生态学、生态学、生态经济学以及环境保护等领域科技人员、高等院校有关专业师生、农业及环境管理工作者和基层从事生态农业建设的广大技术人员阅读与投稿。

《中国生态农业学报》国内外公开发行，国内刊号 CN13-1315/S，国际刊号 ISSN1671-3990。双月刊，国际标准大 16 开本，192 页，每期定价 35 元，全年 210 元。邮发代号：82-973，全国各地邮局均可订阅。漏订者可直接汇款至编辑部补订(需另加邮资 24.00 元)。

地址：(050021)河北省石家庄市槐中路 286 号 《中国生态农业学报》编辑部

电话：(0311)85818007

传真：(0311)85815093

网址：http://www.ecoagri.ac.cn

E-mail：editor@sjziam.ac.cn