

新疆三工河流域柽柳群落细根生产与周转 对土壤有机碳的贡献

王健健^{1,2}, 赵学春^{1,2}, 来利明¹, 朱林海¹, 王永吉^{1,2}, 周继华^{1,2},
姜联合¹, 马远见³, 赵春强³, 郑元润^{1*}

(1. 中国科学院植物研究所,北京 100093; 2. 中国科学院大学,北京 100049;
3. 青城山-都江堰旅游景区管理局,四川 都江堰 611843)

摘要:在2010年整个生长季内,采用土钻法和内生法,对新疆干旱区柽柳细根生物量、季节动态、分解与周转进行了研究。结果表明:柽柳群落土壤含水量随着土层深度的增加而增加。10~20 cm 土层土壤有机碳储量最大,随后随着土壤深度的增加,有机碳含量逐渐降低。方差分析表明:不同土层有机碳含量差异显著。细根生物量的月平均值为 $54.51 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,群落细根生产量为 $58.64 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。细根生物量呈明显的季节变化趋势,即5—9月逐渐增加,9月达到最大值,9—10月逐渐下降;在土壤剖面垂直变化上,细根生物量随土层深度的增加呈先增加后降低的趋势,0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm 各土层细根生物量所占比例分别为19.53%、30.05%、26.41%、12.01%、7.33%、4.67%。双因素方差分析表明:不同取样时间、不同土层之间的活细根生物量、死细根生物量均差异极显著。柽柳群落细根年分解量、年死亡量、净生产力分别为 17.41 、 33.75 、 $83.60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年周转率为 $1.98 \text{ 次} \cdot \text{a}^{-1}$,通过细根死亡进入土壤中的有机碳为 $(42.68 \pm 5.40) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,占土壤有机碳含量的2.12%。这表明,尽管柽柳群落通过细根周转进入土壤中的有机碳仅占现存土壤有机碳的一小部分,但从较长的时间尺度来看,柽柳群落细根对干旱区生态系统地下有机碳的补充具有重要作用。

关键词:柽柳群落;细根生物量;细根分解与周转;土壤有机碳

中图分类号:S793.5

文献标识码:A

Contribution of Fine Root Production and Turnover to Soil Organic Carbon in *Tamarix ramosissima* Community in Sangong River Basin of Xinjiang, China

WANG Jian-jian^{1,2}, ZHAO Xue-chun^{1,2}, LAI Li-ming¹, ZHU Lin-hai¹, WANG Yong-ji^{1,2},
ZHOU Ji-hua^{1,2}, JIANG Lian-he¹, MA Yuan-jian³, ZHAO Chun-qiang⁴, ZHENG Yuan-run¹

(1. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Qingchengshan-Dujiangyan Scenic Spots Authority, Dujiangyan 611843, Sichuan, China)

Abstract: The fine root production and turnover are important parts of the terrestrial ecosystem carbon cycle, but few researches were conducted on fine root turnover and its contribution to soil carbon cycling of *Tamarix ramosissima* Lour. community in arid ecosystem. In this research, a typical native *T. ramosissima* community was selected, and the continuous soil drilling method and fine root bag method were used to investigate the monthly fine root dynamic, production and fine root turnover from May to October, 2010 (the whole growing season). The results showed that

收稿日期:2013-09-02

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2009CB825103)

作者简介:王健健(1985-),男,在读博士研究生,研究方向为植被生态学。E-mail:wangjj33209@ibcas.ac.cn

* 通讯作者。E-mail:zhengyr@ibcas.ac.cn

the soil water content increased with the depth of soil, while the soil organic carbon decreased. The mean fine root biomass in the community was $93.10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ and the live fine root biomass and dead fine root biomass were 73% and 27% of total fine root biomass in the community, respectively. The dynamics of biomass and necromass of fine root in the *T. ramosissima* community showed the same pattern in the growing season, the biomass slightly increased from May to September, and then decreased. The fine root biomass in the community increased at first, and then reduced gradually with the increase of soil depth. The fine root biomass in 0–40 cm soil layer was the largest parts, with 88.01% of total fine root biomass for the community. The fine root decomposition rate showed a sharp decline to the minimum then declined steadily for the community, and the annual fine root decomposition rate was 51.24% for the community. 351 days and 1 359 days were needed to reach half decomposition and 95% decomposition for the community. The net productivity of fine root in the community was $118.81 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, the fine root annual turnover rate was $1.98 \text{ times} \cdot \text{a}^{-1}$, and the annual input from fine root mortality to underground soil organic carbon was $42.68 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. These results showed that the annual input from fine root turnover to underground soil organic carbon counted for only a small portion of the soil organic carbon, however, in a long time, the fine root carbon is a crucial for soil carbon pool in arid area.

Key words: *Tamarix ramosissima* community; fine root biomass; fine root decomposition and turnover; soil organic carbon

细根是植物根系的重要组成部分,同时也是植物获得水分和养分的主要器官^[1]。细根一方面将土壤中的水分和营养物质源源不断地运输到植物地上部分,另一方面又以细根周转的方式将植物生产的碳水化合物归还土壤,增加土壤的有机质含量^[2]。此外,细根的生产与周转对环境因子变化非常敏感,在全球变化背景下,细根生产与周转的变化将会改变土壤养分的供给量,进而影响整个生态系统的碳循环^[3]。因此,细根生产与周转的研究日益受到重视,准确估算细根生产与周转成为研究陆地生态系统碳分配格局与过程的核心环节^[4];但由于细根位于地下,空间分布异质性很大,取样困难,导致细根对土壤碳库贡献的研究远少于对地上部分的研究^[5],且目前的研究主要集中在森林、草地和农田生态系统,对面积巨大的干旱区生态系统研究较少^[2,4]。我国干旱区面积辽阔,土壤碳库是干旱区生态系统碳库中最活跃的组分,在调节干旱区生态系统碳循环和减缓全球气候变化中起重要作用^[6];但干旱区生态系统较为脆弱,易受环境变化的影响,而细根连接着植物和土壤,细根的生产与周转对干旱区地下碳过程具有重要作用,因此,深入研究干旱区典型植被细根生产与周转及其对土壤有机碳的贡献意义重大。

怪柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)是我国干旱区和盐碱地典型的灌木植被,具有极强的抗干旱、耐盐碱特性,对维持荒漠生态系统的稳定性具有重要意义^[7]。国内外学者对怪柳的研究主要集中在形态

特征、繁殖策略、抗逆性和对环境因子变化的响应等方面^[8],对细根动态的研究较少,尤其怪柳通过细根分解与周转对土壤有机碳的贡献未见报道,本研究力图阐明怪柳群落细根动态及其对土壤有机碳的贡献,为准确评估干旱区生态系统土壤碳储量现状、速率、潜力及机制提供基础数据。

1 研究区概况

研究地点位于新疆维吾尔自治区昌吉州阜康市境内的三工河流域,天山博格达峰北麓,准葛尔盆地南缘,是绿洲与荒漠的过渡带。研究区域属典型的温带大陆性气候,冬季寒冷漫长,夏季炎热,干旱少雨,蒸发剧烈。年平均气温 6.6°C ,最高气温 42.6°C ,最低气温 -41.6°C ;年均降水量 164 mm,年均蒸发潜量 $1\,780 \sim 2\,453 \text{ mm}$,冬季平均积雪厚度 29 cm,无霜期 174 d。土壤类型为盐化草甸土,土壤 pH 值 $7.5 \sim 9.3$ 。植被类型是典型的荒漠植被,主要以低矮灌木、荒漠化半灌木为主,除短命植物和 1 年生植物外,几乎都是旱生、超旱生植物,代表植物有怪柳、盐爪爪(*Kalidium foliatum* (Pall.) Moq.)、梭梭(*Haloxylon ammodendron* (Mey.) Bunge.)、碱蓬(*Suaeda acuminata* (C. A. Mey.) Moq.)和骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)等。研究区域怪柳群落高 68 cm,盖度 50%,密度 $2\,163 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。样地海拔 465 m,地理坐标为 $44^\circ 18.196' \text{N}$, $87^\circ 51.519' \text{E}$,伴生种为小果白刺(*Nitraria sibirica* Pall.)、叉毛蓬

(*Petrosimonia sibirica* (Pall.) Bunge)。

2 研究方法

2.1 样地设置与样本采集

在研究区选取生长良好、分布均匀、面积在 1 hm⁻² 以上的柽柳群落建立样地,采用土柱法测定活细根 (< 2 mm) 生物量与死细根生物量。2010 年 4 月,在柽柳群落内设置 3 个 30 m × 30 m 的样方,并在每个样方内,沿对角线随机设置 3 个 50 cm × 50 cm 的采样点,每隔 10 cm 收取土样,土壤剖面挖至 60 cm 为止。在 2010 年 5 月至 10 月,每隔 1 月取 1 次样品,共挖取 18 个土柱。样品带回实验室后,用 0.2 mm 筛子冲洗,去除杂质,仅留直径小于 2 mm 的细根,根据细根的颜色、弹性、根皮与中柱分离的难易程度区分死细根与活细根,于 65℃ 烘干后称质量。

在进行细根生物量测定的同时,在每个 30 m × 30 m 的样方内,紧靠根系采样点,同时选取 3 个样点进行土壤样品采集,采样时去掉地表凋落物,用土钻依次钻取 0 ~ 5、5 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30、30 ~ 40、40 ~ 50、50 ~ 60 cm 处的土层各约 400 g,用于测定土壤含水量、土壤有机碳含量(其中,土壤有机碳第 1 层取样为 0 ~ 5 cm 和 5 ~ 10 cm 的混合样),用环刀依次取 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30、30 ~ 40、40 ~ 50、50 ~ 60 cm 处的土样测定土壤密度。

采用尼龙网袋法进行细根分解分析。于 2010 年 5 月末,将处理好的细根准确称取 5 g 装入尼龙网袋(长宽 10 cm × 15 cm、网孔大小 0.12 mm)中,并随机埋入样地内 15 ~ 20 cm 深的土壤中,共计 25 袋,从 6 月末开始,每隔 1 个月随机收集 5 袋样品,直到 25 袋全部取完。

土壤和细根的有机碳含量用重铬酸钾外加热法测定;土壤含水量采用烘干称质量法测定。

2.2 数据分析

数据分析均在 SPSS16.0 中完成。用双因素方差分析(two-way ANOVA)和 Duncan 法比较取样时间和土层对有机碳含量、活细根生物量和死细根生物量的差异。显著性水平设定为 $p = 0.05$ 。应用 Olsen 指数衰减模型^[9]对细根分解速率进行拟合。

2.2.1 细根周转率^[1,13]

$$M = M_{\max} - M_{\min} + D \quad (1)$$

$$P = P_{\max} - P_{\min} + M \quad (2)$$

$$T = \frac{P}{Y} \quad (3)$$

式(1)~(3)中: M 、 P 、 D 、 T 分别为细根年死亡量、年生产量、年分解量($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)和周转速率($次 \cdot a^{-1}$), M_{\max} 、 M_{\min} 为死根现存量的最大值和最小值, P_{\max} 、 P_{\min} 和 Y 分别为活细根现存量的最大值、最小值和平均值。

2.2.2 细根分解速率^[14]

$$W_t = W_0 e^{-kt} \quad (4)$$

式(4)中: t 为分解时间, W_0 为起始时细根质量, W_t 为时间 t 时细根残留质量, k 为细根分解速率系数。

2.2.3 土壤有机碳储量 根据 0 ~ 60 cm 土层的有机碳含量及相应的土壤密度计算土壤有机碳储量。

3 结果与分析

3.1 土壤水分与土壤密度

由图 1 可见:随土壤深度的增加土壤含水量逐渐增加。8 月的土壤含水量最高,其次是 6 月,7 月的最低。由于 9、10 月份土壤样品丢失,因而本研究中只有 6、7、8 三个月份的土壤含水量数据。由表 2 可见:土壤密度随土层深度的增加呈逐渐增加趋势。

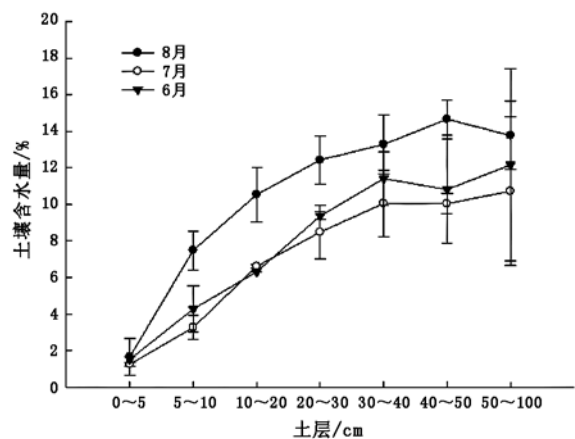


图 1 柽柳群落不同深度土壤含水量的月变化 (平均值 ± 标准误差)

表 1 柽柳群落不同土层的土壤密度

($g \cdot cm^{-3}$)

项目	土层/cm					
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 60
土壤密度/($g \cdot cm^{-3}$)	1.22 ± 0.10	1.22 ± 0.15	1.25 ± 0.24	1.34 ± 0.30	1.32 ± 0.30	1.39 ± 0.19

注:表中数据为平均值 ± 标准误差。

3.2 细根生物量及生产量

桤柳群落细根生物量月平均值为 $57.96 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 活细根与死细根生物量分别为 42.15 、 $15.81 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (表2,3)。桤柳群落的活细根生物量与死细根生物量分别占总细根生物量的73%、27%, 细根生物量的垂直分布表现为先增加后减少的趋势; $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层细根生物量较小, $10 \sim 20 \text{ cm}$ 土层细根

生物量较大, 其后, 随土层深度的增加而逐渐减少; 群落的细根生物量在5—9月逐渐增加, 9月时活细根和死细根生物量均达到最大值, 随后开始下降(图2)。双因素方差分析(表4)表明: 不同的取样时间与不同的土层的活细根生物量与死细根生物量分布存在极显著差异。根据公式(2)计算得出, 群落细根生产量为 $58.64 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

表2 不同月份活细根生物量在土壤中的垂直分布

土层/cm	活细根生物量/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)					
	5月	6月	7月	8月	9月	10月
0~10	3.28 ± 1.41^a	3.02 ± 0.90^a	3.24 ± 1.19^{bc}	9.87 ± 1.37^d	25.00 ± 1.63^a	8.29 ± 1.34^c
10~20	5.16 ± 0.64^a	8.79 ± 1.12^a	12.92 ± 1.88^a	11.33 ± 2.64^{cd}	18.05 ± 2.06^a	14.41 ± 2.16^d
20~30	4.44 ± 1.79^a	15.78 ± 1.12^a	10.50 ± 1.64^a	13.53 ± 1.46^{bed}	12.41 ± 1.01^{ab}	9.08 ± 1.27^c
30~40	2.80 ± 1.20^a	3.35 ± 1.21^a	6.15 ± 1.29^{ab}	7.99 ± 1.09^{abc}	6.31 ± 1.42^{bc}	4.99 ± 1.12^{bc}
40~50	2.60 ± 1.21^a	0.71 ± 0.63^b	4.77 ± 0.97^{ab}	5.39 ± 1.08^{ab}	4.67 ± 1.32^{cd}	1.27 ± 0.21^{ab}
50~60	1.76 ± 0.96^a	0.60 ± 0.37^b	2.48 ± 0.99^c	3.80 ± 1.18^a	3.45 ± 0.96^d	0.68 ± 0.35^a

注: 同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

表3 不同月份死细根生物量在土壤中的垂直分布

土层/cm	死细根生物量/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)					
	5月	6月	7月	8月	9月	10月
0~10	1.22 ± 0.49^a	1.81 ± 0.47^c	2.21 ± 0.46^b	4.33 ± 1.17^a	3.42 ± 0.89^a	2.24 ± 0.75^b
10~20	3.06 ± 0.70^a	4.71 ± 0.96^d	7.16 ± 0.69^d	9.13 ± 0.89^a	5.87 ± 0.86^a	3.89 ± 1.12^c
20~30	2.87 ± 0.83^a	4.26 ± 0.58^d	5.50 ± 1.10^c	6.65 ± 1.23^a	4.35 ± 0.89^a	2.45 ± 0.66^b
30~40	0.76 ± 0.22^{ab}	1.24 ± 0.46^{bc}	1.66 ± 0.67^b	2.82 ± 0.94^{ab}	2.04 ± 0.74^{bc}	1.68 ± 0.52^b
40~50	0.70 ± 0.63^{ab}	1.02 ± 0.51^b	1.29 ± 0.50^{ab}	1.45 ± 0.56^b	1.26 ± 0.69^{cd}	0.34 ± 0.11^a
50~60	0.48 ± 0.50^b	0.16 ± 0.09^a	0.67 ± 0.51^a	1.03 ± 0.61^c	0.93 ± 0.50^c	0.18 ± 0.18^a

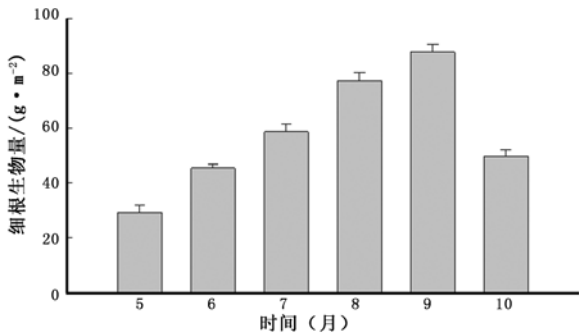


图2 桤柳群落细根生物量的月变化(平均值 ± 标准误差)

表4 取样时间(ST)和土层(SL)对土壤有机碳、活细根生物量、死细根生物量影响的方差分析

因素	活细根生物量	死细根生物量	土壤有机碳
ST	34.01^{***}	45.52^{***}	0.80^{NS}
SL	68.91^{***}	178.40^{***}	37.27^{***}
ST × SL	9.48^{***}	5.39^{***}	0.56^{NS}

注: NS表示 $p > 0.05$; ***表示 $p < 0.001$ 。

3.3 土壤有机碳储量及细根生物量碳对土壤有机碳的贡献

双因素方差分析结果(图3)表明: 各土层之间

的有机碳含量差异显著, 表层土壤的有机碳含量最高, 随土壤深度的增加, 有机碳含量逐渐降低, 最深层土壤有机碳含量最低。根据2.2.3节计算方法计算得出桤柳群落 $0 \sim 60 \text{ cm}$ 土壤有机碳库为 $(2014.33 \pm 28.88) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 细根生物量碳储量为 $(156.48 \pm 22.81) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。桤柳群落细根生物量碳库占土壤有机碳库的7.77%, 通过细根死亡进入土壤中的有机碳为 $(42.68 \pm 5.40) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

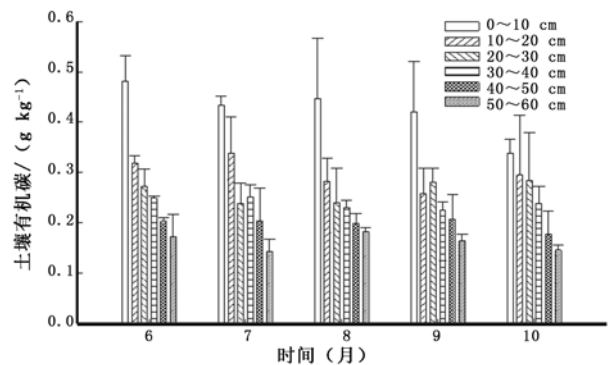


图3 不同月份桤柳群落不同土壤深度的土壤有机碳 (平均值 ± 标准误差)

3.4 细根分解与周转

柽柳群落细根分解系数 $k = 0.0017$, 分解极慢。柽柳群落细根在前 60 d 分解较快, 60 d 后分解较慢(图 4)。柽柳群落细根年分解率为 51.24%, 当分解量达到 50% 和 95% 时, 分别需要 351 d 和 1 359 d。细根残留量随时间的变化可用方程 $W_t = 4.5346e^{-0.0017t}$ ($n = 15, p < 0.05$) 来表示。细根年分解量、年死亡量、净生产力分别为: 17.41、33.75、83.60 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 年周转率为 1.98 次 $\cdot \text{a}^{-1}$, 其中, 年分解量和死亡量分别占净生产的 31.04%、48.05%。

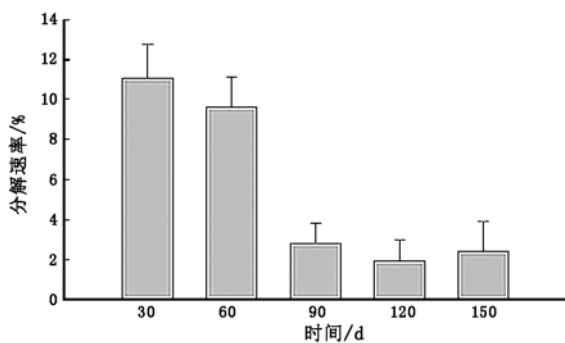


图 4 细根分解速率随时间的变化(平均值 \pm 标准误差)

4 结论与讨论

(1) 气候条件、土壤特性和植被类型都会对细根生物量产生重要影响^[10-11], Jackson 等^[12]对全球细根生物量(0~30 cm)进行统计分析发现, 温带草原细根生物量为 1 510 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其次是热带草原或热带稀树草原为 990 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 荒漠生态系统细根生物量最小, 只有 270 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。本研究中, 柽柳细根生物量为 347.73 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (表 2、3), 高于 Jackson 等测定荒漠生态系统细根生物量的平均值, 因该研究结果来自 0~30 cm 土层, 而笔者的结果表明, 0~30 cm 细根生物量占 0~60 cm 土层细根总生物量的 75.99%, 即 264.24 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 与 Jackson 等的研究结果基本相当; 但却远远低于其它生态系统, 因荒漠生态系统降水稀少, 蒸发远大于降水, 土壤养分贫瘠, 从而限制了柽柳的生长; 其次, 荒漠生态系统植物群落分布稀疏, 亦是细根生物量较低的原因之一。

细根生长具有明显的季节性, 细根生物量季节动态反映了植物细根生长对外界环境条件的响应, Jha 等^[13]研究认为, 细根生物量季节动态一般为“单峰型”或“双峰型”。本研究显示, 干旱区柽柳群落

细根生物量的季节变化呈“单峰型”曲线, 5—9 月逐渐增加, 9 月达到最高, 随后降低。结合当地的气候资料分析, 4、5 月份气温和降水开始增加, 土壤水分充足, 环境利于细根生长, 因此, 从春季到夏季细根生物量一直处于增长阶段。6、7、8 三个月土壤含水量呈先降低后增加的趋势(图 1), 其原因可能是气温逐渐升高, 蒸发增加, 导致土壤含水量降低, 其次, 细根快速生长增加了对土壤水分的吸收。

细根生物量在土壤剖面的垂直分布特征与土壤温湿度、土壤物理性质(密度、孔隙度)、土壤养分有效性、植物种类、植物寿命等有关^[9,14]。土壤质地、密度等物理性质一方面决定了根系延伸和分枝的机械阻力, 另一方面通过影响土壤温度、湿度和通气状况来影响根系生长^[15]。前人研究大多数认为细根生物量随土壤深度的增加而明显下降^[16], 但本研究发现, 柽柳群落 0~10 cm 土层的细根量明显比 10~20、20~30 cm 的低, 也即细根垂直分布特征为先增加后减少。这与前人的研究结果不同, 原因可能是 0~10 cm 土壤水分最低(图 1), 5 月份以后土壤温度逐渐升高, 表层土壤水分不适合细根快速生长; 但 10~20 cm 以下细根随着土层深度的增加而逐渐降低, 主要是由于随着土层深度的增加, 土壤水分、养分、温度和物理性质发生变化, 虽然研究结果显示土壤含水量逐渐增加, 但可能由于土壤养分降低, 导致细根生物量降低。

(2) 细根分解与周转是地下生态系统物质循环和能量流动的核心, 决定了由植物转移到土壤中的碳和养分的快慢与多少^[18]。细根分解是死细根在土壤动物和微生物的作用下逐渐分解释放养分的过程。细根周转是由于植物适应不断变化的环境, 发育新细根以代替老细根保证水分和营养物质的吸收, 维持生命活动的结果^[19]。细根分解与周转除与植物种类有关外, 亦受土壤理化性质、环境条件和细根本身的化学特性影响, 土壤温度和水分是影响细根分解与周转的主要环境因子^[20]。土壤温度的增加可以促进细根生产, 但会缩短细根寿命, 并提高土壤微生物的活性, 从而加速细根分解与周转。在水分充足的情况下, 土壤微生物活性增强导致细根分解速率增加。此外, 土壤养分对细根周转也有较大影响, 细根周转与土壤养分含量正相关, 肥沃的土壤促进细根周转, 虽然贫瘠的土壤有利于细根生命的延长, 但会降低细根周转速率^[21]。

本研究中细根分解系数 $k = 0.0017$, 表明柽柳群

落细根分解速率较慢,这主要是由于该区域气候干旱,土壤高度盐碱化,微生物活动极低,导致分解速率很慢。另外,研究发现柽柳群落细根的年分解速率为51.24%,当分解量达到50%和95%时,分别需要351 d和1359 d,表明柽柳群落细根分解极慢,大部分死细根都要储存于土壤中1年以上才能完全分解。

Jackson等^[12]和Gill等^[22]对全球细根周转速率的分析表明,细根周转速率在0.019~2.644次·a⁻¹间,平均周转速率为0.56次·a⁻¹。本项研究中,柽柳群落细根周转速率为1.98次·a⁻¹,相对较高的细根周转率可能是由于柽柳为适应干旱环境而加快了细根的周转速率^[23],快速完成生活史,这是植物在干旱逆境下的一种生存策略^[24-25]。

细根分解与周转是陆地生态系统碳和养分循环的重要组成部分。本结果表明,细根周转进入土壤中的有机碳为(42.68±5.40)g·m⁻²·a⁻¹,占土壤有机碳库的2.12%。可见,土壤有机碳库的积累是一个长期的过程,若不合理的人类活动导致干旱区土壤有机碳过度释放,通过植物固碳的方式恢复土壤有机碳,将会需要较长的时间。尽管每年细根周转进入土壤的有机碳只占土壤有机碳的一小部分,但作为土壤碳库的主要来源,会对干旱区生态系统土壤碳固持产生重要影响。

参考文献:

- [1] Kirsi M, Heljä-Sisko H. Assessing fine-root biomass and production in a Scots pine stand-comparison of soil core and root ingrowth core methods [J]. *Plant and Soil*, 1999, 210:43-50.
- [2] Dietrich H, Christoph L. A comparison of four different fine root production estimates with ecosystem carbon balance data in a *Fagus-Quercus mixed* forest [J]. *Plant and Soil*, 2002, 239:237-251.
- [3] Heljä S H, John D, Pekka N, et al. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands [J]. *Tree Physiology*, 2007, 27:1493-1504.
- [4] Ruess R W, Hendrick R L, Burton A J, et al. Coupling fine root dynamics with ecosystem carbon cycling in black spruce forests of interior Alaska [J]. *Ecological Monographs*, 2003, 73: 643-662.
- [5] Finér L, Ohashi M, Noguchi K, et al. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261: 265-277.
- [6] 丁金枝, 来利明, 赵学春, 等. 荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(6): 1594-1603.
- [7] 杨小林, 张希明, 单立山, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地塔克拉玛干柽柳根系构筑型研究[J]. *干旱区研究*, 2008, 25(5): 660-657.
- [8] 单立山, 张希明, 柴仲平, 等. 多枝柽柳幼苗根系分布对灌溉量的响应[J]. *干旱区研究*, 2007, 24(2): 213-218.
- [9] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological systems [J]. *Ecology*, 1963, 44: 332-341.
- [10] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production, turnover and nutrient dynamics of above- and below-ground detritus of world forests [J]. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 303-377.
- [11] 张小全. 环境因子对树木细根生物量、生产与周转的影响[J]. *林业科学研究*, 2001, 14(5): 566-573.
- [12] Jackson R B, Mooney H A, Schulze E D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1997, 94: 7362-7366.
- [13] Jha P, Mohapatra K P. Leaf litterfall, fine root production and turnover in four major tree species of the semiarid region of India [J]. *Plant and Soil*, 2010, 326: 481-491.
- [14] Marianne K, Burke, Dudley J R. Fine root growth phenology, production and turnover in a northern hardwood forest ecosystem [J]. *Plant and Soil*, 1994, 162:135-146.
- [15] Sutton R E. Soil properties and root development in forest trees: a review [J]. *Information report O-X-413*, Ministry of natural resources, Ontario, Canada, 1991.
- [16] John B, Pandey H N, Tripathi R S. Vertical distribution and seasonal changes of fine and coarse root mass in *Pinus kesiya* Royle Ex Gordon forest of three different ages [J]. *Acta Oecologica*, 2001, 22:293-300.
- [17] Fahey T J, Hughes J W. Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook experimental forest [J]. *Journal of Ecology*, 1994, 82: 533-548.
- [18] Santantonio D, Hermann R K, Overton W S. Root biomass studies in forest ecosystems [J]. *Pedobiologia*, 1977, 17:1-31.
- [19] Berg B. *Plant litter: decomposition, human formation, carbon sequestration* [M]. Berlin: Springer, 2003.
- [20] Wieder R K, Wright S J. Tropical forest litter dynamics and season irrigation on Barro Colorado Island, Panama [J]. *Ecology*, 1995, 76: 1971-1979.
- [21] Eissenstat D M, Wells C E, Yanai R D, et al. Building roots in a changing environment: implications for root longevity [J]. *New Phytologist*, 2000, 147:33-42.
- [22] Gill R A, Jackson R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems [J]. *New Phytologist*, 2000, 147:13-31.
- [23] 裴智琴, 周勇, 郑元润, 等. 干旱区琵琶柴群落细根周转对土壤有机碳循环的贡献[J]. *植物生态报*, 2011, 35(11): 1182-1191.
- [24] Eissenstat D M, van Rees K C J. The growth and function of pine roots [J]. *Ecological Bulletins*, 1994, 43:76-91.
- [25] Fogel R. Root turnover and productivity of coniferous forests [J]. *Plant and Soil*, 1983, 71:75-85.