

赵春彦,秦洁,贺晓慧,等.轻度沙埋对典型荒漠植物的影响[J].中国沙漠,2022,42(5):63-72.

轻度沙埋对典型荒漠植物的影响

赵春彦¹, 秦洁¹, 贺晓慧^{1,2}, 周冬蒙¹

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 内陆河流域生态水文重点实验室,甘肃 兰州 730000; 2.包头师范学院,内蒙古 包头 014030)

摘要:中国西北干旱区以荒漠生态系统为主体,是中国典型脆弱生态系统。沙埋对该区域植物生存和生长、植被分布和组成以及荒漠生态系统功能和结构有重要影响。以典型荒漠植物梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)为研究对象,对比研究了轻度沙埋和非沙埋植物在生理和生长方面的差异,并从土壤盐分、土壤水分、土壤温度等方面探究了造成这种差异的原因。结果表明:轻度沙埋环境下,梭梭、怪柳、白刺、沙拐枣的光合速率普遍高于非沙埋植株,蒸腾速率显著低于非沙埋植株,水分利用效率也均高于非沙埋植株。轻度沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺株高明显低于非沙埋植株,但地径、冠幅、叶面积指数普遍高于非沙埋植株。主要原因是轻度沙埋植物下方土壤黏粒含量、土壤湿度高于非沙埋植物下方,轻度沙埋植物下方土壤温度、含盐量低于非沙埋环境。

关键词:沙埋; 光合; 土壤水分; 土壤盐分; 荒漠植物

文章编号: 1000-694X(2022)05-063-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00016

中图分类号: S429

文献标志码: A

0 引言

中国西北干旱区以荒漠生态系统为主体,荒漠区面积占全国荒漠区总面积的63.7%,是典型的脆弱生态系统^[1],气候干旱,降雨稀少,风沙灾害严重,沙漠化土地高达37.59万km²^[2]。频繁的风沙移动导致植物经常遭受不同程度的沙埋^[3],尤其是生长在沙丘背风坡的植物,沙埋情况更为严重。沙埋会影响土壤氧含量、盐度、湿度、营养状态、土壤温度等,进而影响荒漠植物的生长和生存^[4]。遭受严重沙埋的物种有可能面临淘汰,因此沙埋被认为是在不同生长阶段影响荒漠植物进化的重要因素^[5]。

近年来,沙埋对荒漠植物、群落及生态系统的影响受到越来越多学者的关注。轻度沙埋会促进荒漠植物的生长。沙埋后草本植物沙米(*Agriophyllum squarrosum*)渗透调节物质含量增加,不仅维持了细胞膨压,还维持了气孔开放,提高了光合和生长速率^[6]。轻度和中度沙埋条件下,灌木小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)的叶片数、主根长、株高、地上生物量、总生物量均显著高于非沙埋植株^[7]。沙埋

对植物形态特征也有很大影响。沙埋促进了沙柳(*Salix cheilophila*)枝条的分级数、枝条分枝数、枝条直径以及冠幅周长的增长^[8]。沙埋还是荒漠区影响群落演替的重要驱动力之一^[9]。沙埋在柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)植被分布、种群动态及荒漠生态系统对环境变化响应过程中发挥着极大的作用^[10]。此外,沙埋还会影响荒漠生态系统的功能和结构,淘汰不适应荒漠区生长的物种,减小其丰富度,增加耐沙埋植物的多度,从而改变荒漠生态系统物种组成^[11]。但是,沙埋对植物的影响受沙埋深度的影响很大。随着沙埋深度的增加,植物对沙埋的耐受能力和对黑暗的忍耐力降低,会由于缺氧等导致死亡^[12]。尤其当沙埋厚度超过植物高度,导致植物生长不良,生产力下降。沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)等种子萌发最适宜的沙埋深度为1—2 cm^[13-15],沙埋过深会降低土壤透气性^[16],不利于种子萌发。大面积重度沙埋还会导致生物资源和水土资源减少,从而威胁地区生态安全^[4]。

收稿日期:2021-12-30; 改回日期:2022-03-02

资助项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(42001038)

作者简介:赵春彦(1988—),女,甘肃天水人,助理研究员,主要从事干旱区生态水文研究。E-mail: zhaochunyan627@163.com

但是,目前研究集中在重度沙埋对植物的影响方面,而轻度沙埋是否有利于植物生长发育,沙漠植物下方土壤养分、盐分以及水分如何变化仍不清楚。梭梭(*Haloxylon ammodendron*)遭受沙埋的影响,主要在种子萌发和幼苗出土方面^[17-18]。沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)遭受沙埋的影响,主要在发芽率方面^[19]。白刺(*Nitraria tangutorum*)遭受沙埋的影响,主要在种子萌发和种群形状方面^[20-21]。因此,以梭梭、柽柳(*Tamarix chinensis*)、白刺、沙拐枣为研究对象,对比研究轻度沙埋和非沙埋植物在生理和生长方面的差异,并从土壤盐分、土壤水分、土壤温度等方面探究了造成这种差异的原因,旨在为荒漠区植被重建和恢复以及引种栽培提供理论依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于黑河下游额济纳绿洲(41°40′—42°40′N, 100°15′—101°15′E),其东部为巴丹吉林沙漠,西部为马鬃山,南部为鼎新盆地,北部为蒙古边界(图1)。该区为典型的温带大陆性气候,由于

三面环山,太平洋暖湿气流很难到达,受蒙古高压控制,冬季寒冷干燥,夏季炎热少雨。多年平均降水量为36.6 mm,多年平均蒸发量为3 505.7 mm,干旱指数高达47.5。大风天气频发,年均风速为3.4 m·s⁻¹,年最大风速为24 m·s⁻¹,全年沙尘暴日数平均为20 d,最高可达46 d,近几年有增加的趋势,是中国最干旱的地区^[22]。气温年较差、日较差大,多年平均气温8.2 °C。多年平均气温波动上升,气温最低出现在1968年,气温最高出现在2013年。降水量基本保持平稳。相对湿度呈波动下降趋势,2000年以后相对湿度明显低于60年来的平均值,相对湿度最低出现在2011年,平均值为26.03%,相对湿度最高出现在1959年,平均值为43.89%。潜在蒸发量呈现出波动变化趋势,1990年前后蒸发量较低(图2)。从植被组成来看,该区乔木以胡杨(*Populus euphratica*)为主,多分布在河道两侧,灌木以白刺、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、梭梭、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、沙拐枣、红砂(*Reaumuria songarica*)等为主,多以斑块状分布在远离河道的东、西戈壁地区。此外受自然因素和人为活动的叠加影响,主要土壤类型为灰棕漠土,土壤有效土层薄、质地粗,有机质缺乏、土壤生产能力较低^[23]。

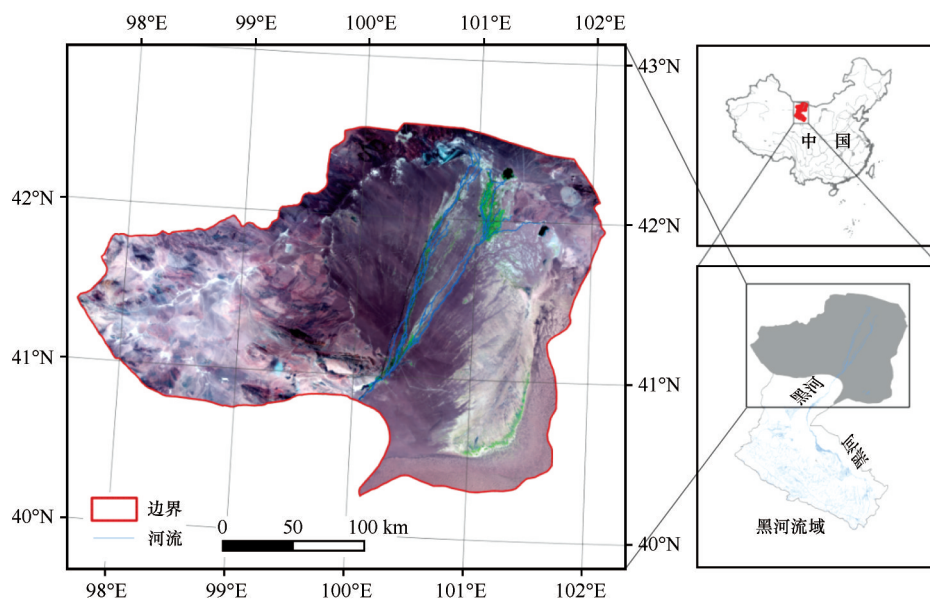


图1 研究区概况

Fig.1 The study area

1.2 试验材料

研究区荒漠河岸林生态系统植被类型以胡杨、柽柳灌丛为主。林下分布花花柴(*Karelinia caspia*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、枸杞(*Lycium*

chinense)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)等,多以廊道形式或斑块状分布于河道两侧。研究区荒漠草原生态系统以稀疏的老龄胡杨和柽柳、梭梭为主。林下分布白刺、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)、黑果

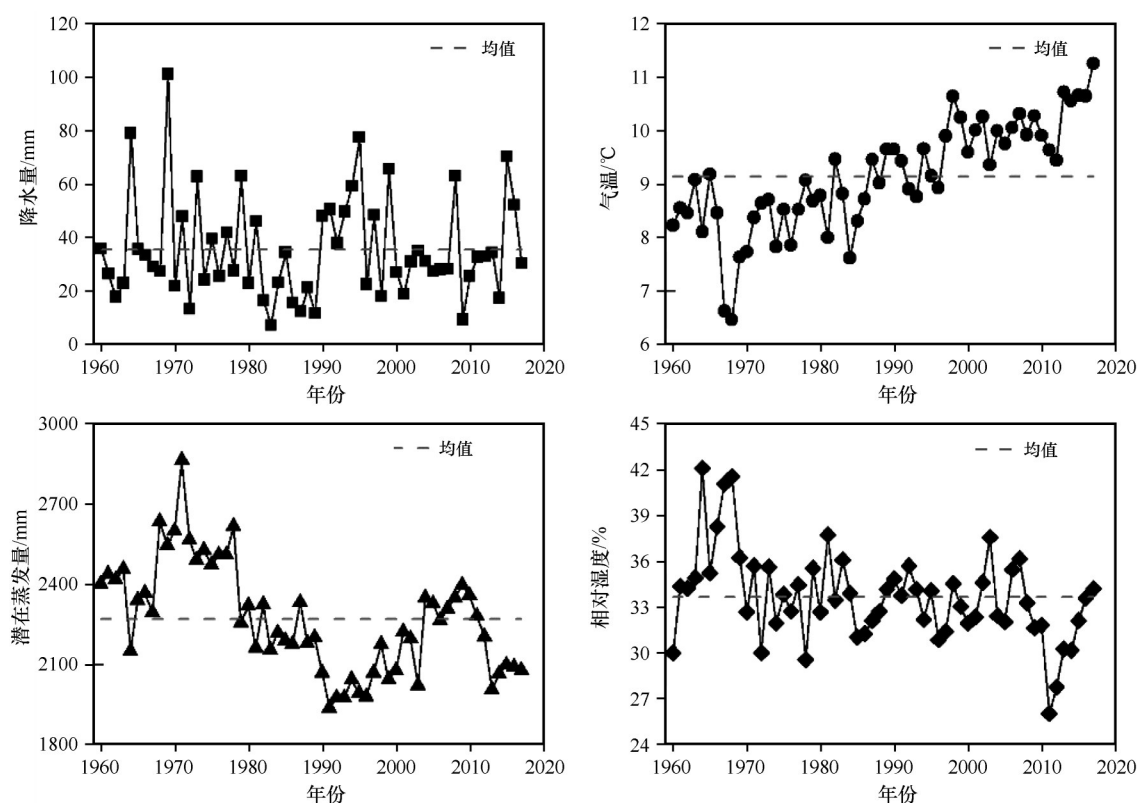


图2 研究区气象要素年变化

Fig.2 Annual variation of meteorological elements in the study area

枸杞、沙拐枣、红砂等,多以斑块状分布在远离河道的东、西戈壁地区。本研究选择该区域的4个优势种,即梭梭、柽柳、沙拐枣、白刺作为研究对象。分别在4个物种的集中分布区建立1个100 m×100 m的样地,选取同一树龄的轻度沙埋和非沙埋植株各3株作为样木,其中梭梭为10年生,柽柳为8年生,沙拐枣为4年生,白刺为5年生。轻度沙埋指沙埋深度小于植株高度的四分之一,非沙埋指植株未遭受沙埋。使用游标卡尺测量植物地径,采用卷尺测量植物株高和地径,采用叶面积指数仪测量植物叶面积。

1.3 光合参数观测

采用便携式光合作用仪(Li-cor, Inc, 美国)对梭梭、柽柳、沙拐枣、白刺气体交换参数进行活体测定,测定日期为2021年5月11日至6月24日。测定的参数主要包括蒸腾速率(Tr , $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、气孔导度(Cs , $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、光合速率(Pn , $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)等。观测前首先选择每株样树冠层下方北面不同枝条上的3个健康叶片或同化枝做标记,观测时间为08:00—18:00,每2 h测量1次。水分利用效率为:

$$WUE = Pn/Tr \quad (1)$$

式中: WUE 为水分利用效率; Pn 为光合速率; Tr 为蒸腾速率。

1.4 土壤水分和温度测量

土壤含水量采用称重法测定,沿土壤剖面自上而下取样,每隔20 cm为一层,每层3个重复,测定最大深度为100 cm。用0.1 g精度的天平立即称其湿重,然后带回实验室在105 °C的烘箱内烘干后称其干重:

$$\theta = (W_{\text{湿}} - W_{\text{干}})/(W_{\text{干}} - W_{\text{盒}}) \quad (2)$$

式中: θ 为土壤含水量(%); $W_{\text{湿}}$ 为土壤湿重(g); $W_{\text{干}}$ 为土壤干重(g); $W_{\text{盒}}$ 为铝盒重量(g)。

使用地温计观测土壤温度,测定深度为20 cm。每个植株下方东、南、西、北向各布置1个地温计,观测时间为08:00—18:00,每隔2 h读数1次。

1.5 土壤理化性质测定

沿土壤剖面从下到上分层取样,装袋。将采回的土样放在布袋中,晾干,研磨,过2 mm孔径的筛子。然后用四分法取土样一份,将所取土样进一步研细,使之全部通过1 mm孔径的筛子,进行化学

分析。所有的土样均制备5:1水土比浸提液。碳酸氢根离子和碳酸根离子采样双指示剂中和滴定法测定,硫酸根离子采用EDTA间接滴定法测定,氯离子采用 AgNO_3 滴定法测定,钠离子和钾离子采用火焰光度法测定,钙离子和镁离子采用EDTA络合滴定法测定^[24],土壤粒度依据美国制(USDA)标准。

1.6 数据处理

采用SPSS 19.0、Excel 2016和Origin 8.0软件进行数据处理和统计分析。采用Origin 8.0和surfer 13.0进行作图,所得数据通过最小显著性检验。使用单因素方差分析法(ANOVA)分析轻度沙埋和非

沙埋对植物生长、土壤温度、土壤水分、土壤粒径、土壤养分、土壤盐分的影响是否显著。

2 结果

2.1 沙埋和非沙埋植物光合参数日变化

沙埋环境下,梭梭和怪柳的光合速率显著高于非沙埋植株,差异可高达 $10.07 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;沙埋环境下,白刺的光合速率11:00之前高于非沙埋环境,11:00之后低于非沙埋植物;沙拐枣的光合速率在沙埋和非沙埋环境下差异不大(图3)。沙埋环境下,梭梭的蒸腾速率显著低于非沙埋植株,日

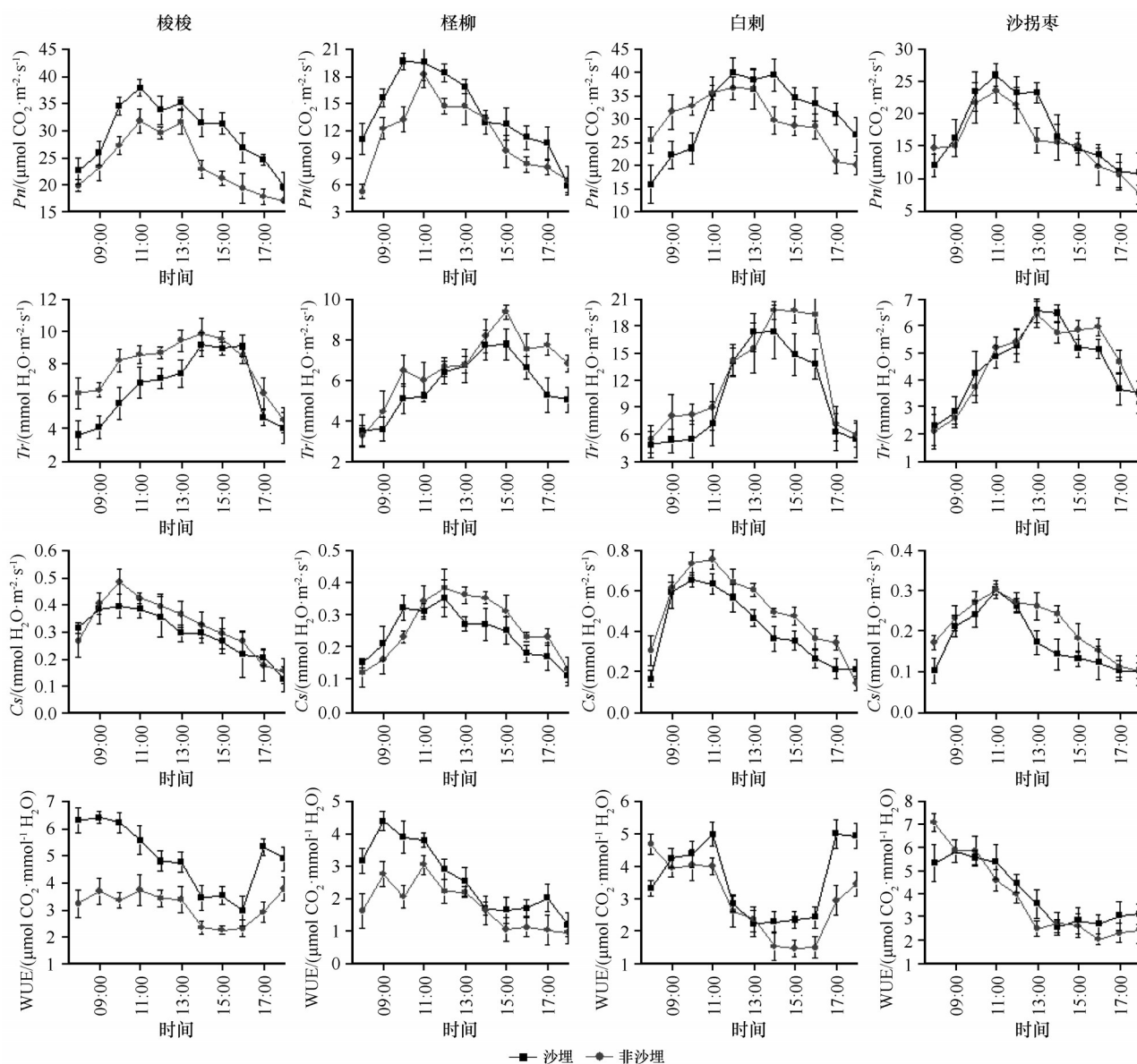


图3 沙埋和非沙埋植物光合参数日变化

Fig.3 Diurnal variation of photosynthetic parameters of plants under sand burial and no sand burial

平均蒸腾速率分别为 $6.40 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $7.80 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;沙埋环境下,怪柳、沙拐枣、白刺蒸腾速率也均低于非沙埋植株。沙埋环境下梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺气孔导度均低于非沙埋植株,尤其 11:00 以后表现更为明显。沙埋环境下,梭梭和怪柳、沙拐枣、白刺的水分利用效率显著高于非沙埋植株,水分利用效率分别为 4.91、2.62、3.54、4.02 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ (图 3)。

2.2 沙埋和非沙埋植物生长参数差异

沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺株高明显低于同树龄的非沙埋植物(表 1)。沙埋环境下,梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺的地径均高于非沙埋植株,分别为 7.55、4.08、3.19、2.46 cm。沙埋环境下,梭梭、怪柳、

白刺平均冠幅显著高于非沙埋植株,沙拐枣的平均冠幅沙埋环境和非沙埋环境下差异不大。沙埋环境下梭梭和怪柳的叶面积指数均高于非沙埋植株,白刺和沙拐枣沙埋和非沙埋环境下叶面积指数无显著差异。就根冠比来看,沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺的根冠比均低于非沙埋植株。

2.3 沙埋和非沙埋土壤水分和温度差异

沙埋植物下方 0—40 cm 土壤水分显著高于非沙埋,而且沙埋和非沙埋怪柳下方土壤水分差异最为显著,最大差异可达 3%(图 4)。就土壤温度来看,沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺下方土壤温度显著低于非沙埋环境。尤其是 12:00 过后,沙埋植物下方和非沙埋植物下方土壤温差可高达 4℃(表 2)。

表 1 沙埋和非沙埋植物生长参数变化

Table 1 Changes of growth parameters of plants under sand burial and no sand burial

物种	生长环境	株高/m	地径/cm	平均冠幅/cm	叶面积指数	根冠比
梭梭	沙埋	1.68±0.48 ^a	7.55±1.23 ^a	188.90±21.11 ^a	0.72±0.05 ^a	0.43±0.04 ^a
	非沙埋	1.77±0.23 ^b	5.32±1.10 ^b	149.46±31.05 ^b	0.66±0.02 ^b	0.56±0.01 ^b
怪柳	沙埋	1.53±0.33 ^a	4.08±1.09 ^a	157.51±17.32 ^a	1.29±0.09 ^a	0.75±0.08 ^a
	非沙埋	1.71±0.25 ^b	3.57±1.32 ^b	132.70±12.36 ^b	1.14±0.01 ^b	0.81±0.07 ^b
沙拐枣	沙埋	1.15±0.27 ^a	3.19±0.51 ^a	102.20±9.44 ^a	0.97±0.10 ^a	0.49±0.02 ^a
	非沙埋	1.34±0.31 ^b	2.34±0.44 ^b	94.62±10.97 ^a	0.65±0.02 ^a	0.55±0.05 ^b
白刺	沙埋	0.75±0.16 ^a	2.46±0.37 ^a	167.55±32.33 ^a	0.89±0.05 ^a	0.48±0.03 ^a
	非沙埋	0.89±0.23 ^b	2.15±0.29 ^b	134.38±21.05 ^b	0.71±0.09 ^a	0.73±0.02 ^b

不同小写字母表示沙埋和非沙埋植物生长差异显著($P<0.05$)。

2.4 沙埋和非沙埋土壤理化性质差异

从图 5 可以看到,沙埋植物下方土壤黏粒(粒径 $<2 \mu\text{m}$)含量明显高于非沙埋下方,其中沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺土壤下方黏粒含量为 11.99%、7.50%、7.07%、6.08%,非沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺土壤下方黏粒含量为 4.16%、4.97%、3.15%、2.85%。就土壤盐分来看,沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺下方 0—20 cm 土壤盐分含量显著低于非沙埋植物下方土壤盐分,土壤全盐含量分别为 1.09、1.35、0.28、0.67 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 3)。沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺下方 0—20 cm 土壤全氮、全磷、全钾、有机质、速效磷、速效钾含量均高于非沙埋植物下的土壤(表 4)。尤其是沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺下土壤的有机质含量显著高于非沙埋环境,分别为 2.94、3.23、0.95、1.17 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3 讨论

植物生长的每个阶段都可能受到外力因子的影响和干扰^[25]。研究发现,轻度沙埋对荒漠植物光合速率有显著影响。沙埋环境下,梭梭、怪柳、白刺、沙拐枣的光合速率普遍高于非沙埋植株,蒸腾速率显著低于非沙埋植株,水分利用效率也均高于非沙埋植株。轻度沙埋会提高榆树(*Ulmus pumila*)蒸腾速率、光合速率和水分利用效率^[26]。这与植物补偿机制有关,因为光合能力的提高有助于荒漠植物快速补充后续生长发育所需要的能源。但是沙埋也可引起 4 种蒿属植物叶片损伤,从而导致光合作用受阻,主要是沙埋太深造成的^[27]。

轻度沙埋对荒漠植物生长有显著影响。沙埋梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺株高明显低于非沙埋植株,但地径、冠幅、叶面积指数普遍高于非沙埋植

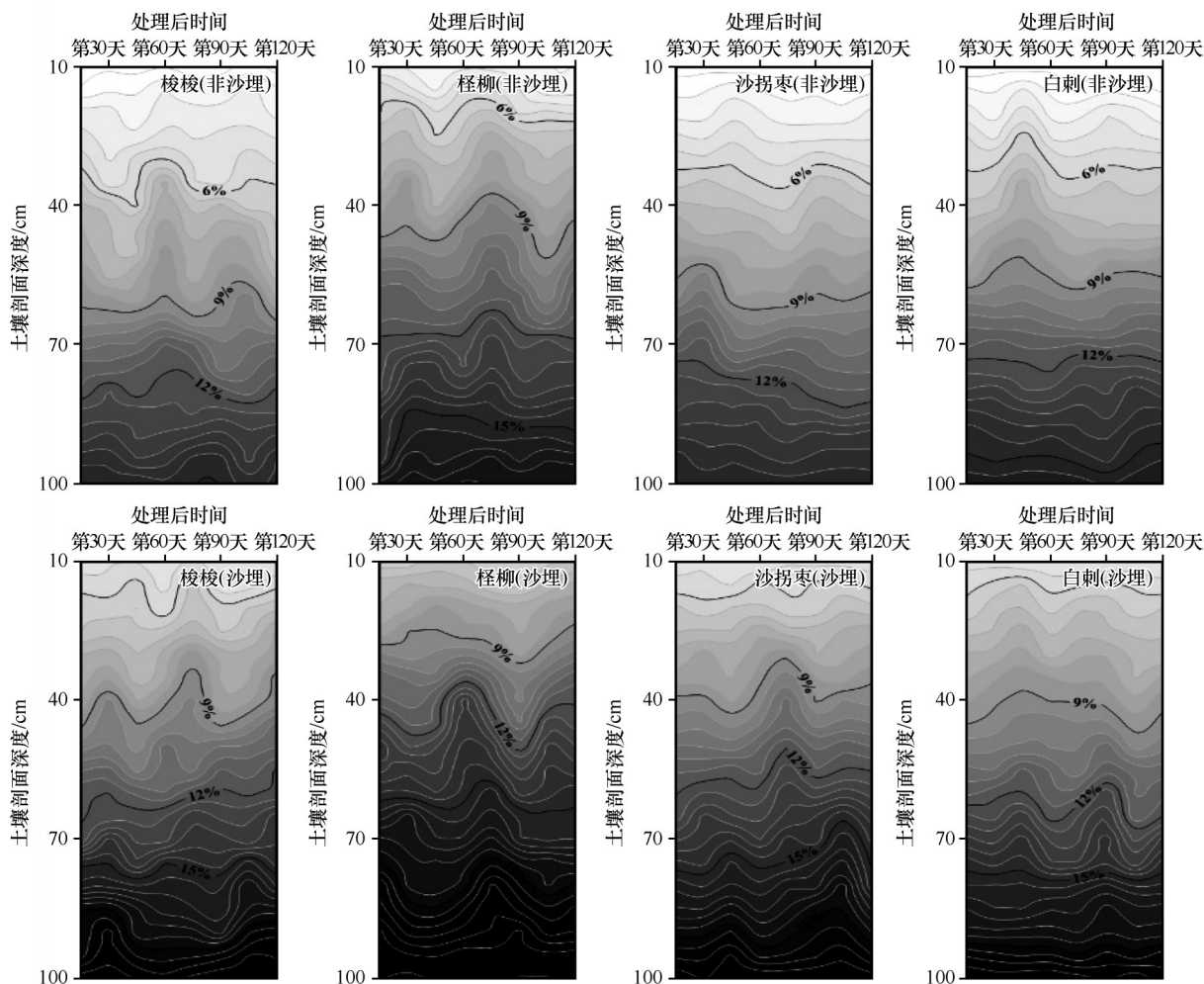


图4 沙埋和非沙埋土壤含水量差异

Fig.4 Difference of soil water content under sand burial and no sand burial

表2 沙埋和非沙埋植株下方土壤温度

Table 2 Soil temperature difference under sand burial and no sand burial

时间	梭梭		怪柳		沙拐枣		白刺	
	沙埋	非沙埋	沙埋	非沙埋	沙埋	非沙埋	沙埋	非沙埋
08:00	15.06±1.14 ^a	15.80±1.43 ^b	12.45±1.32 ^a	12.56±1.11 ^b	15.21±1.25 ^a	15.02±1.62 ^b	13.34±2.05 ^a	13.81±1.54 ^b
10:00	20.11±1.02 ^a	19.33±1.30 ^b	13.07±1.83 ^a	14.35±1.73 ^b	22.61±1.07 ^a	22.05±0.98 ^b	19.15±1.64 ^a	23.59±0.99 ^b
12:00	23.26±1.21 ^a	27.20±1.17 ^b	24.39±1.27 ^a	27.57±1.43 ^b	22.97±2.01 ^a	25.32±1.11 ^b	30.22±1.32 ^a	34.20±1.46 ^b
14:00	32.49±1.05 ^a	36.30±1.62 ^b	26.92±1.09 ^a	30.77±1.08 ^b	26.26±1.16 ^a	32.51±1.08 ^b	36.56±1.04 ^a	39.17±1.66 ^b
16:00	34.95±1.11 ^a	38.49±1.80 ^b	27.59±1.14 ^a	36.48±0.85 ^b	37.63±0.78 ^a	40.17±1.67 ^b	38.11±1.54 ^a	40.45±1.15 ^b
18:00	31.33±1.62 ^a	35.46±0.97 ^b	33.30±1.63 ^a	35.63±1.19 ^b	34.37±1.41 ^a	37.19±1.22 ^b	34.15±1.33 ^a	38.73±0.94 ^b

不同小写字母表示沙埋和非沙埋植株下方土壤温度差异显著($P<0.05$)。

株。这与对荒漠植物红砂、泡泡刺、花棒(*Corethro-dendron scoparium*)的研究结果一致^[28-29]。主要原因是荒漠植物遭遇沙埋后,通过增加叶面积来加快碳的同化作用,促进植物生长^[30]。研究还发现,沙埋植物根冠比普遍低于非沙埋环境。这与对半干

旱风沙区黄柳(*Salix gordejvii*)的研究结果一致^[31]。主要原因是沙埋后,荒漠植物的生物量从根到地上的转变会促进植物茎的生长,从而恢复植物的光合性能^[32]。加拿大中部海岸沙丘木本植物遭受沙埋后有效能源也被重新分配到地上部分^[33]。沙埋能

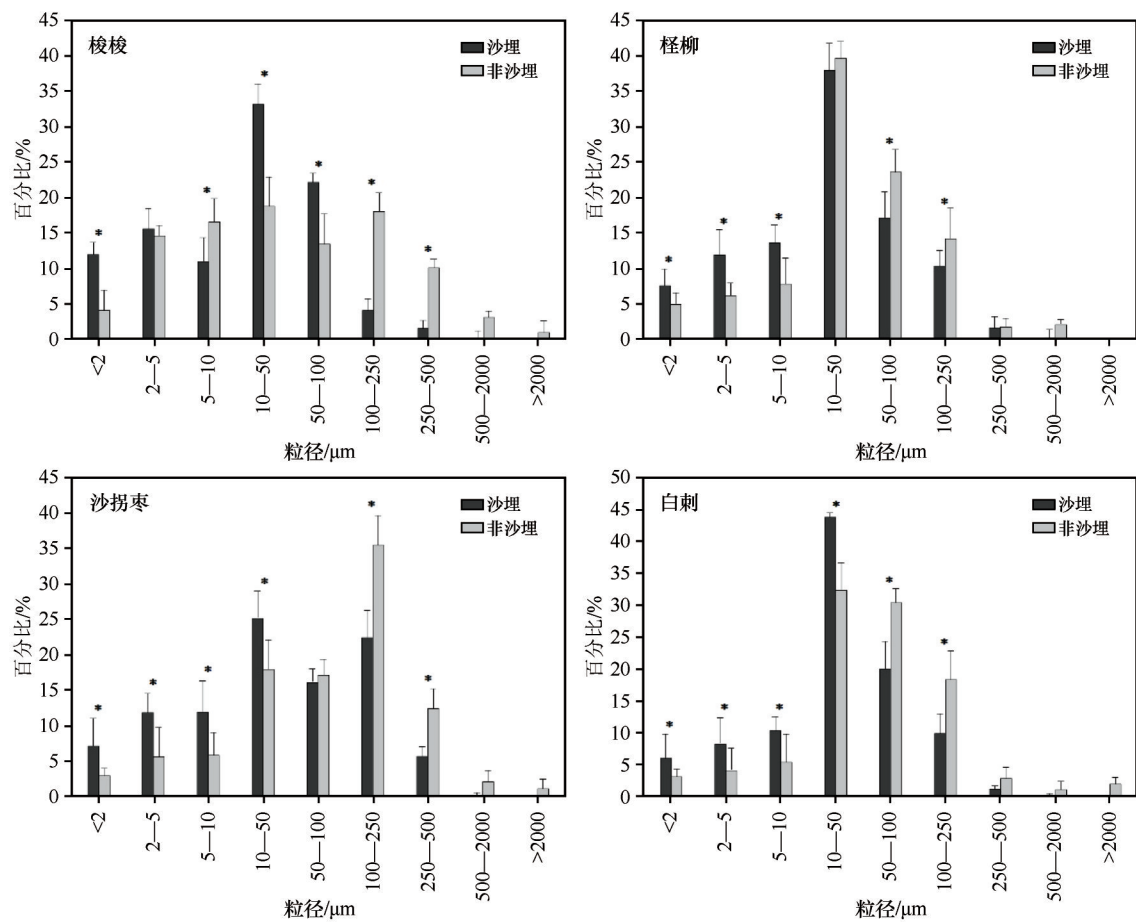


图5 沙埋和非沙埋植物下方0—20 cm土壤粒径组成(*表示 $P<0.05$)
Fig.5 Soil particle size composition under sand burial and no sand burial

表 3 沙埋和非沙埋植物下方土壤盐分组成
Table 3 Soil salt composition under sand burial and no sand burial

物种	环境	HCO_4^- /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Cl^- /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	SO_4^{2-} /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Ca^{2+} /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Mg^{2+} /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	K^+ /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Na^+ /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全盐 /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
梭梭	沙埋	0.25±0.012 ^a	0.18±0.019 ^a	0.33±0.043 ^a	0.08±0.002 ^a	0.01±0.001 ^a	0.02±0.004 ^a	0.22±0.018 ^a	1.09±0.014 ^a
	非沙埋	0.21±0.037 ^b	0.82±0.041 ^b	0.25±0.082 ^b	0.21±0.004 ^b	0.02±0.012 ^b	0.07±0.002 ^b	0.94±0.047 ^b	2.52±0.03 ^b
怪柳	沙埋	0.28±0.072 ^a	0.17±0.012 ^a	0.47±0.007 ^a	0.14±0.001 ^a	0.04±0.007 ^a	0.02±0.002 ^a	0.23±0.082 ^a	1.35±0.026 ^a
	非沙埋	0.38±0.051 ^b	0.46±0.023 ^b	0.76±0.071 ^b	0.17±0.043 ^b	0.02±0.003 ^b	0.36±0.017 ^b	1.08±0.003 ^b	3.23±0.03 ^b
沙拐枣	沙埋	0.10±0.045 ^a	0.01±0.081 ^a	0.09±0.014 ^a	0.04±0.001 ^a	0.01±0.001 ^a	0.01±0.001 ^a	0.02±0.001 ^a	0.28±0.02 ^a
	非沙埋	0.24±0.019 ^b	0.03±0.090 ^b	0.03±0.007 ^b	0.03±0.019 ^b	0.01±0.002 ^b	0.01±0.002 ^b	0.06±0.003 ^b	0.41±0.038 ^b
白刺	沙埋	0.41±0.044 ^a	0.04±0.012 ^a	0.04±0.001 ^a	0.02±0.001 ^a	0.01±0.003 ^a	0.04±0.002 ^a	0.11±0.002 ^a	0.67±0.009 ^a
	非沙埋	0.24±0.021 ^b	0.59±0.055 ^b	0.18±0.005 ^b	0.06±0.004 ^b	0.03±0.003 ^b	0.01±0.001 ^b	0.93±0.041 ^b	2.04±0.018 ^b

不同小写字母表示沙埋和非沙埋植株下方土壤盐分差异显著($P<0.05$)。

够促进泡泡刺枝条发芽和生长^[34]。但也有研究发现,沙埋导致根冠比增加,从而增强了植物对深层土壤水分和养分的吸收能力,利于植物在干旱条件下维持生长^[35]。这主要与植物生活型相关,对1—2年生植物来说,将更多能量投入到地上部分的生长

和繁殖构件,减少地下根系的投入有助于种群扩散和有性繁殖。然而,对于多年生植物来说,增加地下根系的比重能给地上部分提供更多的养分和水分,更有利于营养繁殖^[36]。

对轻度沙埋和非沙埋植物光合及生长差异的

表 4 沙埋和非沙埋植物下方土壤养分组成

Table 4 Soil nutrient composition under sand burial and no sand burial

物种	生长环境	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全磷 P ₂ O ₅ /(g·kg ⁻¹)	全钾 K ₂ O /(g·kg ⁻¹)	有机质 /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 P ₂ O ₅ /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 K ₂ O /(mg·kg ⁻¹)
梭梭	沙埋	0.14±0.011 ^a	0.34±0.061 ^a	9.02±1.23 ^a	2.94±0.18 ^a	4.70±1.02 ^a	5.27±1.32 ^a	8.33±1.33 ^a
	非沙埋	0.09±0.002 ^b	0.31±0.002 ^b	8.05±1.08 ^b	1.19±0.03 ^b	10.30±1.23 ^b	4.96±0.29 ^b	7.05±0.97 ^b
怪柳	沙埋	0.19±0.023 ^a	0.86±0.068 ^a	11.94±2.33 ^a	3.23±0.96 ^a	14.00±2.97 ^a	6.19±1.77 ^a	9.94±2.83 ^a
	非沙埋	0.13±0.018 ^b	0.63±0.037 ^b	10.21±1.84 ^b	1.62±0.09 ^b	3.30±0.85 ^b	4.93±0.98 ^b	8.91±1.31 ^b
沙拐枣	沙埋	0.10±0.003 ^a	0.51±0.019 ^a	5.83±1.72 ^a	0.95±0.087 ^a	9.50±1.43 ^a	3.09±0.53 ^a	6.43±1.06 ^a
	非沙埋	0.06±0.001 ^b	0.33±0.048 ^b	4.32±1.33 ^b	0.65±0.042 ^b	4.50±1.11 ^b	2.78±0.07 ^b	4.02±0.99 ^b
白刺	沙埋	0.15±0.07 ^a	0.94±0.015 ^a	10.73±2.41 ^a	1.17±0.091 ^a	16.90±3.92 ^a	6.61±1.43 ^a	10.12±2.04 ^a
	非沙埋	0.06±0.002 ^b	0.39±0.041 ^b	7.01±1.91 ^b	0.70±0.014 ^b	1.90±0.18 ^b	5.98±1.91 ^b	8.77±1.55 ^b

不同小写字母表示沙埋和非沙埋植株下方土壤养分差异显著($P<0.05$)。

原因进行探究发现,沙埋植物下方土壤水分显著高于非沙埋植物下方土壤水分,而沙埋植物下方土壤温度显著低于非沙埋植物。而且,沙埋植物下方土壤黏粒含量明显高于非沙埋下方。此外,沙埋植物和非沙埋植物下方土壤养分和盐分也存在很大差异。沙埋植物下方土壤盐分含量显著低于非沙埋植物下方土壤盐分。沙埋植物下方土壤全氮、全磷、全钾、有机质、速效磷、速效钾含量均高于非沙埋植物下的土壤。这说明轻度沙埋可以有效地改善土壤环境。研究也发现,沙埋处理下,差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)下方土壤含水量和全氮增加,根际土壤温度下降^[37]。此外,沙埋还可以改变塔洛岩黄芪(*Hedysarum mongolicum* var. *laeve*)所处的其他生物和非生物环境,如光合有效辐射、湿度、根际氧气含量、土壤微生物活动等,进而影响植物生长发育^[38]。

4 结论

轻度沙埋可以促进梭梭、怪柳、白刺、沙拐枣的光合作用,抑制蒸腾作用,提高水分利用效率,从而促进植物生长。主要原因是沙埋增加了植物下方土壤水分和土壤养分,降低了土壤盐分。但是,沙埋深度对植物的生长也有影响,进一步的研究应通过控制实验探索最适宜梭梭、怪柳、沙拐枣、白刺生长的沙埋深度。

参考文献:

[1] 陈亚宁,陈亚鹏,朱成刚,等.西北干旱荒漠区生态系统可持续管理理念与模式[J].生态学报,2019,39(20):7410-7417.

[2] 王涛,宋翔,颜长珍,等.近 35 a 来中国北方土地沙漠化趋势的遥感分析[J].中国沙漠,2011,31(6):1351-1356.

[3] Benvenuti S, Macchia M, Miele S.Light, temperature and burial depth effects on *Rumex obtusifolius* seed germination and emergence[J].Weed Research,2001,41:177-186.

[4] Zhao W Z,Zhang Z,Li Q.Growth and reproduction of *Sophora moorcroftiana* responding to altitude and sand burial in the middle Tibet[J].Environmental Geology,2007,53(1):11-17.

[5] Maun M A.Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems [J]. Vegetatio, 1994, 111 (1):59-70.

[6] 宋冰,王国华,缙倩倩,等.沙埋对河西走廊荒漠绿洲过渡带一年生草本植物的影响[J].中国沙漠,2021,41(3):185-194.

[7] 赵哈林,何玉惠,岳广阳,等.风吹、沙埋对沙地植物幼苗生长和光合蒸腾特性的影响[J].生态学杂志,2010,29(3):413-4196.

[8] 米志英,周丹丹,吴亚东.风蚀沙埋对沙柳形态特征的影响[J].内蒙古林业科技,2005(1):10-13.

[9] Zhang C Y, Yu F H, Dong M.Effects of sand burial on the survival, growth, and biomass allocation in semi shrub *Hedysarum laeve* seedlings [J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44 (3) : 337-343.

[10] 王国华,赵文智.不同沙埋深度对当年生柠条锦鸡儿种子萌发及幼苗生长的影响[J].干旱区地理,2016,39(1):95-103.

[11] Maun M A.Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes [J].Canadian Journal of Botany,1998,76(5):713-738.

[12] Harris D,Davy A J.Seedling growth in *Elymus farctus* after episodes of burial with sand [J]. Annals of Botany, 1987, 60: 587-593.

[13] 朱雅娟,董鸣,黄振英.沙埋和种子大小对固沙禾草沙鞭的种子萌发与幼苗出土的影响[J].植物生态学报,2005,29(5):730-739.

[14] 贺宇,丁国栋,汪晓峰,等.水分和沙埋对 4 种沙生植物种子萌发和出苗的影响[J].中国沙漠,2013,33(6):1711-1716.

- [15] 王文娟, 贺达汉, 唐小琴, 等. 不同温度和沙埋深度对砂生槐种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1437-1442.
- [16] Vlesshouwers L M. Modeling the effects of temperature, soil penetration resistance, burial depth and seed weight on pre-emergence growth of weeds [J]. Annals of Botany, 1997, 79: 553-563.
- [17] 吕朝燕, 张希明, 高智席, 等. 梭梭幼苗出土及生长对沙埋深度的响应[J]. 北方园艺, 2016, 3: 55-60.
- [18] 刘艳丽, 高润宏, 杨永华, 等. 梭梭和驼绒藜种子萌发及出苗对沙埋的响应[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 260-265.
- [19] 王锐, 孙权, 王青凤, 等. 不同控制条件对沙生植物发芽率的影响[J]. 林业实用技术, 2009(8): 10-11.
- [20] 陈文, 王桔红, 朱慧, 等. 沙埋对河西走廊4种旱生植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1532-1537.
- [21] 贾晓红, 李新荣, 李元寿, 等. 腾格里沙漠东南缘白刺种群性状对沙埋的响应[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 1851-1857.
- [22] 司建华, 常宗强, 苏永红, 等. 胡杨叶片气孔导度特征及其对环境因子的响应[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 125-130.
- [23] 鱼腾飞, 冯起, 司建华, 等. 极端干旱区多枝怪柳叶片气孔导度的环境响应模拟[J]. 植物生态学报, 2012, 36(6): 483-490.
- [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.
- [25] Andersen K M, Turner B L, Dalling J W. Seedling performance trade-offs influencing habitat filtering along a soil nutrient gradient in a tropical forest [J]. Ecology, 2014, 95: 3399-3413.
- [26] Shi L, Zhang Z J, Zhang C Y, et al. Effects of sand burial on survival, growth, gas exchange and biomass allocation of *Ulmus pumila* seedlings in the Hunshandak Sandland, China [J]. Annals of Botany, 2004, 94(4): 553-560.
- [27] Liu B, Liu Z M, Guan D X. Seedling growth variation in response to sand burial in four *Artemisia* species from different habitats in the semi-arid dune field [J]. Trees, 2008, 22: 41-47.
- [28] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 沙漠化过程中植物的适应对策及植被的稳定性[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [29] 李秋艳, 赵文智. 五种荒漠植物幼苗出土及生长对沙埋深度的响应[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1802-1809.
- [30] Zhang J H, Maun M A. Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival, and growth of *Agropyron psammophilum* [J]. Canadian Journal of Botany, 1990, 68: 304-310.
- [31] 苗纯萍, 李雪华, 蒋德明. 半干旱风沙区黄柳幼苗生长发育对沙埋的响应[J]. 干旱区研究, 2012, 29(2): 208-212.
- [32] Perumal V J, Maun M A. Ecophysiological response of dune species to experimental burial under field and controlled conditions [J]. Plant Ecology, 2006, 184: 89-104.
- [33] Dech J P, Maun M A. Adventitious root production and plastic resource allocation to biomass determine burial tolerance in woody plants from central Canadian coastal dunes [J]. Annals of Botany, 2006, 98(5): 1095-1105.
- [34] Zhao W Z, Li Q Y, Fang H Y. Effects of sand burial disturbance on seedling growth of *Nitraria sphaerocarpa* [J]. Plant and Soil, 2007, 295: 95-102.
- [35] 李秋艳, 方海燕. 沙埋对红砂幼苗出土和生长的影响[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 30-33.
- [36] 李雪华, 李晓兰, 蒋德明, 等. 科尔沁沙地70种草本植物个体和构建生物量比较研究[J]. 干旱区研究, 2009, 26(2): 200-205.
- [37] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 沙漠化的生物过程及植被恢复机理[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [38] 刘凤红, 叶学华, 于飞海, 等. 毛乌素沙地游击型克隆半灌木羊柴对局部沙埋的反应[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 278-285.

Effects of sand burial on typical desert plants

Zhao Chunyan¹, Qin Jie¹, He Xiaohui^{1,2}, Zhou Dongmeng¹

(1. Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Baotou Teachers College, Baotou 014030, Inner Mongolia, China)

Abstract: Desert ecosystem is the major components in the arid area of Northwest China, which is one of the most typical fragile ecosystems. Sand burial has an important impact on the survival and colonization of plant, distribution and composition of vegetation in this area, as well as the function and structure of desert ecosystem. This study compared the physiological and growth differences of the typical desert plants, *Haloxylon ammodendron*, *Tamarix chinensis*, *Nitraria tangutorum* and *Calligonum mongolicum* under light sand burial and no sand burial, and explored the reasons for the differences from the aspects of soil salinity, soil moisture and soil temperature. The results showed that the photosynthetic rate of *H. ammodendron*, *T. chinensis*, *N. tangutorum* and *C. mongolicum* under sand burial were generally higher than that of no sand burial, and the transpiration rate was significantly lower than that of no sand burial, and the water use efficiency was also higher than that under no sand burial. The plant height of *H. ammodendron*, *T. chinensis*, *C. mongolicum* and *N. tangutorum* under sand burial was significantly lower than that of no sand burial, but the ground diameter, crown width and leaf area index were generally higher than those of no sand burial. The main reason was that soil clay content and soil moisture under sand burial were higher than those under no sand burial. Whereas soil temperature and soil salt under sand burial was lower than that under no sand burial. The research can provide a theoretical basis for vegetation reconstruction and restoration in desert.

Key words: sand burial; photosynthesis; soil moisture; soil salinity; desert plant