

陇东黄土高原不同林龄刺槐林土壤碳通量及其组分特征

马涛^{1,2}, 于洋³, 张峰¹, 董彦丽¹, 高金芳¹

(1. 甘肃省水土保持科学研究所, 兰州 730020; 2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 3. 中国水利水电科学研究院泥沙研究所, 北京 100048)

摘要: 基于红外气体分析技术, 对陇东黄土高原田家沟水土保持科技示范园不同林龄 (12, 14, 15, 18 a) 刺槐林土壤碳通量进行定位监测, 同时以荒草地为对照, 分析土壤碳通量日、季变化及组分特征。结果表明: 不同林龄刺槐林土壤碳通量日变化差异显著 ($P < 0.01$), 日变化趋势表现为昼高夜低的单峰曲线, 13:00—15:00 达到最大值, 最小值出现在 2:00—5:00; 不同季节间土壤碳通量差异显著 ($P < 0.01$), 具体表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季, 夏季土壤碳通量为冬季的 8.78~20.32 倍; 刺槐林春季土壤碳通量以自养呼吸为主, 夏、秋两季以异养呼吸为主, 冬季自、异养呼吸贡献率基本一样, 荒草地春、夏、秋 3 季以异养呼吸为主, 冬季与林地表现一致; 刺槐林年土壤 CO₂ 排放量随林龄增加而增加, 年排放量 2 069.63~4 590.35 g/m², 荒草地土壤 CO₂ 年排放量 2 806.27 g/m², 低于 18 a 刺槐林, 高于其余各林龄。研究结果为陇东黄土高原刺槐人工林土壤的固碳效应及经营措施提供依据。

关键词: 土壤碳通量; 林龄; 刺槐林; 陇东黄土高原

中图分类号: S718.55⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0196-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.05.031

Soil Carbon Flux and Component Characteristics in the Plantation of Different-aged *Robinia pseudoacacia* L. Forests in Longdong Loess Plateau

MA Tao^{1,2}, YU Yang³, ZHANG Feng¹, DONG Yanli¹, GAO Jinfang¹

(1. Soil and Water Conservation Institute of Gansu, Lanzhou 730020; 2. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; 3. Department of Sediment Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038)

Abstract: A typical artificial *Robinia pseudoacacia* plantation was used to study the characteristics of daily and seasonal soil carbon flux variation, and the changes of soil carbon flux components in different stand ages (12, 14, 15, 18 a) at Tianjiagou soil and water conservation technology garden of the Longdong Loess Plateau. Soil carbon flux was monitored using the infrared gas analysis technology and the grassland was used as control. The results indicated that the daily soil carbon flux of different ages showed significant difference ($P < 0.01$). The diurnal soil carbon flux trend presented a single peak curve. The highest value occurred in the daytime (13:00—15:00) while the lowest was detected at night (2:00—5:00). In addition, seasonal soil carbon flux exhibited significant difference of different ages ($P < 0.01$). The seasonal trends were in the order of summer > spring > autumn > winter. Soil carbon flux in summer was 8.78 to 20.32 times larger than that in winter. Soil carbon flux in spring was mainly with autotrophic respiration, while in summer and autumn with heterotrophic respiration, the contribution rate of autotrophic and heterotrophic respiration was basically the same in winter. For the grassland, soil carbon flux was mainly based on heterotrophic respiration in spring, summer and autumn, which was similar to *R. pseudoacacia* plantation in winter. The soil carbon flux of *R. pseudoacacia* plantation increased with the stand age with the annual soil carbon flux of 2 069.63 to 4 590.35 g/m². The annual soil carbon flux of grassland was 2 806.27 g/m², which was lower than that of the 18 a *R. pseudoacacia* plantation but higher than that of the other stand ages. Our study could provide a scientific basis for soil carbon sequestration and management measures of artificial *R. pseudoacacia* plantation in Longdong Loess Plateau.

Keywords: soil carbon flux; stand age; *Robinia pseudoacacia* plantation; Longdong Loess Plateau

森林是陆地生态系统的主体, 具有层次结构复杂、生命周期长、生物量和生长量高等特点。据估计^[1], 全

球森林生态系统碳储存量约为 854~1 505 Gt, 是陆地生态系统中最大的有机碳库, 在全球碳循环中具有重要作

用,而土壤呼吸作为森林土壤碳库主要输出过程之一,占森林生态系统碳排放的30%~80%^[2],是森林参与全球碳循环的关键部分,其产生的微小变化都会对全球碳循环和气候产生重要的影响^[3]。

黄土高原地区生态环境脆弱,植被恢复是该地区防治水土流失的主要方式,大规模植被恢复工程的开展改善了该地区的生态环境,同时也影响着黄土高原生态系统碳水循环。然而,较之北方森林和南方热带、亚热带森林,围绕黄土高原地区森林土壤碳通量研究较少,研究报道多在陕西^[4-6],主要针对不同林种之间或者不同土层深度土壤碳通量的对比研究。此外,对土壤碳通量的定位监测,人们也尝试了不同的测定方法,主要分为直接法和间接法^[7],其中,间接法因需建立所测指标与土壤碳通量间的定量关系而存在较大的时空局限性,该法只适用于特定的生态系统,测定结果也难以和其他方法直接比较;直接法分为静态气室法、动态气室法和微气象法^[8],相比之下,虽然动态气室法对空气流通速率和气室内外压力差敏感^[9],但它能更好地反映土壤碳通量的真实水平,适用于大部分土壤类型,且可连续测定,动态气室法结合便携式红外分析仪—动态红外气体分析法(IR-GA)是测量土壤碳通量的主导方向,是目前最理想的测定方法,是今后的主导方向。

刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)作为黄土高原地区主要的水土保持树种,其种植面积不断增大,在森林土壤碳储量方面具有重要地位。因此,本文以泾川县田家沟水土保持科技示范园不同林龄刺槐林为研究对象,定位监测不同林龄刺槐林土壤碳通量及其组分特征,同时以荒草地作为对照,估算土壤CO₂年排放量。以期为研究该地区刺槐人工林土壤的固碳效应以及经营方式提供依据。

1 研究区概况

研究区位于甘肃省平凉市泾川县田家沟水土保持科技示范园,示范园位于县城西北部3 km,地理坐标35°21′—35°27′ N,107°15′—107°23′ E,海拔1 028~1 374 m。研究区属黄土高原沟壑区,温带半湿润气候,多年平均气温10.1℃,≥10℃积温2 863℃,多年平均降水量514.5 mm,蒸发量1 237.9 mm,最大冻土深55 cm,无霜期174 d。土壤类型主要有黄绵土、灰褐土、红胶土,总体表现为钾丰富,缺氮少磷,有机质含量少。植被类型属森林草原,分为天然植被和人工植被两大类。天然植被包括豆科、禾本科、菊科等,残存灌木如紫荆、狼牙刺、沙棘和酸枣等;人工植被主要以用材林和经济林为主,如刺槐、侧柏、杨、柳、臭椿、榆、泡桐及苹果、梨、桃、杏等树种。研究区属甘肃陇东黄土高原地区,县域内人工林中刺槐林分布

面积最大,截至2015年末,刺槐栽植面积累计达到4.82万hm²,其中纯林面积3.92万hm²,达到县域宜林面积的60%~70%。

2 研究方法

选取12,14,15,18 a林龄刺槐林和对照荒草(冰草)地共5个样地,每个样地设置5个测量环作为重复,林地中树干边布置3个测量环,2株树中间布置2个测量环;荒草地测量环随机布置,进行土壤碳通量测定。将直径200 mm的PVC土壤测量环于测定前1 d打入土中6~8 cm,出露地表5~6 cm,将测量环内植被自土壤表层剪除干净,尽量做到不破坏地表原状土。测定时每个测量环分别测量2次,取平均值计为测量时间点该环的土壤碳通量,5个测量环测量结果的平均值记为测量时间点测量样地的土壤碳通量。每个测定周期24 h,9:00开始,次日7:00结束。具体为9:00—17:00每2 h测定1次,17:00—次日7:00每3 h测定1次,共计10次。季节变化测定为春季(2015年4月)、夏季(2015年7月)、秋季(2015年9月)、冬季(2016年2月)。

2.1 试验地基本特征

选取的刺槐林和对照荒草(冰草)样地基本情况如表1所示。

2.2 土壤碳通量测定方法

土壤碳通量采用LI-8100土壤碳通量自动测量系统测定,该系统采用非扩散红外气体分析原理,可进行精确、自动、重复测量,连续监测,同时具有强大的数据分析处理功能,可提供包括土壤碳通量等在内的最终结果数据。该仪器的测量原理、测量过程及主要特点见文献^[10]。土壤碳通量的计算公式为:

$$F_c = \frac{10VP_0 \left(1 - \frac{W_0}{1000}\right) \partial C'}{RS(T_0 + 273.15) \partial t'}$$

式中: F_c 为土壤CO₂排放通量($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$); V 为测量室体积(cm^3); P_0 为测量室初始压力(kPa); W_0 为测量室初始水分含量(mmol/mol); R 为气体常数; S 为基座内土壤表面积(cm^2); T_0 为测量室初始空气温度($^{\circ}\text{C}$); $\partial C'/\partial t'$ 为CO₂浓度随水分含量变化的变化速率($1/(\mu\text{mol} \cdot \text{s})$)。测定土壤碳通量的同时,用LI-8100自带的温度探针同步测定观测点附近土壤温度(5 cm),利用气温计同步观测记录大气温度和地表温度。

2.3 土壤碳通量组分测定

采用根去除法^[11],于2015年3月在各样地中挖1 m×1 m×1 m剖面,林地中剖面位置选择在相邻4株树的中间,荒草地位置随机选择。挖出的土体分层堆置,取出所有根系后,按土壤剖面分层回填,回填前

铺设塑料膜隔离。回填后自然沉降、恢复 1 个月。测量前 1 d 布置 1 个测量环,与样地中其余测量环同步

测量,组分测量环测量 3 次,取平均值计为测量时间点组分处理的土壤碳通量,即土壤异氧呼吸量。

表 1 样地基本情况

样地	地理坐标	坡度/ (°)	坡向	坡位	平均 树高/m	平均 胸径/cm	高程/ m	密度/ (株·hm ⁻²)
12 a 刺槐林	35°22'16"N 107°21'29"E	15~30	西北	中	8.73	8.87	1077	3575
14 a 刺槐林	35°22'46"N 107°21'19"E	15~30	西北	中下	9.17	9.95	1076	3669
15 a 刺槐林	35°22'25"N 107°21'24"E	15~30	西南	中下	9.84	10.36	1098	3215
18 a 刺槐林	35°21'58"N 107°21'46"E	15~30	西南	中	11.03	12.33	1074	3892
荒草地	35°22'05"N 107°21'29"E	<5		岭顶	—	—	1151	—

2.4 数据统计与分析

试验数据均用 Excel 2007 分析绘图,SPSS 21.0 做相关性分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验土壤碳通量日变化、季节变化的差异显著性。

3 结果与分析

3.1 土壤碳通量日变化特征

由图 1 可知,春、夏、秋、冬季刺槐林土壤碳通量日变化规律基本一致,均表现为昼高夜低的单峰型曲线,与温度的变化趋势一致(图 2)。自上午 9:00 开始,土壤

碳通量逐渐增大,13:00—15:00 达到最大值,之后土壤碳通量逐渐减小,次日 2:00—5:00 达到最小值,7:00 呈现缓慢上升趋势。经单因素方差分析,不同样地间土壤碳通量日变化差异显著($P < 0.01$)。

春季 12, 14, 15, 18 a 刺槐林和荒草地(对照)日均土壤碳通量分别为 2.07, 2.18, 1.95, 3.66, 2.51 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,大小排序为 18 a > 荒草地(对照) > 14 a > 12 a > 15 a;土壤碳通量日变幅分别为 58.94%, 86.24%, 82.56%, 72.13%, 87.25%,大小依次为荒草地(对照) > 14 a > 15 a > 18 a > 12 a。

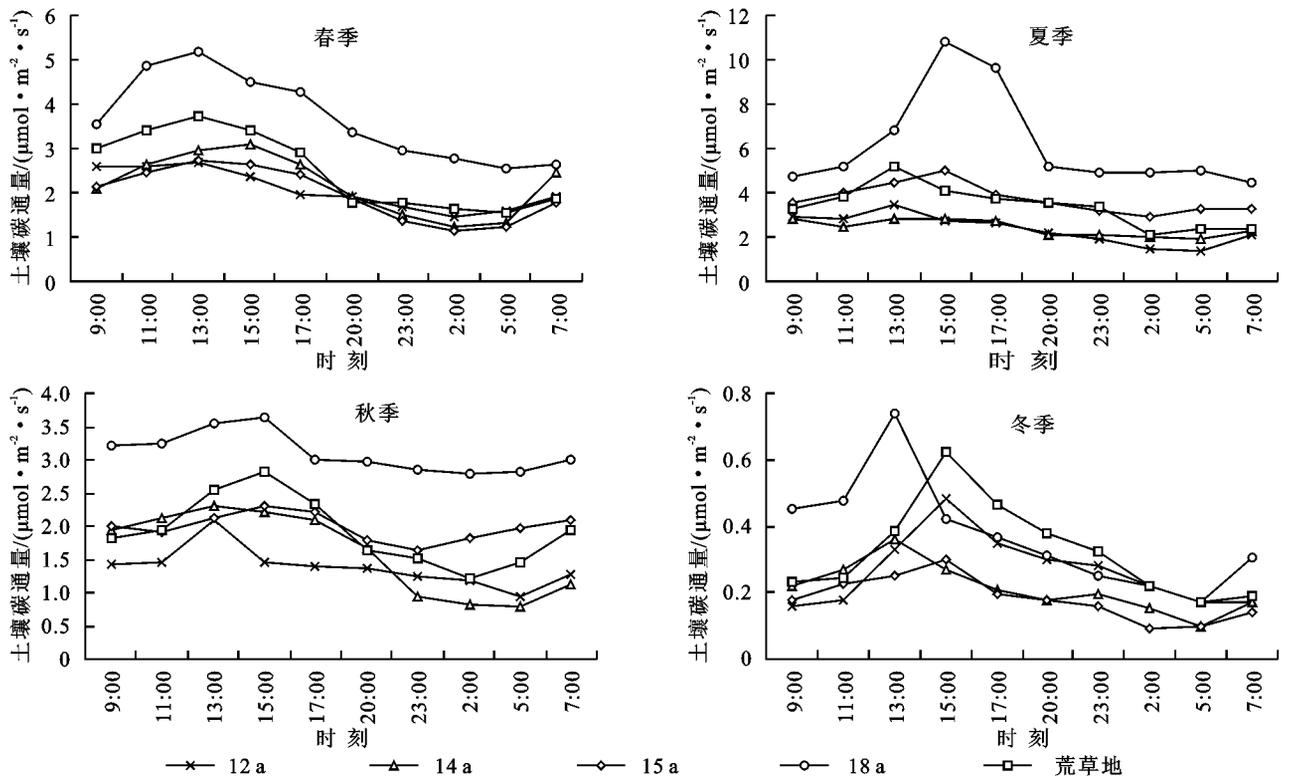


图 1 土壤碳通量日变化特征

夏季各样地日均土壤碳通量分别为 2.36, 2.41, 3.70, 6.36, 3.39 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表现为 18 a > 15 a > 荒草地(对照) > 14 a > 12 a;昼夜变化幅度分别为 86.44%, 37.34%, 48.38%, 100.47%, 89.68%,变幅

依次为 18 a > 荒草地(对照) > 12 a > 15 a > 14 a。

秋季各样地日均土壤碳通量分别为 1.38, 1.60, 1.99, 3.10, 1.92 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,大小排序与夏季一致;昼夜变化幅度分别为 82.61%, 95.63%, 32.16%, 27.74%, 84.9%,变

幅大小排序为 14 a>荒草地(对照)>12 a>15 a>18 a。

冬季各样地日均土壤碳通量分别为 0.26,0.21,0.18,0.37,0.32 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,大小顺序为 18 a>荒草

地(对照)>12 a>14 a>15 a。日变幅分别为 119.23%,123.81%,116.67%,154.05%,140.63%,变幅依次为 18 a>荒草地(对照)>14 a>12 a>15 a。

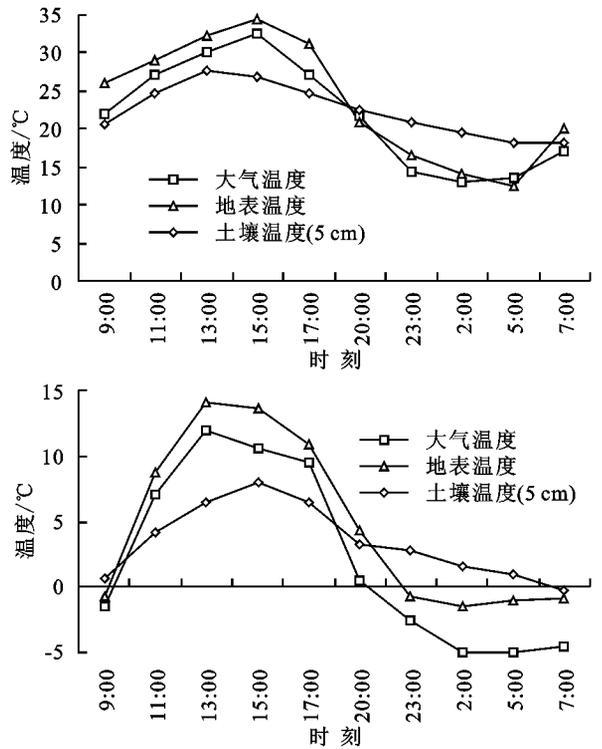
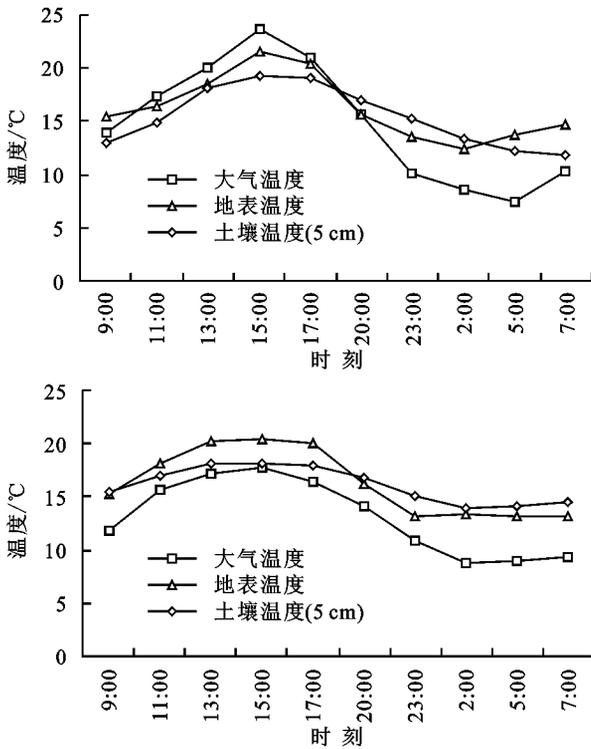


图 2 温度日变化特征

3.2 土壤碳通量季节变化特征

由图 3 可知,各样地土壤碳通量均表现出明显的季节变化特征。夏季植物生长旺盛,土壤活性强,土壤碳通量最高,春季和秋季次之,冬季最低。刺槐林年均土壤碳通量大小排序为 18 a($3.33 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)>15 a($1.96 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)>14 a($1.60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)>12 a($1.52 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),可以看出随着林龄的增加,土壤碳通量有明显的升高趋势。荒草地(对照)年均土壤碳通量为 $2.03 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,处于 18 a 和 15 a 林龄刺槐林之间。经单因素方差分析,不同林龄刺槐林春、夏、秋、冬季土壤碳通量差异性均达到显著($P<0.01$)。

3.3 土壤 CO₂ 年排放量

土壤碳通量作为陆地生态系统碳通量第 2 大组成部分,在全球碳循环中扮演着极其重要的角色^[12]。本项目土壤 CO₂ 排放量估算利用日均土壤碳通量,换算季度土壤 CO₂ 通量,进而估算全年土壤 CO₂ 排放量。计算公式为:

$$G_c = \sum_{i=1}^4 F_{ci} \times n$$

式中: G_c 为土壤 CO₂ 年排放通量($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$); F_{ci} 为日均土壤碳通量($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$); i 为春、夏、秋、冬季; n 为春、夏、秋、冬季的自然天数。

3.3.1 季度土壤 CO₂ 通量 由表 2 可知,各样地均

表现为夏季土壤 CO₂ 通量最高,其次是春季、秋季,冬季最低。12,14,15,18 a 刺槐林和荒草地(对照)夏季土壤碳通量分别达到冬季的 8.78,11.33,20.32,16.98,10.50 倍。

表 2 季度土壤 CO₂ 通量
单位: $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

季度	12 a 刺槐林	14 a 刺槐林	15 a 刺槐林	18 a 刺槐林	荒草地
春季	327.93	345.07	311.09	579.98	401.97
夏季	366.51	381.98	586.16	977.49	530.22
秋季	212.68	253.53	314.42	491.49	304.18
冬季	41.75	33.70	28.84	57.55	50.48

3.3.2 土壤 CO₂ 年排放量 由表 3 可知,各样地土壤 CO₂ 年排放量依次为 $4\ 590.35 \text{ g}/\text{m}^2$ (18 a)> $2\ 806.27 \text{ g}/\text{m}^2$ (荒草地)> $2\ 703.45 \text{ g}/\text{m}^2$ (15 a)> $2\ 212.93 \text{ g}/\text{m}^2$ (14 a)> $2\ 069.63 \text{ g}/\text{m}^2$ (12 a)。表现出随着林龄的增加,土壤 CO₂ 排放量升高。

表 3 土壤 CO₂ 年排放量估算表
单位: $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

时间	12 a	14 a	15 a	18 a	荒草地
春季	716.20	753.64	679.41	1266.68	877.91
夏季	791.66	825.08	1266.10	2111.39	1145.28
秋季	469.59	559.80	694.25	1085.21	671.63
冬季	92.18	74.41	63.69	127.07	111.45
土壤 CO ₂ 年排放量	2069.63	2212.93	2703.45	4590.35	2806.27

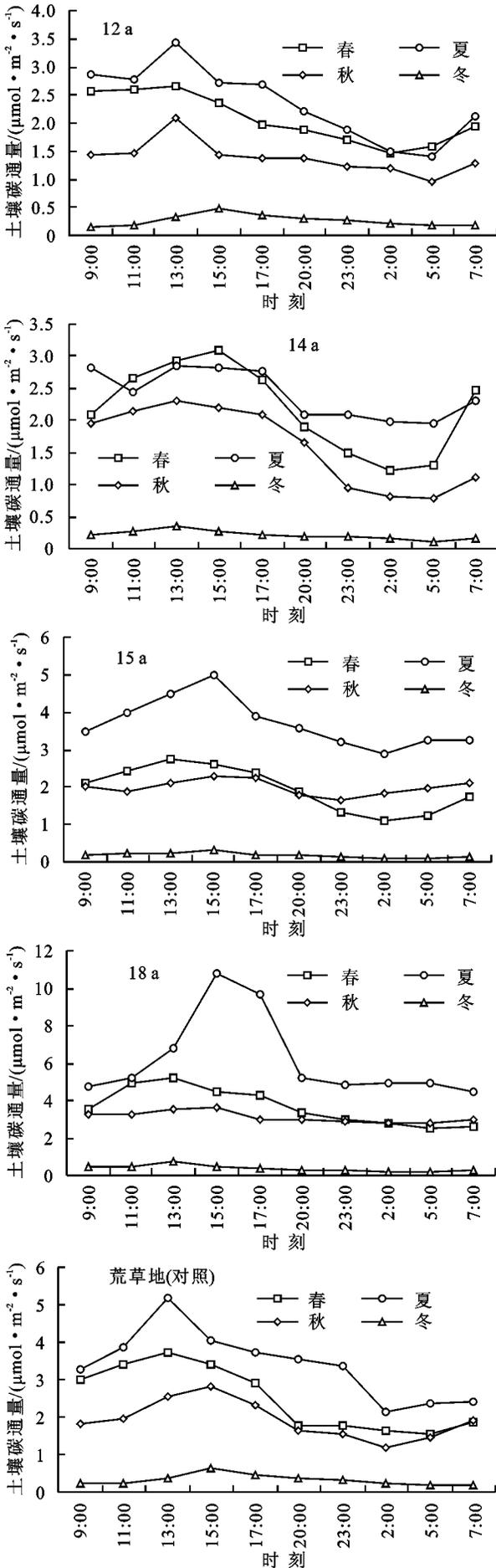


图 3 土壤碳通量季节变化动态特征

3.4 土壤碳通量组分特征

由图 4 可知,各样地异养呼吸与土壤碳通量的季节变化规律一致,夏季最高,冬季最低。

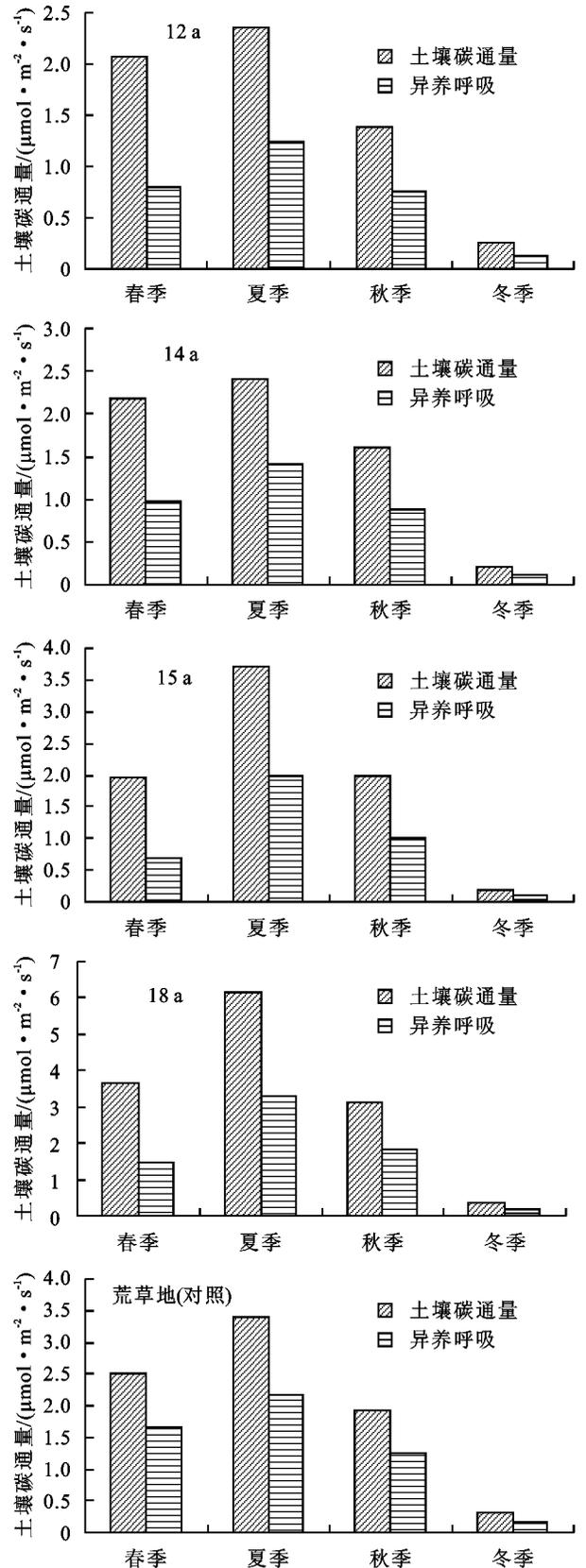


图 4 土壤碳通量组分特征

不同林龄刺槐林在各季节中异养呼吸占土壤碳通量的比例变化基本一致。春季,土壤异养呼吸占土

壤碳通量的 35.64%~44.99%,夏、秋两季异养呼吸占土壤碳通量的比例为 50.38%~59.62%,冬季异养呼吸占比为 48.61%~54.92%。

荒草地春、夏、秋、冬季异养呼吸分别占土壤碳通量的 66.66%,64.39%,65.09%,49.59%。

4 讨论

4.1 土壤碳通量日变化

大多森林土壤 CO₂ 通量具有明显的日变化趋势^[13]。本研究表明,各样地土壤碳通量日变化趋势均表现为昼高夜低的单峰型曲线,研究结果与陕西杨凌地区刺槐纯林土壤碳通量日变化测量结果和太行山南段低丘区 43 a 刺槐土壤碳通量日变化研究结果一致^[6,13]。夏、秋两季随林龄增加,日均土壤碳通量变大。荒草地(对照)日均土壤碳通量在各季节中表现为小于 18,15 a 刺槐林,大于 14,12 a 刺槐林。荒草地(对照)土壤碳通量日变幅在各季节中均较大,变幅为 84.90%~140.63%。主要由于刺槐林林冠层有效的遮挡了太阳辐射,降低了到达地面的能量,影响了决定土壤碳通量大小的土壤温度、土壤湿度以及土壤生物因子的活性,以至降低了土壤碳通量的日变幅范围,而荒草地较林地而言,缺少冠层拦挡,可大大增加到达地面的能量,使得土壤温度、土壤湿度更贴近于自然变化状态,因而其表现出的土壤碳通量日变幅较大。

4.2 土壤碳通量季节变化特征

土壤碳通量是一个受生物和非生物因素控制的非常复杂的过程,而这些生物和非生物因素可能会随着季节的变化而发生变化,从而导致土壤碳通量具有明显的季节特征^[14]。本研究结果显示,各样地土壤碳通量均表现出明显的季节变化特征,夏季最高,其次为春季和秋季,冬季最低。12,14,15,18 a 刺槐林和荒草地(对照)夏季土壤碳通量分别是冬季的 8.78,11.33,20.32,16.98,10.50 倍。土壤碳通量呈现季节变化的原因:夏季土壤水热条件优越,土壤微生物活动剧烈,植物根系生长旺盛,处于碳蓄积状态,促使土壤以较快的速度排放 CO₂;而冬季植物处于生长末期或休眠期,生长缓慢或停止生长,环境条件也是一年中最不利时期,制约了土壤生物的活性,从而使土壤碳通量在冬季最小。研究结果与张劲松等^[15]对华北石质山区刺槐人工林季节变化趋势一致。12,14,15,18 a 刺槐林相邻 2 个林龄年均土壤碳通量增长率分别达到 5.26%,22.50%,69.90%,表现出 12~18 a 刺槐林随林龄增加,年均土壤碳通量增幅加大,反映出黄土高原区此林龄段刺槐林属于碳蓄积阶段。

方差分析结果显示,不同林龄刺槐林春、夏、秋、

冬季土壤碳通量差异显著($P < 0.01$),荒草地(对照)年均土壤碳通量为 $2.03 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,处于 18 a 和 15 a 林龄刺槐林之间。一方面与荒草地(对照)样地地表植被覆盖度高于林地地表,根系分布均匀有关;另一方面林地中林冠层的存在影响了林地小气候,改变了到达地面的太阳辐射,使得林地中大气、地表、土壤温度与太阳直接辐射的荒草地(对照)有所不同,尤其在夏季,荒草地(对照)大气、地表、土壤温度明显高于林地,从而影响土壤碳通量的变化。

4.3 土壤组分

土壤呼吸主要包括自养呼吸(根呼吸)和异养呼吸(微生物呼吸)2部分^[16],植物-土壤系统中根系呼吸与土壤异养呼吸的区分,是定量研究根圈碳通量的关键和难点之一^[17]。研究不同类型生态系统对土壤碳通量及其组分的影响,不仅对深入了解土壤碳通量与碳循环的内在机制有着重要的理论价值,还可以为科学评价水土保持生态建设在应对气候变化方面的作用提供科学依据^[18]。

本研究表明,刺槐林春季土壤碳通量以自养呼吸为主,夏、秋两季以异养呼吸为主,冬季自、异养呼吸对土壤碳通量的贡献率基本一样;荒草地表现为春、夏、秋 3 季以异养呼吸为主,冬季与林地表现一致。各样地夏、秋两季土壤异养呼吸占比较高,原因为夏、秋两季在一年当中温度较高,土壤水热条件优越,生物活性强,根系生长引起的根系周围土壤内部物质的分解转化速率快,使得土壤异养呼吸作用明显。

根呼吸是土壤碳通量的主要形式之一,不同生态系统中,植物根系对土壤总呼吸的贡献率(RC)存在差异性。森林生态系统的研究表明^[19],森林土壤呼吸的近 2/3 是由林木根呼吸产生,且有很大的变异性,全球森林系统中,植物 RC 的范围为 10%~90%,大多数为 40%~60%,且受林地类型、纬度、测定季节、测定方法等多种因素影响。Hanson 等^[20]通过 37 个森林生态系统样点和 14 个草地或农田生态系统样点的研究,估算了全球生态系统中植物 RC 值,结果表明,该值为 40%~50%,平均为 48%,其中森林生态系统和非森林系统 RC 分别为 48.6%和 36.7%。本研究表明,不同林龄刺槐林 RC 值在 47.22%~51.58%,与杨玉盛等^[19]和 Hanson 等^[20]的研究结果一致。

植被类型是影响土壤碳通量的一个显著因子。植物群落组成不同,光合作用同化的碳素分配到根系自养呼吸的比例就不同^[21],而且也会造成凋落物质量和数量的差异,从而共同影响土壤碳通量。本研究结果表明,12 a 刺槐林异养呼吸所占比例为 48.42%,14 a 刺槐林异养呼吸所占比例为 52.78%,18 a 刺槐林异养呼吸所占比例为 51.03%。可以看出,随着林龄的增加,土壤异

养呼吸占土壤碳通量的比例有缓慢上升的趋势,这也反映出长时间植被恢复能够使土壤质量得到改善。荒草地异养呼吸占比较林地高,为 64.67%,主要由于草地根系不如林地根系发达,其对土壤碳通量的贡献率相应较小,主要表现为异养呼吸。

4.4 土壤 CO₂ 年排放量

刺槐林土壤 CO₂ 年排放量随林龄的增加而增加,荒草地(对照)土壤 CO₂ 年排放量低于 18 a 刺槐林,高于其余各林龄。土壤 CO₂ 年排放量在荒草地中表现出较高的水平,可初步启示在陇东黄土高原区营造人工林时应提倡低覆盖度造林,确定合理造林密度,加强抚育管理,合理疏伐,建立稳定的乔灌草立体结构,以充分利用环境能量,改善林木生活环境。土壤 CO₂ 年排放量的相关研究在陇东黄土高原地区尚未见报道。在本文刺槐林林龄序列范围,土壤 CO₂ 年排放量呈升高趋势,说明随着林龄增加,土壤碳储量增加。建议在陇东黄土高原地区刺槐林主伐林龄放在 18 a 之后,促使刺槐林生态系统很好的发挥碳汇功能。同时下一步工作需增加林龄序列,延长土壤碳通量测定时间,确定土壤 CO₂ 年排放量峰值对应的林龄,从而更好的从碳循环角度指导区域刺槐林生态系统的经营与管理。

5 结论

(1) 各样地土壤碳通量日变化均表现为单峰型曲线,13:00—15:00 达到最大值,最小值出现在 2:00—5:00,不同林龄刺槐林土壤碳通量日变化差异显著($P < 0.01$)。夏、秋两季随林龄增加,日均土壤碳通量变大。

(2) 各样地土壤碳通量均表现出明显的季节变化特征,夏季最高,其次为春季和秋季,冬季最低,夏季土壤碳通量为冬季的 8.78~20.32 倍。不同林龄刺槐林春、夏、秋、冬季土壤碳通量差异显著($P < 0.01$)。

(3) 刺槐林春季土壤碳通量以自养呼吸为主,夏、秋两季以异养呼吸为主,冬季自、异养呼吸对土壤碳通量的贡献率基本一样。荒草地表现为春、夏、秋 3 季以异养呼吸为主,冬季与林地表现一致。

(4) 刺槐林土壤 CO₂ 年排放量随林龄的增加而增加,年排放量 2 069.63~4 590.35 g/m²,荒草地(对照)土壤 CO₂ 年排放量 2 806.27 g/m²,低于 18 a 刺槐林,高于其余各林龄。

参考文献:

[1] IPCC. Land use, land-use change, and forestry-A special report of the IPCC[M]. New York: Cambridge University Press, 2000.

[2] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change[J]. Nature, 2006, 440(7081): 165-173.

[3] 雷蕾,肖文发,曾立雄,等. 马尾松林土壤呼吸组分对不同营林措施的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5360-5370.

[4] 董莉茹,许明祥,孙会. 黄土丘陵区刺槐林土壤碳通量模拟研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(6): 122-130.

[5] 周正朝,上官周平. 黄土高原人工刺槐林土壤呼吸及其与土壤因子的关系[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 280-285.

[6] 秦娟,上官周平. 白榆/刺槐不同林型生长季土壤呼吸速率的变化特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 91-98.

[7] 苏永红,冯起,朱高峰,等. 土壤呼吸与测定方法研究进展[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 57-65.

[8] 魏书精,罗碧珍,魏书威,等. 森林生态系统土壤呼吸测定方法研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(3): 504-514.

[9] 陈宝玉,王洪君,杨建,等. 土壤呼吸组分区及其测定方法[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(1): 96-99.

[10] 赵广东,王兵,杨晶,等. LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统及其应用[J]. 气象科技, 2005, 33(4): 363-366.

[11] 丁杰萍,罗永清,周欣,等. 植物根系呼吸研究方法及其影响因素研究进展[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 206-216.

[12] 张慧东,尤文忠,魏文俊,等. 非生长季森林土壤 CO₂ 通量及其对冻融过程的响应[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(28): 190-192.

[13] 赵娜. 太行山南段低丘区不同土地利用方式土壤碳通量组成及其影响机理[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.

[14] 王国兵,唐燕飞,阮宏华,等. 次生栎林与火炬松人工林土壤呼吸的季节变异及其主要影响因子[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 966-975.

[15] 张劲松,孟平,王鹤松,等. 华北石质山区刺槐人工林的土壤呼吸[J]. 林业科学, 2008, 44(2): 8-14.

[16] Zhang Q, Lei H, Yang D. Seasonal variations in soil respiration, heterotrophic respiration and autotrophic respiration of a wheat and maize rotation cropland in the North China Plain[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 180(10): 34-43.

[17] 周萍,刘国彬,薛菱. 草地生态系统土壤呼吸及其影响因素研究进展[J]. 草业学报, 2009, 18(2): 184-193.

[18] 肖胜生,熊永,段剑,等. 基于组分区分的南方红壤丘陵土壤呼吸对植被类型转换的响应[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 123-131.

[19] 杨玉盛,董彬,谢锦升,等. 林木根呼吸及测定方法进展[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 426-434.

[20] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, et al. Separating root and soil microbial contribution to soil respiration: A review of methods and observations[J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 115-146.

[21] Keith H, Jacobsen K L, Raison R J. Effects of soil phosphorus availability, temperature and moisture on soil respiration in Eucalyptus pauciflora forest [J]. Plant and Soil, 1997, 190(1): 127-141.