

沙漠-河岸过渡带不同发育类型唐古特白刺沙堆和植株相关指标的比较及关系分析

朱媛君¹, 张 晓¹, 杨晓晖¹, 梁继业^{2,①}

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要:以鄂尔多斯高原北缘的沙漠-河岸过渡带唐古特白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)沙堆为研究对象,采用标准株估算法对不同发育类型(包括发育型、成熟型和衰退型)唐古特白刺沙堆的形态特征(包括高度、半径、表面积、体积和土壤干质量)、唐古特白刺单株干质量(包括单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量)和土壤碳储量进行了计算和比较,并对这些指标间的关系进行了分析。结果表明:成熟型沙堆的形态特征、唐古特白刺单株干质量和土壤碳储量均显著($P<0.05$)高于发育型沙堆和衰退型沙堆;并且,除唐古特白刺单株地上部干质量外,发育型沙堆的上述指标均低于衰退型沙堆。据估算,样地内唐古特白刺植株的总碳储量为 429.123 kg,土壤总碳储量为 445.415 kg,且后者为前者的 1.038 倍。拟合曲线分析结果表明:唐古特白刺的单株干质量与沙堆各形态特征呈正相关,且与沙堆体积的相关性最高;土壤碳储量与沙堆各形态特征也呈正相关,且与沙堆体积和土壤干质量的相关性最高;成熟型沙堆中唐古特白刺单株干质量与土壤碳储量的相关性高于发育型沙堆和衰退型沙堆,且不同发育类型沙堆中唐古特白刺单株地下部干质量与土壤碳储量的相关性高于唐古特白刺单株地上部干质量和单株总干质量与土壤碳储量的相关性。研究结果显示:沙漠-河岸过渡带的唐古特白刺沙堆能够固定大量的碳,其中,成熟型沙堆的固碳能力最强;并且,唐古特白刺根系对土壤中碳的固定具有重要作用。

关键词:沙漠-河岸过渡带;唐古特白刺沙堆;形态特征;单株干质量;碳储量;固碳能力

中图分类号: Q945.1; X171.4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)02-0009-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.02.02

Comparison and relationship analysis on related indexes of different development types of *Nitraria tangutorum* sandpiles and plants in desert-riverside ecotone ZHU Yuanjun¹, ZHANG Xiao¹, YANG Xiaohui¹, LIANG Jiye^{2,①} (1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Plant Science, Tarim University, Alar 843300, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(2): 9-16

Abstract: Taking *Nitraria tangutorum* Bobr. sandpiles in desert-riverside ecotone on north edge of Ordos Plateau as research objects, morphological characteristics (including height, radius, surface area, volume, and dry weight of soil), dry weight per plant (including dry weights of above- and under-ground parts per plant and total dry weight per plant) of *N. tangutorum*, and soil carbon storage of different development types (including growth, mature and decline types) of *N. tangutorum* sandpiles were calculated and compared by standard plant estimation method, and relationships among these indexes were analyzed. The results show that morphological characteristics, dry weight per plant of *N. tangutorum*, and soil carbon storage of mature sandpile are significantly ($P<0.05$) higher than those of growth and decline sandpiles. Moreover, except dry weight of above-ground part per plant of *N. tangutorum*, above indexes of growth sandpile are lower than those of decline sandpile. According to estimation, total carbon storage of *N. tangutorum* plants in the plot is 429.123 kg, that of soil is 445.415

收稿日期: 2017-10-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0500801); 国家国际科技合作专项(2015DFR31130)

作者简介: 朱媛君(1992—),男,内蒙古呼伦贝尔人,博士研究生,主要从事荒漠生态学和植被生态学等方面的研究工作。

①通信作者 E-mail: jethro123123@126.com

kg, and the latter is 1.038 times the former. The result of fitting curve analysis shows that there is a positive correlation of dry weight per plant of *N. tangutorum* with different morphological characteristics of sandpile, and its correlation with sandpile volume is the highest; there is also a positive correlation of soil carbon storage with different morphological characteristics of sandpile, and its correlations with sandpile volume and dry weight of soil are the highest. The correlation of dry weight per plant of *N. tangutorum* with soil carbon storage in mature sandpile is higher than that in growth and decline sandpiles, and correlation of dry weight of under-ground part per plant of *N. tangutorum* with soil carbon storage in different development types of sandpiles is higher than that of dry weight of above-ground part per plant and total dry weight per plant of *N. tangutorum* with soil carbon storage. It is suggested that *N. tangutorum* sandpiles in desert-riverside ecotone can fix a lot of carbon, in which, carbon sequestration capacity of mature sandpile is the strongest. Moreover, *N. tangutorum* roots play an important role in fixing carbon in soil.

Key words: desert-riverside ecotone; *Nitraria tangutorum* Bobr. sandpile; morphological characteristics; dry weight per plant; carbon storage; carbon sequestration capacity

河岸带是指江河或溪流的河道向外扩展的部分,包括可被洪水淹没的部分及河水可进入的河岸植被冠层下面的陆地部分^[1],其生境特殊,在涵养水源、蓄洪防旱、维持生物多样性和生态平衡等方面具有重要作用。河岸带不但是河流天然的保护屏障,而且是健康河流生态系统的重要组成部分和评价标志^[2]。沙漠-河岸过渡带处于荒漠区干旱内陆河流域,为河岸带的一种特殊形式,具有重要的生态学功能和价值,是阻止沙漠前侵和沙土入河的最后一道屏障。

灌丛是荒漠生态系统的一种重要植被类型^[3-4],在中国分布广泛。随着全球气温持续上升,灌丛分布区不断扩大^[5]。作为重要的潜在碳汇,灌丛在全球碳循环过程中具有重要作用^[6]。生物碳储量是评价植物群落碳储量的一个重要指标^[7]。近十几年来,关于不同类型森林生物碳储量方面的研究取得了重大进展^[8-13],而关于不同发育类型植物群落尤其是荒漠灌丛生物碳储量分布特征的研究却较少^[14-15]。

唐古特白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)又名白刺,广泛分布在中国西北沙漠地区的盐化湖盆和山前洪积扇等地,在沙漠-河岸过渡带的分布尤为集中,常常构成非地带性荒漠灌丛植被,具有耐盐碱、耐强旱和耐风蚀沙埋等特性,为沙区进行防风固沙及植被恢复和重建的优良灌木种类^[16]。近年来,由于气候干旱和人口增加等原因,沙漠-河岸过渡带土地逐渐被开垦为农田,生长在其中的唐古特白刺群落遭到不同程度的破坏,其对土壤的防护能力亦随之减弱,因此,亟待加强对该区域唐古特白刺群落的保护。然而,关于沙漠-河岸过渡带不同发育类型唐古特白刺沙堆的生长和固碳能力仍不清楚,不利于对唐古特白

刺群落制定科学有效的保护措施。

鉴于此,作者以鄂尔多斯高原北缘沙漠-河岸过渡带的唐古特白刺沙堆为研究对象,对不同发育类型唐古特白刺沙堆的形态特征、单株干质量和土壤碳储量进行了比较,并对这些指标间的关系进行了分析,以期为进一步研究整个沙漠-河岸过渡带以及荒漠区的唐古特白刺沙堆对土壤中碳的固定提供科学依据,并为制定科学合理的保护措施提供参考资料。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

沙漠-河岸过渡带位于鄂尔多斯高原北缘,介于黄河和库布齐沙漠之间,在行政区划上属于鄂尔多斯市杭锦旗独贵塔拉镇,地理坐标为北纬 40°33'35"、东经 108°45'28"。受温带大陆性季风气候影响,该区域天气非周期性变化和降水季节性变化均较明显,年平均气温 5.6 °C,1 月份平均气温 -12.2 °C,7 月份平均气温 21.4 °C;年平均降水量 287 mm,且降水主要集中在 7 月份至 9 月份,年蒸发量 2 106~3 275 mm;年均风速 4 m·s⁻¹,年均大风日数 50 d,年均沙尘暴日数 27 d,年均扬沙日数 41 d,受风沙危害严重^[17-18]。土壤类型以风沙土为主,兼有栗钙土、灰漠土和粗骨土^[18]。植被类型以白刺灌丛为主,草本植物常见种类有雾冰藜 [*Bassia dasyphylla* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze]、砂引草 (*Messerschmidia sibirica* Linn.)、油蒿 (*Artemisia ordosica* Krasch)、海乳草 (*Glaux maritima* Linn.) 和假苇拂子茅 [*Calamagrostis pseudophragmites* (Hall. f.) Koel.] 等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及唐古特白刺沙堆发育类型划分在鄂尔多斯市杭锦旗独贵塔拉镇向南 1.5 km 处的沙漠-河岸过渡带上选取唐古特白刺群落面积较大、结构完整且人为干扰较小的区域设置样地,样地面积为 50 m×50 m。

使用卷尺(精度 0.01 m)对样地内所有唐古特白刺沙堆的长轴和短轴长度进行测量,计算沙堆的平均半径(r);测量沙堆高度,计算沙堆的平均高度(H);详细记录沙堆的形态特征。参考 Tengberg 等^[19]的灌丛沙堆演化阶段模型对唐古特白刺灌丛发育类型的划分方法^[20-22]进行改进;在野外调查基础上,以唐古特白刺灌丛发育特征为主,结合其灌丛形态特征,将样地内的唐古特白刺沙堆划分为 3 个发育类型:发育型沙堆($0.2\text{ m} \leq H \leq 1.0\text{ m}$, $1.0\text{ m} \leq r \leq 2.6\text{ m}$, 结实率低,无枯死植株)、成熟型沙堆($1.1\text{ m} \leq H \leq 2.0\text{ m}$, $2.6\text{ m} \leq r \leq 5.0\text{ m}$, 结实率高,枯死率较低)和衰退型沙堆($0.8\text{ m} \leq H \leq 1.2\text{ m}$, $2.0\text{ m} \leq r \leq 3.8\text{ m}$, 自疏现象严重,枯死率高)。其中,发育型沙堆、成熟型沙堆和衰退型沙堆分别有 13、14 和 6 个,且每个沙堆仅有 1 株唐古特白刺植株。

1.2.2 植物和土壤样品的采集及相关指标测定 于 2015 年 7 月(即唐古特白刺生长期),避开连续降雨日期采集不同发育类型沙堆上的唐古特白刺植株样品和土壤样品。

在每个发育类型沙堆中各选取 1 个高度和半径最接近于该发育类型沙堆高度和半径平均值的唐古特白刺沙堆,以该沙堆上生长的唐古特白刺植株为标准株,采用收割法采集沙堆表面标准株的地上部分,置于 80 °C 条件下烘干至恒质量,使用电子分析天平(精度 0.01 g)称量,记为标准株的单株地上部干质量。采用四分法将沙堆平均分成 4 份,选择其中 1 份,挖取唐古特白刺根系,采挖深度为 0~90 cm,去除根系表面的沙土,置于 80 °C 条件下烘干至恒质量,使用电子分析天平称量,记录称量结果并计算标准株的单株地下部干质量。

将挖取唐古特白刺根系的沙堆土壤装袋,使用电子称(精度 0.01 kg)称量,记录称量结果并计算整个沙堆的土壤鲜质量;置于 120 °C 条件下烘干至恒质量,使用电子称称量,记录称量结果并计算整个沙堆的土壤干质量。采用分层取样法从上至下挖取沙堆的土壤剖面,采挖深度为 0~90 cm,每隔 10 cm 取 1 个

土样,去除其中的石块和根系,自然阴干后过孔径 2 mm 筛,研磨后过孔径 0.149 mm 筛,采用重铬酸钾容量法—外加热法^[23]测定各层土壤的碳含量,计算土壤的平均碳含量;采用环刀法^[24]对各层土壤的含水率和容重进行测定,并计算土壤的平均含水率和平均容重。每个指标重复测定 3 次。

1.2.3 生物量和碳储量的估算 参考梁继业^[25]和贾宝全等^[26]的方法估算与标准株沙堆相同发育类型沙堆唐古特白刺的单株地上部和地下部的干质量及土壤碳储量。由于唐古特白刺沙堆近似圆锥体,故按照圆锥体相关公式计算沙堆的表面积和体积;因相同发育类型沙堆唐古特白刺的盖度基本一致,故可根据相同发育类型其他沙堆表面积与标准株沙堆表面积的比值估算每个沙堆中唐古特白刺的单株地上部干质量;通常情况下,沙堆体积与其容纳的根量成正比,故可根据相同类型其他沙堆体积与标准株沙堆体积的比值估算每个沙堆中唐古特白刺的单株地下部干质量;根据估算的每个沙堆中唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量计算单株总干质量。由于本研究中唐古特白刺沙堆并不是理想的圆锥体,而是表面较平缓的坡面,因此,唐古特白刺沙堆的实际体积和表面积均较圆锥体大,导致每个沙堆唐古特白刺的单株地上部和地下部干质量的估算结果可能低于实际值,但是估算结果并不影响本研究对不同发育类型沙堆唐古特白刺单株总干质量的量化分析,相关计算方法和计算公式参考文献[25-28]。

标准株沙堆的土壤碳储量(C)根据公式“ $C = V \cdot \gamma \cdot (1 - W) \cdot C'$ ”^[25]进行计算。式中, V 为沙堆体积, γ 为土壤平均容重, W 为土壤平均含水率, C' 为土壤平均碳含量。相同发育类型其他沙堆的土壤碳储量可根据该沙堆体积与标准株沙堆体积的比值进行估算。

1.3 数据处理和分析

采用 EXCEL 2010 和 SPSS 19.0 统计分析软件进行数据处理,并对相关数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和拟合曲线分析。

2 结果和分析

2.1 不同发育类型唐古特白刺沙堆形态特征的比较

实验结果(表 1)表明:沙漠-河岸过渡带 3 个发育类型唐古特白刺沙堆的高度、半径、表面积、体积和

表1 沙漠-河岸过渡带不同发育类型唐古特白刺沙堆形态特征的比较($\bar{X}\pm SE$)¹⁾Table 1 Comparison on morphological characteristics of different development types of *Nitraria tangutorum* Bobr. sandpiles in desert-riverside ecotone ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

沙堆类型 Type of sandpile	高度/m Height	半径/m Radius	表面积/m ² Surface area	体积/m ³ Volume	土壤干质量/t Dry weight of soil
发育型 Growth type	0.573±0.082c	1.947±0.140c	8.149±0.590c	2.735±0.550b	3.652±0.734b
成熟型 Mature type	1.349±0.071a	3.442±0.174a	14.505±0.727a	18.149±2.736a	24.240±3.654a
衰退型 Decline type	0.980±0.044b	2.850±0.257b	11.965±1.047b	8.495±1.742b	11.584±2.342b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

土壤干质量从大到小均依次为成熟型沙堆、衰退型沙堆、发育型沙堆。其中,成熟型沙堆的高度、半径和表面积分别为 1.349 m、3.442 m 和 14.505 m²,显著($P<0.05$)高于衰退型沙堆和发育型沙堆,且后二者间差异显著;成熟型沙堆的体积和土壤干质量分别为 18.149 m³ 和 24.240 t,显著高于衰退型沙堆和发育型沙堆,但后二者间差异不显著。

2.2 不同发育类型唐古特白刺沙堆植株干质量和土壤碳储量的比较

2.2.1 唐古特白刺单株干质量的比较 实验结果(表2)表明:沙漠-河岸过渡带3个发育类型沙堆中唐古特白刺单株地上部干质量从大到小依次为成熟型沙堆、发育型沙堆、衰退型沙堆,而唐古特白刺单株地下部干质量和单株总干质量则从大到小依次为成熟型沙堆、衰退型沙堆、发育型沙堆。并且,成熟型沙堆中唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量及单

株总干质量分别为 12.661、34.559 和 47.222 kg,显著($P<0.05$)高于衰退型沙堆和发育型沙堆,但后二者间差异不显著。

计算结果表明:沙漠-河岸过渡带发育型沙堆、成熟型沙堆和衰退型沙堆中唐古特白刺单株总干质量分别为 17.738、47.222 和 21.670 kg,各发育类型沙堆分别有 13、14 和 6 个(即唐古特白刺株数分别为 13、14 和 6 株),据此计算出样地内唐古特白刺植株的总干质量为 1 021.722 kg。

2.2.2 土壤碳储量的比较 实验结果(表2)表明:在沙漠-河岸过渡带3个发育类型唐古特白刺沙堆中,成熟型沙堆的土壤碳储量最大(23.660 kg),衰退型沙堆的土壤碳储量居中(11.305 kg),发育型沙堆的土壤碳储量最小(3.565 kg)。并且,成熟型沙堆的土壤碳储量显著高于发育型沙堆和衰退型沙堆,但后二者间差异不显著。

表2 沙漠-河岸过渡带不同发育类型唐古特白刺沙堆中唐古特白刺单株干质量和土壤碳储量的比较($\bar{X}\pm SE$)¹⁾Table 2 Comparison on dry weight per plant of *Nitraria tangutorum* Bobr. and soil carbon storage in different development types of *N. tangutorum* sandpiles in desert-riverside ecotone ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

沙堆类型 Type of sandpile	唐古特白刺单株干质量/kg Dry weight per plant of <i>N. tangutorum</i>			土壤碳储量/kg Soil carbon storage
	地上部 Above-ground part	地下部 Under-ground part	总计 Total	
发育型 Growth type	7.138±0.516b	10.602±2.132b	17.738±2.579b	3.565±0.717b
成熟型 Mature type	12.661±0.634a	34.559±5.209a	47.222±5.825a	23.660±3.567a
衰退型 Decline type	6.005±0.526b	15.663±1.370b	21.670±1.896b	11.305±2.286b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

2.3 唐古特白刺沙堆和植株相关指标的关系分析

2.3.1 唐古特白刺单株干质量与沙堆形态特征的关系分析 拟合曲线(图1)分析结果表明:沙漠-河岸过渡带唐古特白刺沙堆中唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量与沙堆的高度、半径、表面积和体积呈正相关,且相关性均较高, R^2 值为 0.621 1~0.951 8。其中,唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量与沙堆高度的相

关性最低, R^2 值分别为 0.621 1、0.723 2 和 0.727 8;与沙堆半径的相关性较低, R^2 值分别为 0.749 7、0.780 5 和 0.799 8;与沙堆表面积的相关性较高, R^2 值分别为 0.753 2、0.786 7 和 0.805 8;与沙堆体积的相关性最高, R^2 值分别为 0.759 6、0.951 8 和 0.946 9。说明沙堆体积对唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量的影响最大,沙堆体积越大,其上生长的唐古特白刺的单株干质量越高。

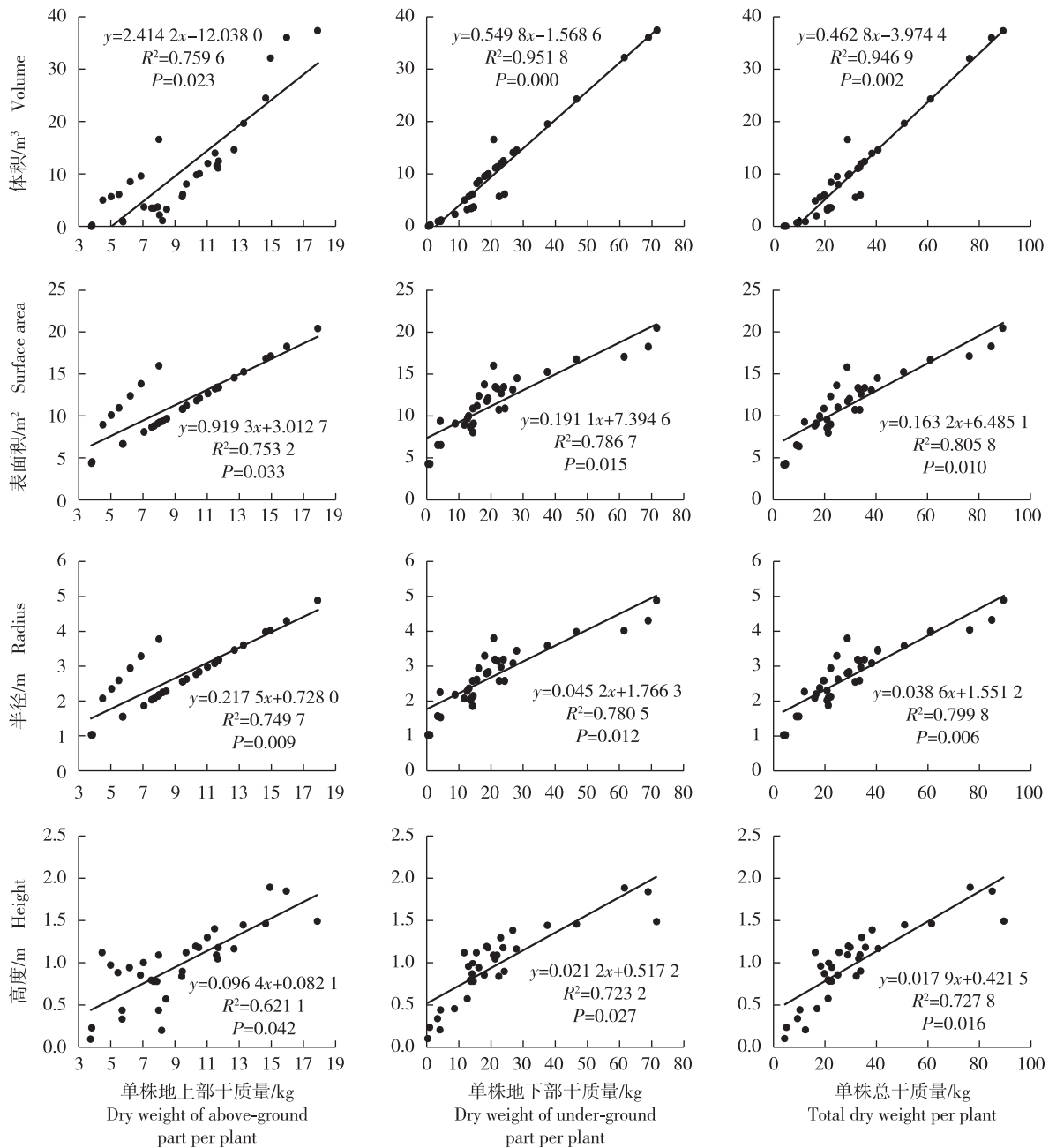


图 1 沙漠-河岸过渡带唐古特白刺沙堆中唐古特白刺单株干质量与沙堆形态特征的关系分析

Fig. 1 Analysis on relationship between dry weight per plant of *Nitraria tangutorum* Bobr. and sandpile morphological characteristics of *N. tangutorum* sandpiles in desert-riverside ecotone

2.3.2 土壤碳储量与沙堆形态特征的关系分析 拟合曲线(图 2)分析结果表明:沙漠-河岸过渡带唐古特白刺沙堆的土壤碳储量与沙堆的高度、半径、体积和土壤干质量呈正相关。其中,沙堆的土壤碳储量与沙堆体积和土壤干质量相关性最高, R^2 值均为 1.000 0;与沙堆高度和半径也有一定的相关性, R^2 值分别为 0.854 4 和 0.841 8。

2.3.3 唐古特白刺单株干质量与土壤碳储量的关系分析 拟合曲线(图 3)分析结果表明:发育型沙堆、成熟型沙堆和衰退型沙堆中唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量与土壤碳储量呈正相关,且唐古特白刺单株地下部干质量与土壤碳储量的相关性高于其单株地上部干质量和单株总干质量与土壤碳储量的相关性。并且,成熟型沙堆中唐古

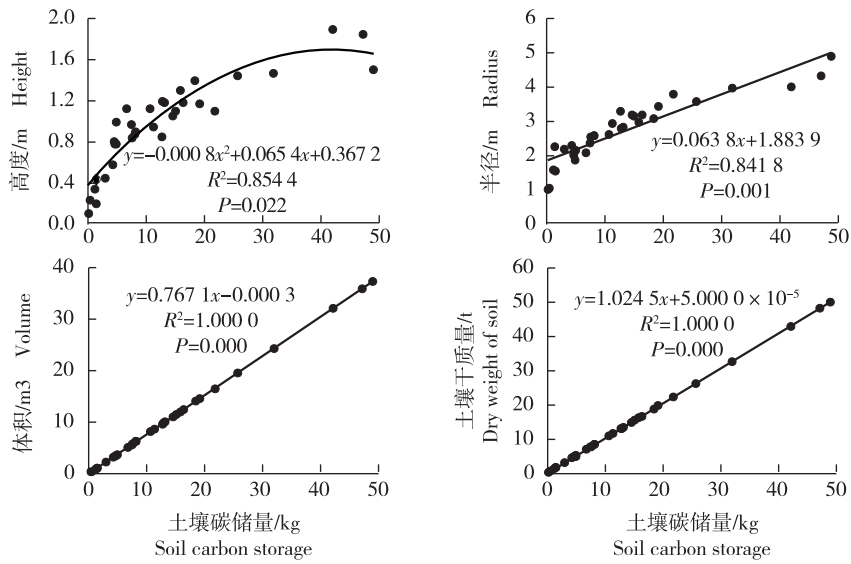
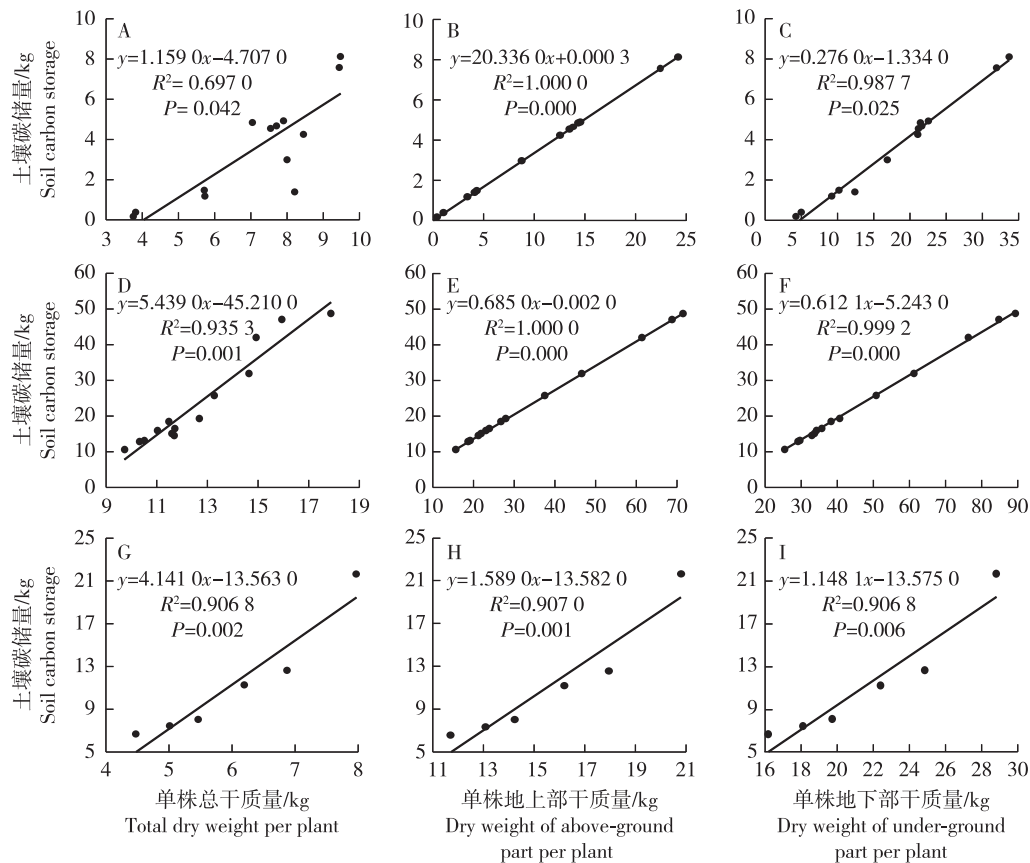


图 2 沙漠-河岸过渡带唐古特白刺沙堆土壤碳储量与沙堆形态特征的关系分析
Fig. 2 Analysis on relationship between soil carbon storage and morphological characteristics of *Nitraria tangutorum* Bobr. sandpiles in desert-riverside ecotone



A,B,C: 发育型沙堆 Growth sandpile; D,E,F: 成熟型沙堆 Mature sandpile; G,H,I: 衰退型沙堆 Decline sandpile.

图 3 沙漠-河岸过渡带不同发育类型唐古特白刺沙堆单株干质量与土壤碳储量的关系分析
Fig. 3 Analysis on relationship between dry weight per plant and soil carbon storage in different development types of *Nitraria tangutorum* Bobr. sandpiles in desert-riverside ecotone

特白刺单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量与土壤碳储量的相关性均高于发育型沙堆和衰退型沙堆(R^2 值分别为0.935 3、1.000 0和0.999 2),说明成熟型唐古特白刺沙堆的固碳能力更强。

3 讨论和结论

唐古特白刺属于强烈分枝的灌木种类,植株高度一般为30~60 cm,少数高达1~2 m,多数枝条近于平卧伏生,枝顶端有硬刺,可适应沙埋环境,枝条被沙埋后易形成不定根,促进其营养繁殖,常在风积沙堆上形成唐古特白刺沙堆^[29];其根系发达,对周围土壤中的碳有很强的富集作用^[30-31],因此,唐古特白刺成为沙漠-河岸过渡带的有效防风固沙植物种类,也是沙漠-河岸过渡带沙地恢复治理的重要植物资源。在荒漠化地区的严酷自然条件下,植物的生存和发展受到诸多条件的限制,唐古特白刺经过长时间进化逐渐具备了一系列的适应机制。

本研究中,沙漠-河岸过渡带发育型、成熟型和衰退型唐古特白刺沙堆的土壤碳储量分别为3.565、23.660和11.305 kg,沙堆分别有13、14和6个,据此计算出样地内3个发育类型沙堆的土壤总碳储量为445.415 kg;根据不同发育类型沙堆唐古特白刺标准株的单株总干质量估算出样地内唐古特白刺植株的总干质量为1 021.722 kg,按照碳转化率0.42^[32]进行计算,样地内唐古特白刺植株的总碳储量为429.123 kg。经计算,样地内沙堆的土壤总碳储量为唐古特白刺植株总碳储量的1.038倍,由此可见,虽然沙漠-河岸过渡带唐古特白刺沙堆的土壤碳储量不高,但是随着沙堆和唐古特白刺的生长,土壤碳储量将不断增加,不仅能够满足唐古特白刺生长的需要,也能够为其他种类植物生长提供碳源。

本研究结果表明:沙漠-河岸过渡带成熟型唐古特白刺沙堆的固碳能力最强。但由于人们在沙漠-河岸过渡带的大量放牧及砍伐唐古特白刺,加上近几十年来水资源的过度开采和利用,中国西北干旱区的地下水位急剧下降,唐古特白刺沙堆严重退化^[33],致使大面积唐古特白刺群落处于衰退阶段,其固碳能力也大大减弱。靳虎甲等^[34]认为,处于稳定阶段的唐古特白刺沙堆群落盖度显著高于处于其他阶段的沙堆,而处于衰退阶段的唐古特白刺沙堆群落中的一年生植物明显增多,群落稳定性明显低于处于稳定阶段

的唐古特白刺沙堆群落。王月等^[22]认为,土壤水分收支不平衡导致的土壤水分减少是唐古特白刺沙堆退化的主要原因;成熟型沙堆的唐古特白刺根部对水分的吸收会增强沙堆内部土壤的含水量,利于沙堆上植物群落的发展,间接促进群落内其他植物种类固碳。杜建会等^[35]也认为,处于死亡阶段的唐古特白刺沙堆表层土抗风蚀能力最弱,而处于稳定阶段的唐古特白刺沙堆表层土的抗风蚀能力最强,可有效减少沙堆土壤流失,利于唐古特白刺根系对土壤中碳的固定。以上研究结果从不同角度说明成熟型唐古特白刺沙堆是最利于荒漠区固碳的沙堆类型。

值得注意的是,唐古特白刺不仅对土壤中的碳有较强的固定作用,对空气中的 CO_2 也有较强的固定作用^[36],可在一定程度上减缓对空气中 CO_2 的累积速度,缓解荒漠区的温室效应,对稳定荒漠区生态环境具有重要作用。在沙漠-河岸过渡带,唐古特白刺群落以唐古特白刺沙堆形式固定了大量的碳,尤其是成熟型沙堆,对于该区域的碳储量具有重要作用,因此,建议加强对该区域唐古特白刺沙堆的保护,减少人为和牲畜等对其造成破坏。

综上所述,沙漠-河岸过渡带成熟型唐古特白刺沙堆的高度、半径、表面积、体积、土壤干质量和碳储量及唐古特白刺单株干质量均显著高于发育型沙堆和衰退型沙堆;并且,除唐古特白刺单株地上部干质量外,发育型沙堆的其他指标均低于衰退型沙堆。唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量与沙堆体积的相关性最高;土壤碳储量与沙堆体积和土壤干质量的相关性最高;成熟型沙堆中唐古特白刺单株地上部和地下部的干质量及单株总干质量与土壤碳储量的相关性均高于发育型沙堆和衰退型沙堆,且不同发育类型沙堆中唐古特白刺单株地下部干质量与土壤碳储量的相关性高于单株地上部干质量和单株总干质量与土壤碳储量的相关性。说明沙漠-河岸过渡带唐古特白刺沙堆固定了大量的碳,其中,成熟型沙堆的固碳能力更强;唐古特白刺根系对于沙漠-河岸过渡带土壤中碳的固定具有重要作用。

参考文献:

- [1] 李新茂,张东旭.关于美国河岸带土壤的研究综述[J].水土保持应用技术,2007,14(6):11-13.
- [2] 李冬林,金雅琴,张纪林,等.秦淮河河岸带典型区域土壤重金属污染分析与评价[J].浙江林学院学报,2008,25(2):228-234.

- [3] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 430-504.
- [4] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被及其地理格局: 中华人民共和国植被图(1:1 000 000)说明书(上卷)[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 257-295.
- [5] STURM M, RACINE C, TAPE K. Climate change: increasing shrub abundance in the Arctic[J]. Nature, 2001, 411: 546-547.
- [6] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981~2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学D辑: 地球科学, 2007, 37(6): 804-812.
- [7] 李红琴, 宋成刚, 张法伟, 等. 青海高寒区域金露梅灌丛草甸灌木和草本植物固碳量的比较[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(3): 1-7.
- [8] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, et al. Changes in forests biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292: 2320-2322.
- [9] 冯 健, 苏阿兰, 吴承祯, 等. 福建省毛竹林碳贮量的空间自相关分析[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(4): 27-32.
- [10] 金艳强, 李 敬, 张一平, 等. 元江干热河谷稀树灌丛植被碳储量及净初级生产力[J]. 生态学报, 2017, 37(17): 5584-5590.
- [11] 张 治, 钟全林, 程栋梁, 等. 闽西北地区不同龄组常绿阔叶混交林生态系统碳储量结构特征[J]. 生态环境学报, 2014, 23(2): 203-210.
- [12] 高 巧, 阳小成, 尹春英, 等. 四川省甘孜藏族自治州高寒矮灌丛生物量分配及其碳密度的估算[J]. 植物生态学报, 2014, 38(4): 355-365.
- [13] 张 蕾, 李家湘, 徐文婷, 等. 中国亚热带山地杜鹃灌丛生物量分配及其碳密度估算[J]. 植物生态学报, 2017, 41(1): 43-52.
- [14] DONG J R. Dynamics of carbon storage in the woody biomass of northern forests [D]. Boston: Graduate School of Arts and Sciences, Boston University, 2002: 1-15.
- [15] 马 炜, 孙玉军, 郭孝玉, 等. 不同林龄长白落叶松人工林碳储量[J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4659-4667.
- [16] 刘建泉. 甘肃民勤西沙窝唐古特白刺群落的生态特性[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(3): 36-40.
- [17] 内蒙古草场资源遥感应用考察队伊克昭盟分队. 内蒙古鄂尔多斯高原自然资源与环境研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 33-69.
- [18] 崔 红, 哈斯其劳. 杭锦旗荒漠化和沙化土地类型分布特点及成因分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2005, 28(增刊): 51, 82.
- [19] TENGBERG A, CHEN D L. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso[J]. Geomorphology, 1998, 22: 181-192.
- [20] 靳虎甲, 马全林, 张有佳, 等. 石羊河下游白刺灌丛演替发育过程的土壤呼吸及其影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 140-147.
- [21] 杜建会, 严 平, 俄有浩. 甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆分布格局及特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1165-1170.
- [22] 王 月, 李 程, 李爱德, 等. 白刺沙堆退化与土壤水分的关系[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1407-1421.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-34.
- [24] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 511-514.
- [25] 梁继业. 沙漠-河岸过渡带白刺沙堆个体特征及其空间分布格局[D]. 北京: 中国林业科学研究院林业研究所, 2007: 18-34.
- [26] 贾宝全, 蔡体久, 高志海, 等. 白刺灌丛沙包生物量的预测模型[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 96-99.
- [27] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究, 1999, 18(4): 349-356.
- [28] 邵月红, 潘剑君, 许信旺, 等. 浅谈土壤有机碳密度及储量的估算方法[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 1007-1011.
- [29] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 692-693.
- [30] 宇万太, 于永强. 植物地下生物量研究进展[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 927-932.
- [31] 杨昊天, 李新荣, 刘立超, 等. 荒漠草地4种灌木生物量分配特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1340-1348.
- [32] 魏江生, 乌日古玛拉, 周 梅, 等. 基于灌木林碳储量估算的植被含碳率取值[J]. 草业科学, 2016, 33(11): 2202-2208.
- [33] QONG M, TAKAMURA H, HUDABERDI M. Formation and internal structure of *Tamarix* cones in the Taklimakan Desert [J]. Journal of Arid Environments, 2002, 50: 81-97.
- [34] 靳虎甲, 马全林, 何明珠, 等. 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2248-2259.
- [35] 杜建会, 严 平, 展秀丽, 等. 民勤绿洲白刺灌丛沙堆不同演化阶段表面抗蚀性及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 763-768.
- [36] 邱 权, 李吉跃, 王军辉, 等. 柴达木盆地不同居群白刺叶片营养与土壤养分的回归分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(11): 121-128.

(责任编辑: 佟金凤)