

周孟霞,莫碧琴,杨慧.石漠化地区不同种植年限李树土壤呼吸月动态变化研究[J].中国岩溶,2020,39(5):682-688.
DOI:10.11932/karst20200505

石漠化地区不同种植年限李树土壤呼吸月动态变化研究

周孟霞^{1,2},莫碧琴^{1,2,3},杨慧^{1,2}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004; 2. 联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004; 3. 深圳市慧创源环保科技有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要:选取桂林恭城县国家可持续发展试验示范区石漠化治理过程中不同种植年限李树样地土壤为研究对象,对土壤呼吸进行以月为周期的监测,结果表明:(1)不同种植年限李树土壤呼吸速率的变化趋势随月份变化基本保持一致,呈现多峰形,而从季节尺度上看,随着春夏秋冬四季的交替,土壤呼吸速率逐渐下降;(2)李树种植年限在不同程度上对土壤呼吸速率均有影响,2 a、5 a和20 a的土壤呼吸速率年均值分别为 $48.56 \text{ mgC} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 、 $45.63 \text{ mgC} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 、 $41.64 \text{ mgC} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$,其中幼龄期(2 a)和盛果期(5 a)土壤呼吸速率较高,高的土壤呼吸速率反映了较快的有机代谢和物质循环,是为了满足植物在生长初期所需的碳源及养分,而20 a李树处于生长老龄期,其已维持了一个较稳定的地下生态系统,土壤呼吸作用降低;(3)在雨热同期(4—8月)时,土壤温度和土壤含水量之间呈极显著负相关关系($P < 0.01$),土壤温度和土壤呼吸速率之间呈极显著负相关关系($P < 0.01$),而土壤含水量与土壤呼吸速率呈极显著正相关关系($P < 0.01$),这主要是由于土壤呼吸在时间尺度上存在滞后效应。

关键词:岩溶区;石漠化生态系统;土壤呼吸;种植年限;李树

中图分类号:S154 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2020)05-0682-07 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

土壤呼吸是土壤排放 CO_2 至大气的主要途径,是陆地生态系统碳循环的重要过程,每年向大气输出的碳量是化石燃料排放量的10倍以上^[1]。因此,土壤呼吸对维持大气 CO_2 浓度有着重要作用,在全球碳循环过程中有着重要地位^[2]。土壤呼吸受多种因素影响,如植被类型、覆盖度、土壤温度和地形地貌等^[3],植被类型主要是通过改变凋落物质量和数量而

影响土壤呼吸,另一方面通过改变根系生物量和改变土壤温度等对土壤呼吸造成影响^[4]。

石漠化是中国岩溶地区主要的生态环境问题之一,为有效治理石漠化,中国政府实施了一系列生态环境恢复措施^[5],如封山育林、人工种植经济林、坡耕地改梯田等,这些石漠化治理的生态恢复措施不同程度地影响了土壤理化性质^[6-7],从而影响土壤呼吸速率。人工种植李树作为石漠化地区生态恢复的一项措施,因其既能治理石漠化、恢复生态,又能增

基金项目:广西自然科学基金项目(2017GXNSFAA198153);广西科学研究与技术开发计划项目(桂科能1598023-1);中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目(2020004)

第一作者简介:周孟霞(1995—),女,硕士研究生,主要从事岩溶区土壤固碳机制研究。E-mail:mengxia.zhou95@gmail.com。

通信作者:杨慧(1981—),女,副研究员,博士,主要从事岩溶区生物地球化学研究。E-mail:yanghui-kdl@karst.ac.cn。

收稿日期:2019-11-30

加农民收入而被广泛采用^[8]。目前,关于岩溶石漠化区植被恢复对土壤呼吸的影响研究多数集中在单一物种对土壤呼吸的影响^[2,9]以及土壤呼吸的日动态变化^[10],而对同一地区不同石漠化恢复年限的同一个经济树种土壤呼吸年动态变化的研究还较少,而土壤呼吸的季节动态变化主要受环境因子和植物生长的影响^[4,11-13],研究土壤呼吸的季节变化以及调控因素,是准确预测未来气候变化条件下土壤呼吸变化的关键。因此,本研究选取桂林市恭城县国家可持续发展试验示范区石漠化治理过程中不同种植年限的李树(2 a、5 a 和 20 a)为研究对象,对土壤呼吸进行以月为周期的监测,探讨不同石漠化恢复年限对土壤呼吸的影响,以期为进一步阐述岩溶区土壤有机碳积累机制提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于桂林市恭城县大岭山村(N24°37'~25°17',E110°36'~111°10'之间)(图 1),其气候温和,属于亚热带季风气候区,年均气温为 20.5℃,年均降水量为 1 438 mm(图 2),年均无霜期 319 d;区内地层岩性为下石炭统灰岩,石漠化现象较为严重,自 20 世纪 80 年代以来,该区域通过种植桃树、李树等果树的方式治理石漠化。



图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of study area

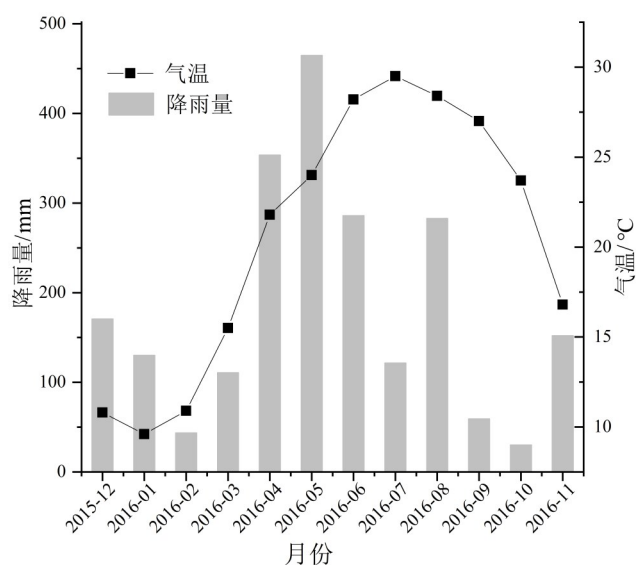


图 2 研究区监测期内气温及降水月动态变化

Fig. 2 Distributions of monthly mean rainfall and air temperature in the study area during the monitoring period

2 研究方法

2.1 野外监测

利用时空代换法,在研究区选择同一农户种植的 3 种不同种植年限(2 a、5 a 和 20 a)的李树林地组成植被恢复序列。李树林地每年施肥 4 次,其中化肥 3 次,有机肥 1 次。化肥为复合肥(含 N 18%, P_2O_5 18%, K_2O 18%),有机肥为牛粪(含 C 413.8 g·kg⁻¹、N 2.7 g·kg⁻¹、 P_2O_5 1.3 g·kg⁻¹、 K_2O 6 g·kg⁻¹)。每棵李树下平均每年施用 2 kg 化肥和 20 kg 有机肥,因此, N、 P_2O_5 和 K_2O 每年的施用量分别约为 250 kg·ha⁻¹、100 kg·ha⁻¹ 和 240 kg·ha⁻¹^[8]。选取长势良好的李树林,在不同种植年限李树林中分别随机设置 3 块样地,每块样地随机布设 20 m×20 m 的标准样方,铲除表土杂草,待被铲除的植物根系呼吸稳定后再在每个样方内布置 3 个土壤呼吸监测装置。于 2015 年 12 月至 2016 年 11 月,采用吸收胨法测定土壤呼吸速率^[14-15]。具体方法为:用一无盖金属圆桶(直径为 25 cm,高 30 cm),倒置于土表,内置一个加有 1 mol·L⁻¹ NaOH 溶液的广口小瓶,24 h 后用 HCl 溶液滴定分析剩余的 NaOH,再通过计算可得到该段时间内的土壤呼吸速率。空白值用玻璃板代替土表得到。土壤温度和湿度的测定采用 Delta-T WET-2 土壤水分温度电导率速测仪测定。对每个样地进行对角线等分,取出 3 个样点,在各样点采集土壤 0~20 cm 处的原装土混合,剔除土中砾石、细根和动物残体后,用自封

袋装好,带回自然资源部岩溶动力学重点实验室,置阴凉通风处风干并过100目筛,待测其理化性质。

2.2 室内实验

土壤pH值采用水土比(2.5:1)pH-3S型酸度计测定;土壤有机碳含量采用高温外加热重铬酸钾氧

化—容量法测定。土壤全氮、全磷和全钾含量分别采用凯氏法、碱熔钼锑抗分光光度法和火焰光度计等方法测定;用1 mol·L⁻¹醋酸铵浸提—火焰光度法测得速效钾;用碳酸氢钠浸提—钼锑抗分光光度法测得速效磷。样地土层基本理化性质如表1所示。

表1 土壤基本理化性质
Table 1 Physio-chemical characteristics of soil

理化指标	2 a	5 a	20 a
pH值	5.31±0.32a	5.91±0.51b	5.17±0.28a
有机碳/g·kg ⁻¹	11.87±3.18a	10.17±3.28a	11.70±5.27a
全氮/g·kg ⁻¹	1.89±0.52a	1.07±0.16a	0.93±0.18a
全磷/g·kg ⁻¹	0.38±0.16a	0.29±0.06a	0.29±0.16a
速效磷/mg·kg ⁻¹	34.84±15.29a	25.29±5.49a	28.88±14.78a
全钾/g·kg ⁻¹	11.97±5.05a	15.27±3.88a	15.15±7.18a
速效钾/mg·kg ⁻¹	118.54±51.22a	194.44±97.31b	118.87±64.17a

注:同一行不同字母表示差异性显著($P<0.05$)。

2.3 数据处理

土壤呼吸速率(R_s)的计算方法:

$$R_s = \frac{(V_0 - V) \times C \times M}{24\pi r^2}$$

式中:以土壤呼吸释放的CO₂代表土壤呼吸速率(R_s) [mgC·(m²·h)⁻¹],以每月连续测定的土壤呼吸速率平均值代表该月平均土壤呼吸速率;(V_0-V)为中和土壤呼吸释放的CO₂所需碱液的体积(mL); C 为盐酸标准浓度(mol·L⁻¹); M 为质量转换系数,值为6;24为24 h; r 为铁桶的半径,为0.125 m。

实验结果均以3次样本的平均值表示。以12月、1月和2月均值代表冬季数据,以此类推得到不同种植年限土壤呼吸速率的季节数据。所有实验数据采用Excel 2010进行数据预处理,利用SPSS 25.0进行分析,通过Origin 8.0作图。

3 结果与分析

3.1 不同种植年限李树土壤湿度和温度的月动态变化

不同种植年限李树的土壤温度和大气温度呈现相同的月动态变化(图3a),在4-10月份处于较高水平。当地受季风气候的影响,降水主要集中在4-8月,而不同种植年限李树在这些月份的土壤含水量

均不高。土壤含水量(图3b)与土壤温度呈现大致相反的变化趋势,随着土壤温度的升高,一方面土壤水分蒸发快,另一方面土壤中微生物活性的增强,会加大对土壤水分的消耗利用。

3.2 不同种植年限李树土壤呼吸动态变化特征

由图4、图5可知,全年不同种植年限李树土壤呼吸速率的变化趋势随月份基本保持一致,呈现多峰形。在4-5月呼吸速率最高,在8、10、12月出现不同程度的增加。2 a、5 a和20 a土壤平均呼吸速率分别为48.56 mgC·(m²·h)⁻¹、45.63 mgC·(m²·h)⁻¹、41.64 mgC·(m²·h)⁻¹,由此可见土壤呼吸速率随着种植年限的增加而呈现降低趋势。从季节动态上来看(图5),不同种植年限间李树的土壤呼吸速率存在显著差异($P<0.05$),表现为随着四季交替而逐渐降低,即为春秋高,秋冬低。春秋间不同种植年限李树的土壤呼吸速率差异不显著($P>0.05$),但在秋冬季有显著差异($P<0.05$)。

3.3 土壤温度、含水量与土壤呼吸之间的关系

分析3种植年限李树全年的土壤呼吸速率和土壤温度、湿度之间的相关性,结果显示:土壤呼吸速率与土壤温度、含水量相关关系均不显著(图6a),这说明从全年尺度来看,土壤呼吸速率不仅受土壤

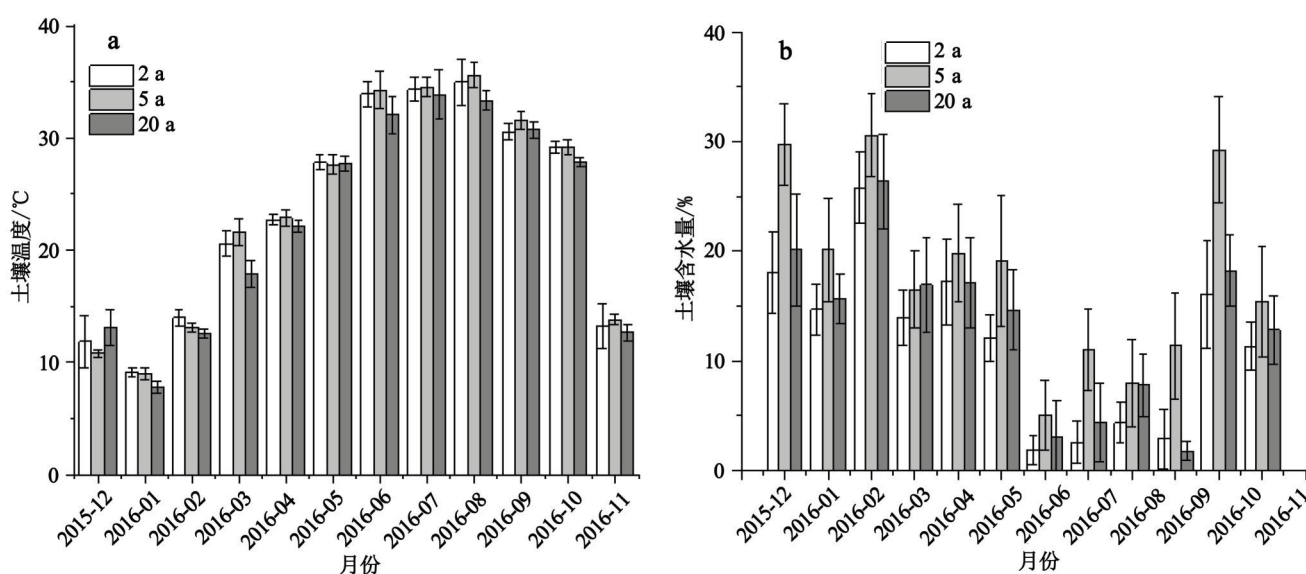


图3 不同种植年限李树土壤温度(a)、含水量(b)月动态

Fig. 3 Monthly variations of soil temperature (a) and soil water content (b) of plum trees with different planting ages

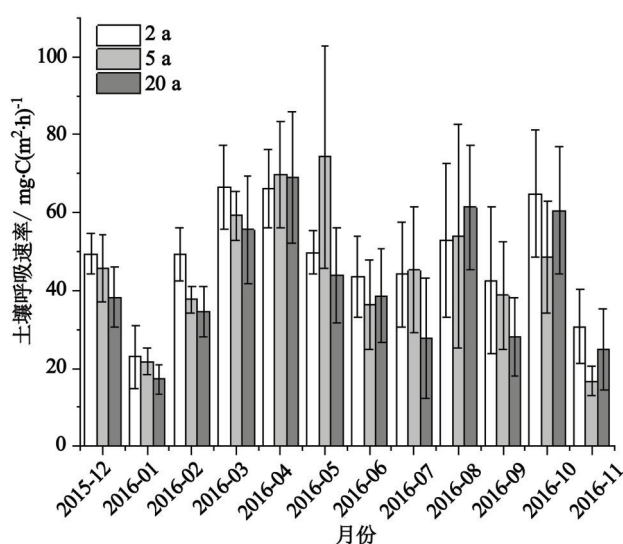


图4 不同种植年限李树土壤呼吸的月动态

Fig. 4 Monthly variations of soil respiration rate of plum trees with different planting ages

温度、湿度的影响,还受其他多种因素影响。不同种植年限李树的土壤呼吸速率的差异可能是由多方面因素综合影响的。

由土壤温度和含水量的月份统计(图3)可见,4-8月份降水丰富,且当地气温明显高于其他月份(雨热同期)。在雨热同期时,土壤含水量明显低于其他月份,土壤温度明显高于其他月份。分析该段时间土壤温度、土壤含水量和土壤呼吸速率的相关性(图6b),土壤呼吸与土壤温度呈极显著负相关($P < 0.01$),与土壤含水量呈极显著正相关($P < 0.01$)。

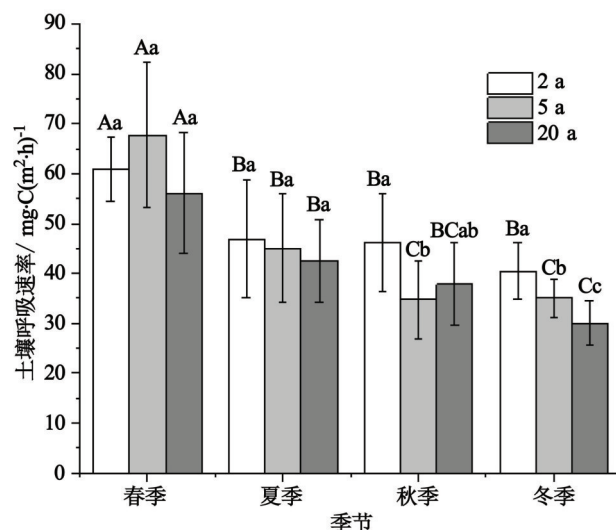


图5 不同种植年限李树土壤呼吸的季节动态

Fig. 5 Seasonal fluctuation of soil respiration rate of plum trees with different planting ages

注:小写字母代表同一季节不同种植年限之间的显著差异($P < 0.05$),大写字母代表同一种植年限不同季节之间的显著差异($P < 0.05$)。

4 讨论

4.1 土壤呼吸速率的影响因素

土壤呼吸作用受到诸多因素的影响,土壤温度和湿度被认为是影响土壤呼吸速率的两个重要因素^[16]。前人研究表明:土壤呼吸与温度之间有显著的相关关系^[2, 10, 17-18],通常土壤含水量对土壤呼吸具有一定的促进作用^[19-20]。这与本研究中全年土壤温

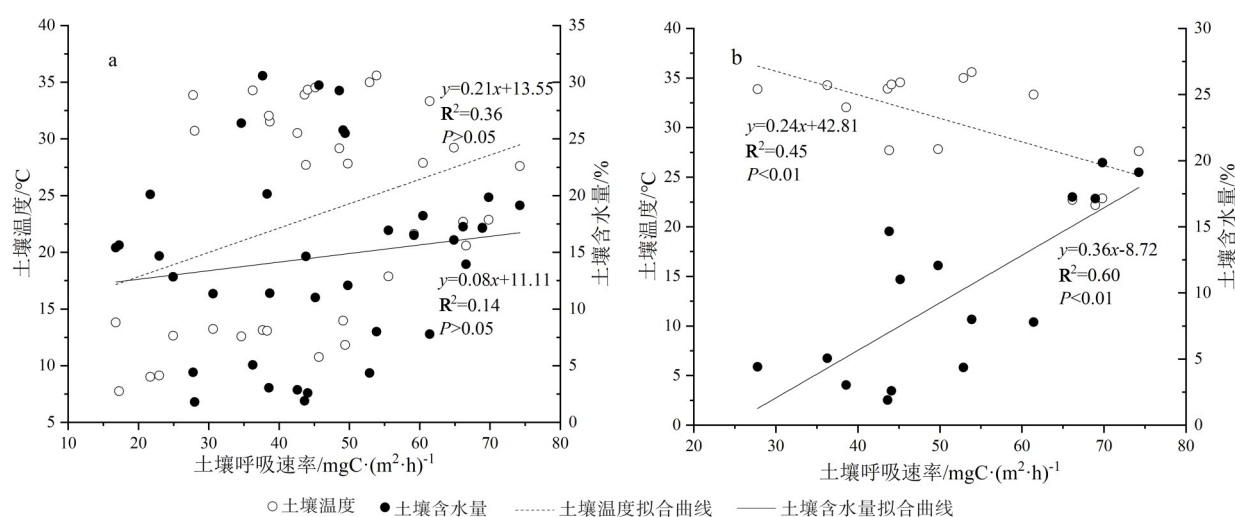


图6 土壤温度、含水量与土壤呼吸之间的关系

Fig. 6 Relationship between soil temperature, soil water content and soil respiration rate

a. 全年土壤温度、含水量与土壤呼吸之间的关系 b. 4—8月期间土壤温度、含水量与土壤呼吸之间的关系

度、土壤含水量与土壤呼吸速率之间没有显著相关关系的结果有差异。但从月统计数据可看出,土壤温度受到气温的控制十分明显,在雨热同期的4—8月份高于其他月份。土壤湿度却在雨热同期时低于旱季。这种特殊情况主要与该地区独特的地质背景有关,岩溶地区土层薄,土壤保水能力差,降雨后,土壤水分漏失情况十分严重,且采样前的天气变化也会影响样地土壤的温度和含水量,而表层土壤温度对高温响应快,土壤水分易蒸发损失。

相关性分析结果显示,雨热同期时,土壤含水量与土壤呼吸呈现极显著正相关($P < 0.01$),这可能是因为土壤中溶解性有机碳作为土壤微生物活动能量的主要来源,在低含水量的土壤中迁移运送受到了阻碍,抑制了土壤微生物的活动,因此土壤呼吸速率低^[21]。前人有研究表明,岩溶区土壤体积含水率低于或超出7.50%~30.17%这个阈值范围会对土壤呼吸具有明显的抑制或促进作用^[10],考虑到岩溶地区的空间异质性,本研究中雨热同期的土壤含水量均值为9.85%,十分接近阈值最低值,低土壤含水量会抑制土壤呼吸速率。

作为土壤总呼吸的主要贡献者的土壤微生物主要分布在土壤表层。因此,相较于气温和地表温度,土壤呼吸速率对表层土壤温度的变化比较敏感^[19]。此外,土壤温度通过影响生物酶活性以调控环境中微生物代谢、植物根系活动及土壤有机物的分解,使土壤呼吸作用强度受到影响^[22-23]。一般来说,土壤呼吸速率变化的主要原因是由于外部环境因子的改

变。环境温度高,土壤湿度大,可促进微生物活性,土壤呼吸作用强,而低温干旱的土壤环境会降低微生物活性,从而抑制土壤呼吸^[24]。本研究在雨热同期时的李树土壤温度均温可达到30.5 $^{\circ}\text{C}$,而与土壤呼吸速率呈极显著负相关关系,这意味着土壤呼吸在这段时间尺度上存在滞后效应^[25]。

4.2 种植年限对土壤呼吸的影响

2 a, 5 a和20 a3种不同种植年限李树的土壤呼吸均呈显著的季节性变化,呼吸速率均呈单峰曲线。这是由于土壤呼吸受生物因素季节的变化而发生变化,如植被的生长、根系分泌物等,导致土壤呼吸具有明显的季节性差异。此外,不同种植年限李树之间的土壤呼吸速率随季节的变化趋势一致,但是变化幅度不同,这可能是由于土壤呼吸还会受到凋落物数量和分解速率的影响,不同种植年限李树凋落物的性质及其分解速率以及根系的呼吸等也会有所差异。

李树种植年限的不同,往往会引起植物根系生长和土壤微生物的活动发生变化,进而造成土壤呼吸速率的不同。这些差异的原因可能是由于种植李树后产生了不同的凋落物,改变了有机碳产量和质量,加上在不同演替阶段,人为对果林的培肥打、耕作等剧烈人为干扰也会影响土壤的地表覆盖并让土壤特性产生变化,土壤的根系生长发育,植被生长对能量的消耗不同,都会造成土壤呼吸作用的差异^[4, 26-27]。幼龄期(2 a)和盛果期(5 a)李树根系活跃,微生物加速繁殖并充满活力。在植物生长初期,为

了满足植物生长所需要的碳源及养分,营养元素的循环周期短,微生物有机代谢速率快,因此土壤呼吸速率高。20 a李树处于生长老龄期,相对于处于生长发育期的2 a、5 a李树,已经维持了一个较稳定的地下生态系统,植被生长减弱,其土壤根系活性逐渐减少,地表凋落物丰富,土壤有机质的矿化作用减弱,可利用碳的绝对量大,因此土壤呼吸速率降低。

5 结 论

(1)全年中,不同种植年限李树的土壤呼吸速率的变化趋势随月份基本保持一致,呈现多峰形。而从季节尺度上看,随着四季交替,土壤呼吸从春季到冬季逐渐下降;

(2)种植年限对李树的土壤呼吸产生了重要影响,幼龄期(2 a)和盛果期(5 a)李树的土壤呼吸速率较高,高的呼吸速率反映了高的有机代谢和物质循环。20 a李树处于生长老龄期,相对于处于生长发育期的2 a、5 a李树,已形成了一个相对稳定的地下生态系统,土壤呼吸作用降低;

(3)全年间不同种植年限李树的土壤温度、土壤含水量与土壤呼吸速率未呈现显著相关性。雨热同期月份(4-8月)土壤温度和土壤呼吸之间呈极显著负相关关系($P<0.01$),土壤含水量与土壤呼吸之间呈极显著正相关关系($P<0.01$)。

参考文献

- [1] 邓翠,吕茂奎,曾敏,等.红壤侵蚀区植被恢复对土壤呼吸及其温度敏感性的影响[J].土壤学报,2019,56(1):135-145.
- [2] 郑威,何峰,谭一波,等.两种石漠化区退耕林型的土壤呼吸机模型模拟[J].生态科学,2017,36(5):138-143.
- [3] Raich J W, Tufekciogul A. Vegetation and soil respiration: correlations and controls[J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 71-90.
- [4] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. Tellus B, 1992, 44(2):81-99.
- [5] Wenhua L. Degradation and restoration of forest ecosystems in China[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 201(1): 33-41.
- [6] 万军.贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展[J].地球科学进展,2003,18(3):447-453.
- [7] 苏维词,朱文考.贵州喀斯特地区生态农业发展模式与对策[J].农业系统科学与综合研究,2000(1):40-44.
- [8] Yang H, Mo B, Zhou M, et al. Effects of Plum Plantation Ages on Soil Organic Carbon Mineralization in the Karst Rocky Desertification Ecosystem of Southwest China[J]. Forests, 2019,10(12):1107.
- [9] 申文辉,郑威,何琴飞,等.桂西南石漠化区蚬木林土壤呼吸空间变异研究[J].生态科学,2017,36(2):82-86.
- [10] 吴夏,潘谋成,曹建华,等.典型岩溶区土壤呼吸作用的昼夜变化特征及其影响因素[J].中国岩溶,2019,38(2):157-163.
- [11] Davidson E A, Verchot L V, Cattaneo J H, et al. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia[J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 53-69.
- [12] Chen Q, Li L, Han GX, et al. Responses of soil respiration to temperature in eleven communities in Xilingol Grassland, Inner Mongolia[J]. Acta Phytocological Sinica, 2003, 27(4): 441-447.
- [13] Luo Y, Wan S, Hui D, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie[J]. Nature, 2001, 413(6856):622-625.
- [14] 潘根兴,曹建华,何师意,等.岩溶土壤系统对空气CO₂的吸收及其对陆地系统碳汇的意义:以桂林宁吉村岩溶试验场的野外观测和模拟实验为例[J].地学前缘,2000(4):580-587.
- [15] 胡智勇,陈孝杨,陈敏,等.一种简易的土壤呼吸速率原位测定方法[J].水土保持通报,2018,38(2):258-261.
- [16] 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.
- [17] 赵龙飞,李德生,滕达,等.城市绿化景观土壤呼吸变化规律及影响因素[J].生态与农村环境学报,2019,35(7):885-891.
- [18] 姚辉,胡雪洋,朱江玲,等.北京东灵山3种温带森林土壤呼吸及其20年的变化[J].植物生态学报,2015,39(9):849-856.
- [19] 马和平,郭其强,李江荣,等.色季拉山4种林型土壤呼吸及其影响因子[J].土壤学报,2016,53(1):253-260.
- [20] Gomez-Casanovas N, Anderson-Teixeira K, Zeri M, et al. Gap filling strategies and error in estimating annual soil respiration[J]. Global Change Biology, 2013, 19(6):1941-1952.
- [21] 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(5):972-978.
- [22] 陈骥,曹军骥,魏永林,等.青海湖北岸高寒草甸草原非生长季土壤呼吸对温度和湿度的响应[J].草业学报,2014,23(6): 78-86.
- [23] 杨庆朋,徐明,刘洪升,等.土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性[J].生态学报,2011,31(8):2301-2311.
- [24] 吴亚华,肖荣波,王刚,等.城市绿地土壤呼吸速率的变化特征及其影响因子[J].生态学报,2016,36(22):7462-7471.
- [25] 周运超,周习会,熊志斌,等.岩溶系统不同植被下土壤碳排放的温度效应[J].贵州科学,2004,22(4):21-26,40.
- [26] Trumbore S E, Davidson E A, Barbosa de Camargo P, et al. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1995,9(4): 515-528.
- [27] 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):1960-1968.

Study on the monthly dynamic change of soil respiration rate of plum trees with different planting ages in rocky desertification area

ZHOU Mengxia^{1,2}, MO Biqin^{1,2,3}, YANG Hui^{1,2}

(1. *Institute of Karst Geology, CAGS/ Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China*; 2. *The International Research Center on Karst (IRCK) under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China*; 3. *Shenzhen Huichuangyuan Environmental Technology Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China*)

Abstract Soil respiration is the main process of soil carbon emission and an important factor affecting the dynamic change of soil carbon pool and atmospheric carbon pool. The amount of soil respiration determines the source and sink of soil carbon pool to a certain extent. It is of great significance to understand the mechanism of soil organic carbon accumulation, via studying the dynamic changes of soil respiration in fruit trees with different planting ages in karst areas. In this study, the soils samples of plum trees with different planting ages (i.e. 2 a, 5 a and 20 a, respectively) in the process of rocky desertification control in Gongcheng county, Guilin were selected as the research objects. The soil respiration rates were monitored on a monthly basis by using alkali absorption method from which the influencing factors were investigated and the data were analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA) method. The results show that, (1) In a year time, the soil temperature and soil water content show a completely opposite seasonal trend, the change of soil respiration rate of the plum trees with different ages is basically consistent with the change of month, showing a multi-peak shape. On a seasonal scale, the soil respiration rate decreased gradually with the alternation of spring, summer, autumn and winter; (2) The planting ages of the plum trees have influence on soil respiration rate to different extents. The soil respiration rates of 2 a, 5 a and 20 a are $48.56 \text{ mgC} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, $45.63 \text{ mgC} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ and $41.64 \text{ mgC} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, respectively. This may be attributed to the higher soil respiration rate of the trees in their young stages (2 a) and full fruiting period (5 a), who require more carbon sources and nutrients for plant growth than the older ones (20 a). The higher respiration rate reflects higher organic metabolism and material circulation. Compared the plum trees of 2 a and 5 a, the underground ecosystem of the 20 a tree is relatively stable; and the soil respiration rate of the latter slightly decreases; (3) In the same period of high soil heat and high rainfall from April to August, there is a significant negative correlation between soil temperature and soil water content ($P < 0.01$), a significant negative correlation between soil temperature and soil respiration rate ($P < 0.01$), and a significant positive correlation between soil water content and soil respiration rate ($P < 0.01$), which are mainly caused by the lag effect of soil respiration on time scale.

Key words karst areas, rocky desertification ecosystem, soil respiration, planting ages, plum trees

(编辑 黄晨晖)