

# 人为干扰条件下草场土壤呼吸研究

葛楠, 崔向新, 韩彦隆, 张琪, 张静

(内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘 要:**为了研究典型草原上人为干扰对径流小区土壤呼吸的影响,现以2013年建立在锡林河流域内的径流小区及天然放牧草地为研究对象,用ADC土壤呼吸仪测定不同坡位的土壤呼吸日动态。结果表明:不同坡位的土壤温度和呼吸日动态均呈现明显的单峰曲线,峰值出现在13:00—14:30;不同坡位平均土壤呼吸速率顺序为径流小区坡顶( $2.61 \pm 0.80$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  > 径流小区坡底( $1.51 \pm 0.32$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  > 天然放牧草地坡顶( $1.31 \pm 0.68$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  > 天然放牧草地坡底( $0.75 \pm 0.25$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,且差异显著( $P < 0.05$ );单变量模型中指数方程较好的解释了土壤呼吸与土壤温度的关系, $R^2$ 值分别为0.76、0.78、0.87和0.70, $Q_{10}$ 值分别为1.68、1.59、2.17和1.91;土壤温度和水分的线性双变量模型 $R=a+bT+cW$ 可以更好的表示水热因子对土壤呼吸的影响, $R^2$ 值可以达到0.82~0.89。

**关键词:**土壤呼吸;土壤温度和水分;关系模型;锡林河流域草原

**中图分类号:**S 155.4<sup>+</sup>7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)12-0173-07

草地生态系统是我国面积最大的陆地生态系统,在我国所占面积可达到近4亿 $\text{hm}^2$ ,约占我国国土总面积的41.7%,其中可被利用的草原面积约3.3亿 $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。多种因素影响着草地生态系统土壤呼吸过程,所以决定了草地生态系统土壤呼吸的复杂性,表现出明显昼夜、月份、年际变化<sup>[2]</sup>。植被类型、净生态系统生产力、地上和地下生物量的分配、叶面积指数、枯落物、种群和群落的相互作用<sup>[3]</sup>与土壤动物<sup>[4]</sup>等因子是影响土壤呼吸生物学过程的主要因子,土壤温度、土壤湿度、降水、土壤C和N含量、土壤孔隙度、土壤—植被—大气系统间的 $\text{CO}_2$ 浓度梯度<sup>[5]</sup>、pH<sup>[6]</sup>和风速<sup>[7]</sup>等影响土壤呼吸非生物学过程的主要因子;土地利用、施肥和采伐<sup>[8]</sup>等是影响土壤呼吸过程的主要人为因素。草地生态系统有机碳绝大部分集中于表层土壤中。

草地有多种利用方式,其中最主要的3种是放牧、割草和围封。不同的草地利用方式决定了地表植被的特征,同时也影响了土壤环境(如温度、含水量和透气性等)及其养分,从而进一步决定了植物碳分配模式和土壤微生物代谢等过程,最终对草地生态系统的碳循环过程产生影响。因此,研究草地土壤呼吸的野外试验和对

方法论进行探讨对我国乃至全球的碳源、碳汇的研究都具有重要的科学意义。

该研究以内蒙古锡林河流域典型草原为研究区域,通过监测、对比该区域内设置于2013年的径流小区(人为干扰草地)与放牧区间不同坡位土壤呼吸日动态变化,结合土壤表层水热条件分析土壤呼吸特性,研究人为干扰对锡林河流域草原土壤呼吸的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

研究区域位于内蒙古锡林河流域锡林河水库内,地理坐标为东经 $115^{\circ}13' \sim 117^{\circ}06'$ ,北纬 $43^{\circ}02' \sim 44^{\circ}52'$ 。锡林河流域草原是我国北方具有代表性的典型草原,属中温带大陆性半干旱季风气候,春季干旱多风,秋季凉爽湿润。该地区降水量小,年际变化较大,多年平均降水量为252~270 mm,降水多集中在6—8月,雨季降水占全年降水量的70%以上;多年平均的气温为 $0 \sim 4^{\circ}\text{C}$ 。土壤类型以黑钙土和栗钙土为主;地带性植被类型以禾本科、菊科和蔷薇科为主,主要的建群种是克氏针茅和羊草,伴生有扁蓿豆、阿尔泰狗娃花、野韭等植物。

### 1.2 试验方法

1.2.1 样地设置 试验区内径流小区与放牧区位于同一坡面,坡向向北,坡度为 $(10 \pm 0.1)^{\circ}$ ,2种样地间隔约300 m。径流小区为2013年建设,小区内人工补种紫花苜蓿、羊草、蒙古冰草;在径流小区和放牧区内分别在坡顶和坡底设置土壤呼吸仪,测定样地土壤呼吸速率,每个坡位3次重复。

**第一作者简介:**葛楠(1990-),男,硕士研究生,研究方向为荒漠化防治。E-mail:genanzhisha@163.com.

**责任作者:**崔向新(1962-),女,博士,教授,硕士生导师,现主要从事荒漠化防治等研究工作。E-mail:cuixiangxin1962@163.com.

**基金项目:**国家科技支撑计划资助项目(2015BAC06B01)。

**收稿日期:**2016-03-11

1.2.2 研究方法 采用英国 ADC 公司生产的 ACE 土壤呼吸作用自动测定仪进行土壤呼吸的测定,为了排除设置仪器过程对土壤呼吸的影响,于 2015 年 5 月 23 日将仪器配套钢圈(直径 30 cm,高 8 cm)砸入土内,钢圈留约 5 cm 在地面以上并压实,并保证钢圈与土体紧紧贴合不留缝隙,待土壤环境恢复 48 h 后,于 2015 年 5 月 25 日至 6 月 3 日进行土壤呼吸速率测定。在安装 ACE 土壤呼吸作用自动测定仪前 1 h 将钢圈内的植物齐地面剪掉,并在测试前将仪器配套的温度探头和水分探头连接在主机上,分别同步测定土壤表层(0~10 cm)地温和体积含水量<sup>[9-11]</sup>。设定每台仪器单次测量周期为 15 min,每个坡位连续测量 12 h。

在分析土壤呼吸与温度的关系时采用指数回归模型<sup>[12-14]</sup>: $R_s = ae^{bT}$ ,式中, $R_s$  表示土壤呼吸; $T$  表示地温; $a$  表示温度为 0 °C 时的土壤呼吸速率; $b$  表示温度反应系数。 $Q_{10}$  值通过下式确定: $Q_{10} = e^{10b}$ 。

分析土壤呼吸与土壤温度或土壤呼吸与土壤水分之间关系时可以采用线性或非线性方程,计算土壤呼吸的温度敏感性指数( $Q_{10}$  值)时采用土壤呼吸和土壤温度

的指数关系方程的拟合系数,在研究土壤呼吸与土壤水分和土壤温度的关系时,采用 2 个线性关系方程拟合双变量关系模型。具体分析方法参见文献[15]。

### 1.3 数据分析

采用 Excel 2003 和 SAS 9.0 软件进行数据整理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤温度、水分和土壤呼吸的日动态变化

2.1.1 土壤温度的日动态变化 从图 1 可知,土壤温度的日动态呈现出较为明显的变化,整体呈现出先增大后减小的趋势,最高值均出现在每天的 13:00—14:00 左右,径流小区坡顶 10 cm 深度土壤平均温度为(27.77±5.73) °C;径流小区坡底 10 cm 深度土壤平均温度为(27.06±4.17) °C;放牧区坡顶 10 cm 深度土壤平均温度为(31.86±7.61) °C;放牧区坡底 10 cm 深度土壤平均温度为(27.10±5.21) °C。同一研究区内坡顶土壤温度要高于坡底土壤温度,经分析是由于坡顶植被盖度不及坡底,水分散失较多,故而引起土壤升温较快。

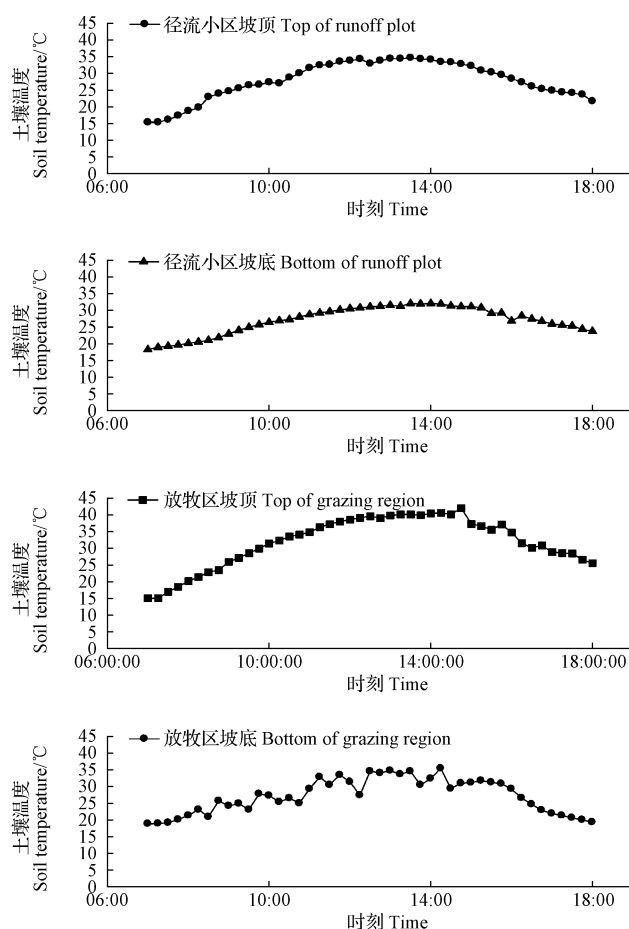


图 1 径流小区与放牧区不同坡位土壤温度日动态变化

Fig. 1 Dynamic change of soil temperature in different slope positions in runoff plots and grazing areas

2.1.2 土壤水分的日动态变化 从图2可以看出,土壤水分的日动态变化不明显,整体呈现出先降低,再升高的趋势,最低值均出现在每天的12:00—14:00左右,径流小区坡顶10 cm深度土壤平均含水率为 $(3.87 \pm 0.21)\%$ ;径流小区坡底10 cm深度土壤平均含水率为 $(4.35 \pm 0.31)\%$ ;放牧区坡顶10 cm深度土壤平均含水率为 $(3.47 \pm 0.15)\%$ ;放牧区坡底10 cm深度土壤平均

含水率为 $(3.92 \pm 0.43)\%$ 。分析得出,相同坡位,径流小区内10 cm深度土壤含水率高于放牧区10 cm深度土壤含水率,造成这一现象的原因是径流小区内植被的盖度明显高于放牧区植被盖度,植物较好的起到了减少水分蒸发的作用;相同的研究区内,坡底10 cm层土壤的含水率明显高于坡顶10 cm层土壤的含水率,同理,也是由于坡底植被盖度要高于坡顶植被盖度。

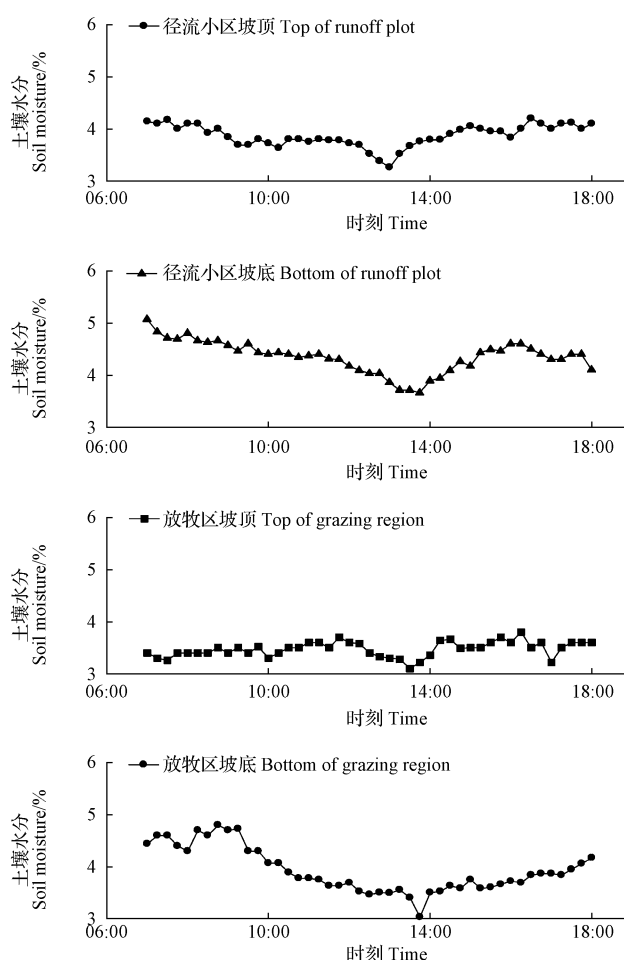


图2 土壤水分随坡位的日动态变化

Fig.2 Diurnal variation of soil moisture with the slope position

2.1.3 土壤呼吸的日动态变化 从图3可知,土壤呼吸的日动态变化较为明显,整体呈现出先升高后降低的趋势,土壤呼吸的峰值出现在每天的13:00—14:30。径流小区坡顶土壤呼吸速率峰值出现在13:00,最高为 $4.11 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其最小值出现在18:00,为 $0.74 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均土壤呼吸速率为 $(2.61 \pm 0.80) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;径流小区坡底土壤呼吸速率最高值 $2.23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,出现在当天的13:45,最低值 $0.24 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,出现在18:00,平均土壤呼吸速率为 $(1.51 \pm 0.32) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;放牧区坡顶土壤呼吸速率最高值出现13:45,为 $2.86 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

在07:00土壤呼吸速率最低,为 $0.22 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,放牧区坡顶土壤呼吸速率平均值为 $(1.31 \pm 0.68) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;放牧区坡底土壤呼吸峰值出现在14:15,峰值为 $1.24 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,07:00土壤呼吸速率最低,为 $0.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均土壤呼吸速率为 $(0.75 \pm 0.25) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。分析得出,同一研究区内坡顶土壤呼吸平均速率高于坡底土壤呼吸平均速率;坡位相同时径流小区内土壤呼吸平均速率要高于放牧区内土壤呼吸平均速率。根据分析以及查阅文献得出,土壤呼吸速率的快慢主要受到土壤温度以及土壤含水率的影响。

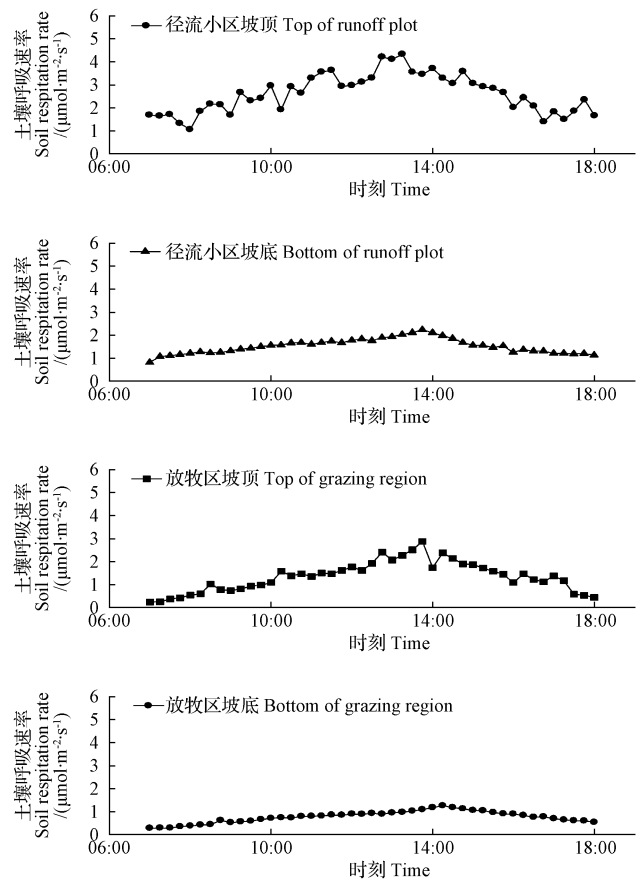


图3 土壤呼吸速率随坡位的日动态变化

Fig. 3 Daily dynamic change of soil respiration rate with the slope position

2.1.4 不同试验样地对土壤温度、水分和呼吸的影响  
在对土壤温度、水分以及土壤呼吸日动态变化情况进行分析后,继续对不一样地对土壤温度、水分和呼吸的影响状况进行分析。表1反映出放牧区坡顶土壤温度与其它3个试验样地差异性显著( $P<0.05$ ),而其它3个试验样地的土壤温度差异性不显著( $P>0.05$ );径流小区坡顶、放牧区坡底土壤水分分别与其它2个试验样地土壤水分差异性显著( $P<0.05$ ),而径流小区坡顶和放

表1 不同试验样地对土壤温度、水分和呼吸的影响

Table 1 Effect of different sample plots on soil temperature, moisture and respiration

样地 Sample plot	坡位 Slope position	土壤温度 Soil temperature / $^{\circ}\text{C}$	土壤水分 Soil moisture /%	土壤呼吸 Soil respiration / $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
径流小区 Runoff plot	坡顶 Top	27.7 $\pm$ 5.73b	3.87 $\pm$ 0.21b	2.61 $\pm$ 0.80a
	坡底 Bottom	27.0 $\pm$ 4.17b	4.35 $\pm$ 0.31a	1.51 $\pm$ 0.32b
放牧区 Grazing region	坡顶 Top	31.8 $\pm$ 7.61a	3.47 $\pm$ 0.15c	1.31 $\pm$ 0.68b
	坡底 Bottom	27.1 $\pm$ 5.21b	3.92 $\pm$ 0.43b	0.75 $\pm$ 0.25c

牧区坡底土壤水分之间差异性不显著( $P>0.05$ );径流小区坡顶、放牧区坡底土壤呼吸速率分别与其它2个试验样地差异性显著( $P<0.05$ ),径流小区坡底和放牧区坡底土壤水分之间差异性不显著( $P>0.05$ )。

2.2 土壤呼吸与环境因子的关系

2.2.1 与土壤温度的关系 由图1可知,在一天当中,当温度升高时,土壤呼吸速率增加,利用关系模型的建立对土壤呼吸和土壤温度之间的关系进行描述,该研究通过对数据的基本处理后选取  $R=ae^{bT}$  指数模型,并使用  $Q_{10}$  来描述二者间的关系。通过分析可以得出,土壤呼吸与土壤温度的日动态变化呈现出显著的指数正相关,4个研究样地拟合指数的  $R^2$  值分别为0.76(径流小区坡顶)、0.78(径流小区坡底)、0.87(放牧区坡顶)、0.70(放牧区坡底),4个研究样地的  $R^2$  值最小为0.70,最高值达0.87,方程拟合性较好。 $Q_{10}$  是当土壤温度每升高10 $^{\circ}\text{C}$ 时,土壤呼吸所变化的比率。通过众多学者的研究<sup>[16-19]</sup>可知, $Q_{10}$  值确实受到土壤温度和土壤水分等因子的影响而改变,但是因为环境条件之间的差异,例如植被盖度和土壤结构的不同,都会使土壤呼吸的温度敏感性改变。该研究的4个试验样地的  $Q_{10}$  值分别为1.68(径流小区坡顶)、1.59(径流小区坡底)、2.17(放牧区坡

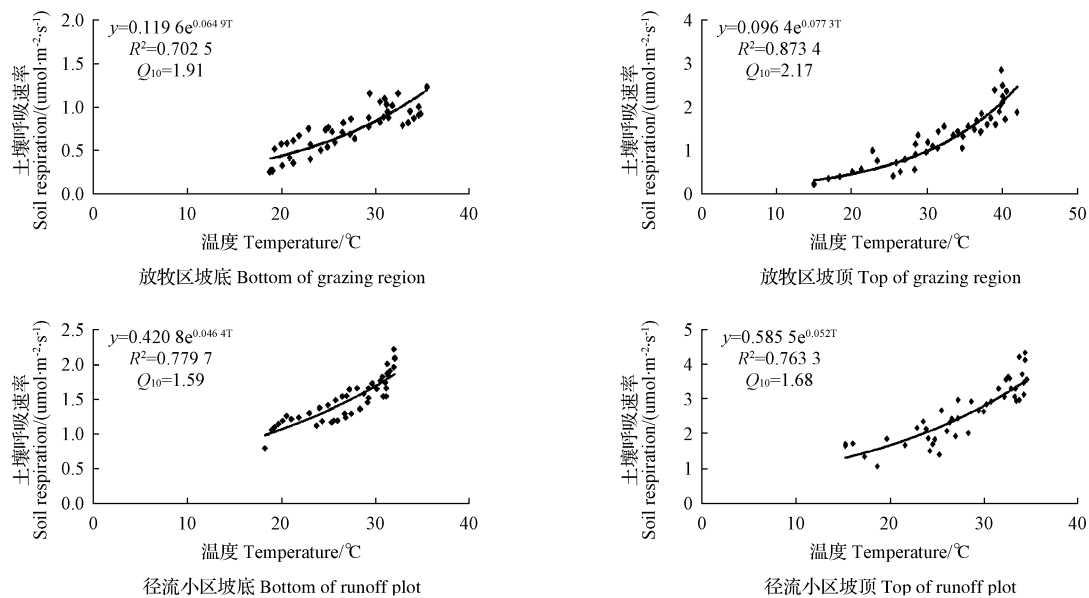


图4 土壤呼吸与土壤温度关系的散点图

Fig. 4 The relationship between soil respiration and soil temperature

1.91(放牧区坡底),由于土壤呼吸与土壤温度的关系是通过  $Q_{10}$  来表征的,而放牧区坡顶样地土壤温度及土壤呼吸速率较其它样地高,故  $Q_{10}$  值高于其它 3 块样地;同理,径流小区坡底  $Q_{10}$  值最低。通过查阅大量文献可知,全球范围各种生态系统土壤呼吸  $Q_{10}$  值的中位值为 2.4<sup>[19]</sup>,该研究得到的  $Q_{10}$  值均小于该值,此结果与大多数文献的报道一致。

**2.2.2 与土壤水分的关系** 土壤呼吸的日动态变化受到土壤水分的日动态变化影响,但是较土壤温度对土壤呼吸日动态变化的影响而言,相关性较弱。选用  $R=aW+b$  一元一次方程进行拟合。从表 2 可以看出,4 个研究样地的土壤呼吸与土壤水分关系方程的  $R^2$  值分别为 0.56(径流小区坡顶)、0.27(径流小区坡底)、0.03(放牧区坡顶)、0.77(放牧区坡底),明显低于土壤呼吸与土壤温度关系的  $R^2$  值,说明研究区土壤水分对土壤呼吸的作用小于土壤温度对土壤呼吸的作用。从表 2 可以看出,土壤呼吸与土壤水分呈负相关关系,综合看来,径流小区土壤水分与土壤呼吸相关性较放牧区好。从图 2 可以看出,径流小区内整体土壤含水量高于放牧区土壤含水量,而表层土壤是土壤微生物活动的主要场所,且径流小区内植被种类数及覆盖度均高于天然放牧样地,

表 2 不同试验样地土壤呼吸与土壤水分之间关系

Table 2 Relationship between soil respiration and soil moisture in different soil samples

样地	坡位	关系方程	$R^2$
Sample plot	Slope position	Relation equation	
径流小区	坡顶 Top	$R=-2.833\ 8W+13.566$	0.56
Runoff plot	坡底 Bottom	$R=-0.886\ 4W+5.221\ 7$	0.27
放牧区	坡顶 Top	$R=-0.264\ 1W+2.232$	0.03
Grazing region	坡底 Bottom	$R=-0.518\ 3W+2.776$	0.77

土壤呼吸速率高于天然放牧样地土壤呼吸速率,因而土壤呼吸与土壤水分相关性径流小区内样地高于放牧区样地。

**2.2.3 与土壤温度和土壤水分的复合关系** 在外业调查工作中所测土壤呼吸数值包括土壤温度和土壤水分及由其它生物因子对土壤呼吸共同影响的结果。在除去水分胁迫的影响外,结合分析土壤呼吸同土壤温度之间的关系时,得出 2 种因子之间的相关系数增加,进而得出土壤水分对土壤呼吸的作用是不容忽视的<sup>[15,20]</sup>。在获取数据的同时,其它的影响因子在土壤呼吸与土壤温度、土壤水分之间的单因素关系模型下是起着必不可少的作用<sup>[21-22]</sup>。该试验选取了 2 个线性模型的双变量复合模型在土壤呼吸与温度、水分之间进行分析。模型 1:  $R=a+bT+cW$ ; 模型 2:  $R=a+b(TW)$ ; 式中,  $R$  为土壤呼吸  $\text{CO}_2$  速率 ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ );  $a, b, c$  均为拟合系数;  $T, W$  分别为实测的土壤温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) 和土壤水分 (%)。图 4 显示只考虑土壤温度单一因子与土壤呼吸的关系,可以解释 70%~87% 的土壤呼吸情况,从表 2 可以看出,土壤水分可以解释 3%~77% 的土壤呼吸情况,而采用模型 1 来讨论土壤呼吸与土壤温度和土壤水分的关系,可以解释土壤呼吸日动态变化的 82%~89%,明显高于采用单因子模型的决定系数  $R^2$ 。表 4 是采用模型 2 来拟合土壤呼吸与土壤温度和土壤水分的关系,其  $R^2$  值在 0.312 9~0.743 8,均达到显著水平。根据以上数据可以看出,土壤呼吸与土壤水热因子的 2 种关系模型均能较好的解释土壤呼吸与土壤水分和土壤温度之间的相互关系。当土壤呼吸受到土壤温度及水分共同作用影响时,模型 1 中土壤水热因子可以解释 82%~89% 的土壤呼吸变化,而模型 2 仅能解释 31%~74% 的土壤



呼吸变化规律,所以就该研究而言,模型 1 土壤呼吸与土壤水热因子的拟合性要优于模型 2。

表 3 土壤呼吸与土壤温度和土壤水分的  
复合关系方程 1

Table 3 Relationship between soil respiration and soil temperature and soil moisture content 1

样地 Sample plot	坡位 Slope position	回归方程 Regression equation	$R^2$
径流小区 Runoff plot	坡顶 Top	$R=0.101T-0.995W+3.63389$	0.8518
	坡底 Bottom	$R=0.038T-0.4847W+2.58476$	0.8236
放牧区 Grazing region	坡顶 Top	$R=0.08585T-1.0172W+2.11186$	0.8895
	坡底 Bottom	$R=0.02382T-0.29173W+1.24496$	0.8470

表 4 土壤呼吸与土壤温度和土壤水分的  
复合关系方程 2

Table 4 Relationship between soil respiration and soil temperature and soil moisture content 2

样地 Sample plot	坡位 Slope position	回归方程 Regression equation	$R^2$
径流小区 Runoff plot	坡顶 Top	$R=0.0338TW-0.9971$	0.6552
	坡底 Bottom	$R=0.016377TW-0.3993$	0.4303
放牧区 Grazing region	坡顶 Top	$R=0.02168TW-1.008789$	0.7438
	坡底 Bottom	$R=0.010129TW-0.314498$	0.3129

### 3 结论

在 07:00—18:00 测试时间段内,土壤呼吸整体呈单峰曲线,峰值出现在 13:00—14:30,16:00 之后呼吸速率迅速下降,4 个试验样地土壤呼吸日动态变化整体表现为径流小区坡顶>径流小区坡底>放牧区坡顶>放牧区坡底。土壤呼吸与土壤温度可以用  $R=ae^{bT}$  指数模型来表示,4 个试验样地的土壤温度分别可以解释土壤呼吸日变化的 76%(径流小区坡顶)、78%(径流小区坡底)、87%(放牧区坡顶)、70%(放牧区坡底);土壤水分与土壤呼吸的关系可以用  $R=aW+b$  来表示,与土壤温度对土壤呼吸日动态变化的影响比较,土壤水分与土壤呼吸的关系较弱,土壤水分仅解释土壤呼吸日动态变化的 3%~77%,由此可见土壤温度对土壤呼吸的影响占主导因素。根据水热因子对土壤呼吸的共同作用,建立 2 个关系模型,结果表明,模型 1( $R=a+bT+cW$ )的相关性优于模型 2( $R=a+bTW$ ),能够更好地表达水热因子对土壤呼吸的影响。用复合关系函数预测土壤呼吸,可避免用指数函数在土壤水分较低时对土壤呼吸的高估和土壤水分过高时的低估。

### 参考文献

- [1] WILLIAM H, SCHLESINGER J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. Biogeochemistry, 2000, 48: 7-20.
- [2] 齐志勇, 王宏燕, 王丽红, 等. 陆地生态系统土壤呼吸的研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003(2): 116-119.
- [3] BOONE R D, NADELHOER K J, CANARY J D, et al. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration[J]. Nature,

1998, 396: 570-572.

- [4] KOMULAINEN M, MIKOLA J. Soil processes as influenced by heavy-metals and the composition of soil fauna[J]. Journal of Applied Ecology, 1995, 32: 234-241.
- [5] 李玉宁, 王关玉, 李伟. 土壤呼吸作用和全球碳循环[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 351-357.
- [6] 朱楠, 王彬, 王云琦, 等. 重庆缙云山 4 种典型林分生长季土壤呼吸特征及其与环境因子的关系[J]. 中国水土保持科学, 2014(2): 16-23.
- [7] WILLIAM G B, HUTYRA L, PATTERSON D C, et al. Wind induced error in the measurement of soil respiration using closed dynamic chambers[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 131: 225-232.
- [8] ZHANG Q F, JUSTICE C O, DESANKER P V. Impacts of simulated shifting cultivation on deforestation and the carbon stocks of the forests of central Africa[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 90: 203-209.
- [9] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 水分对土壤呼吸的影响及机理[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 972-978.
- [10] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 水热条件对锡林河流域典型草原退化群落土壤呼吸的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 202-209.
- [11] 罗光强, 耿元波. 温度和水分对羊草草原土壤呼吸温度敏感性的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1938-1943.
- [12] JIA B, ZHOU G, WANG Y, et al. Effects of temperature and soil water-content on soil respiration of grazed and ungrazed *Leymus* Chinese steppes, Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Environments, 2006, 67: 60-76.
- [13] 刘立新, 董云社, 齐玉春, 等. 内蒙古锡林河流域土壤呼吸的温度敏感性[J]. 中国环境科学, 2007, 27(2): 226-230.
- [14] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 温带草原 11 个植物群落夏秋土壤呼吸对气温变化的响应[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 441-447.
- [15] LI H J, YAN X J, YUE X F, et al. Significance of soil temperature and moisture for soil respiration in a Chinese mountain area[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 148(3): 490.
- [16] 齐清, 李传荣, 许景伟, 等. 环境因子对海防林土壤呼吸速率的影响[J]. 中国水土保持科学, 2005(4): 65-69.
- [17] KUTESCW L, KAPPEN L. Aspects of carbon and nitrogen cycling in soils of Bornhoved Lake district II Modelling the influence of temperature increase on soil respiration and organic carbon content in arable soils under different management[J]. Biogeochemistry, 1997, 39: 207-224.
- [18] GULLEDGE J, SCHIME J P. Controls on soil carbon dioxide and methane fluxes in a variety of taiga forest stands in interior Alaska[J]. Ecosystems, 2000(3): 269-282.
- [19] XU M, QI Y. Soil surface CO<sub>2</sub> efflux and its spatial and temporal variation in a young ponderosa pine plantation in California[J]. Global Change Biology, 2001(7): 667-677.
- [20] RAICH J W, SCHLESINGER W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. Tellus, 1992, 44(2): 81-99.
- [21] GAUMONT-GUAY D, ANDREW B T, GRIFFIS T J. Interpreting the dependence of soil respiration on soil temperature and water content in a boreal aspen stand[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 140(1-4): 220-235.
- [22] XU M, QI Y. Erosion pine plantation in northern California[J]. Global Change Biology, 2001, 7(6): 667-677.
- [23] LAW B E, KELLIHER F M, BALDOCCHI D D. Spatial and temporal variation in respiration in a young ponderosa pine forest during a summer drought[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 110: 27-43.

# 几种物质对蓝莓土壤 pH 及有效 N、P、K 的影响

付 燕<sup>1</sup>, 杨 琴<sup>2,3</sup>, 张 杰<sup>2</sup>, 岳 阳<sup>2</sup>

(1. 黔东南民族职业技术学院, 贵州 凯里 556000; 2. 凯里学院 环境与生命科学学院, 贵州 凯里 556000;

3. 凯里学院 蓝莓研究所, 贵州 凯里 556000)

**摘 要:**以 4 年生盆栽“灿烂”兔眼蓝莓为试材,研究了硫磺、硫酸钾和食用醋对土壤 pH 及有效 N、P、K 含量的影响。结果表明:在土壤中施入一定量的硫磺、硫酸钾和食用醋后,能显著降低土壤 pH,增加土壤有效 N、P、K 含量。其中食用醋能迅速降低土壤 pH 至蓝莓生长最适的 4.0~4.8 范围,硫磺也能调整土壤 pH 至 4.0~4.8,但改良效果较食用醋慢,3 种物质中硫酸钾改良土壤 pH 的效果最差,同时土壤中有效 N、P、K 含量随 pH 降低而增加。综合分析表明,食用醋是一种见效快,易于施用的土壤 pH 改良物质。

**关键词:**蓝莓;土壤 pH;土壤因子;食用醋;硫酸钾;硫磺

**中图分类号:**S 663.206<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)12-0179-04

蓝莓(blueberry)属杜鹃花科(Ericaceae)越桔属(*Vaccinium*)多年生落叶或常绿灌木<sup>[1-2]</sup>,又名越橘,原产北美洲。蓝莓果实含有丰富的维生素 C、花青素、过氧化

**第一作者简介:**付燕(1982-),女,硕士,副教授,研究方向为生物技术在园艺植物上的应用。E-mail:fuyanloquat@126.com.

**基金项目:**黔东南州科技计划资助项目(黔东南科合 J 字[2014]4005);贵州省教育厅“125 计划”重大科技专项资助项目(黔教合重大专项字[2013]028)。

**收稿日期:**2016-03-11

物歧化酶(SOD)、鞣花酸和黄酮类物质,能有效地清除人体自由基,是抗衰老、克服亚健康、防癌、抗癌、预防心脑血管疾病的上等保健食品,风靡世界发达国家<sup>[3]</sup>,被誉为第三代水果、“浆果之王”,同时也被国际粮农组织列为人类五大健康食品之一<sup>[4-6]</sup>。随着人类生活水平的不断提高,蓝莓不仅作为一种保健和功能食品,更作为一种美味的水果,引起了全球食品及果树界的关注<sup>[7]</sup>。近年来,随着人们对蓝莓营养价值和保健价值的认识与传播,国际国内市场对蓝莓的需求量日益增加,使其成为 21 世纪最具发展潜力的水果之一<sup>[8]</sup>。

然而,蓝莓对种植地土壤的条件要求极其苛刻,特

## Soil Respiration of Grassland Under Condition of Human Disturbance

GE Nan, CUI Xiangxin, HAN Yanlong, ZHANG Qi, ZHANG Jing

(College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019)

**Abstract:** Dynamic soil respiration in different slope positions was measured by ADC soil respiration apparatus in runoff plots and natural grazing pasture of Xilin River Basin. The effects of human disturbance on soil respiration in typical steppe runoff plots were studied. The results showed that the diurnal variation of soil respiration and temperature could be expressed as a single peak curve and its highest occurred between 13:00 pm and 14:30 pm. The mean soil respiration rate was significant higher in top position of runoff plots ( $2.61 \pm 0.80$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  than that in bottom ( $1.51 \pm 0.32$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , or the top of natural grazing pasture ( $1.31 \pm 0.68$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and the bottom position ( $0.75 \pm 0.25$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The relationship between soil respiration and soil temperature was well explained by single variable model. The  $R^2$  values were 0.76, 0.78, 0.87 and 0.70, respectively. The  $Q_{10}$  values were 1.68, 1.59, 2.17 and 1.91, respectively. Two variable model of soil temperature and moisture could better express the influence of water heating factor on soil respiration,  $R^2$  value could reach 0.82—0.89, which provided a guiding role for the study of the relationship between soil respiration and soil water thermal factor.

**Keywords:** soil respiration; soil temperature and moisture; correlation mode; Xilin River Basin grassland