DOI:10.5846/stxb201301210125
赵哈林, 曲浩, 赵学勇, 周瑞莲,云建英, 李瑾, 王进.差巴嘎蒿幼苗对沙埋的生态适应和生理响应.生态学报,2014,34(20):5832-5839.
Zhao H L, Qu H, Zhao X Y, Zhou R L, Yun J Y, Li J, Wang J.Ecological adaptation and physiological response of *Artemisia halodendron* seedling to sand burial.Acta Ecologica Sinica,2014,34(20):5832-5839.

差巴嘎蒿幼苗对沙埋的生态适应和生理响应

赵哈林[1,*], 曲 浩[1], 赵学勇[1], 周瑞莲[2],云建英[1], 李 瑾[1], 王 进[2]
(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 鲁东大学生命学院,烟台 264025)

摘要:沙埋对于沙漠植物存活和生长影响的研究文献已有很多,但迄今有关沙漠植物对于沙埋生理生态适应的研究还很少见有报道。差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)广泛分布于我国半干旱沙地中,是流动半流动沙地的优势种。为了解沙生植物对沙埋的生态适应及其生理响应,2010—2011 年在内蒙古科尔沁沙地研究了不同沙埋深度下差巴嘎蒿幼苗的存活率、株高等生长特性和渗透调节物质含量,保护酶活性和膜透性的变化,得到以下结果:沙埋对差巴嘎蒿幼苗的存活与生长有着显著影响,特别是沙埋深度超过其株高后,其存活率和高生长受到严重抑制,但和非沙生植物相比,差巴嘎蒿幼苗具有很强的耐沙埋能力,即使沙埋深度达到其株高的 200%时仍有部分幼苗存活。随着沙埋深度的增加,差巴嘎蒿幼苗叶片含水量没有显著变化,但过氧化物歧化酶活力降低,过氧化物酶活性增强,过氧化氢酶活性变化不明显,脯氨酸含量增加,可溶性糖含量下降,丙二醛含量下降,膜透性增强。和水分、盐分胁迫不同,沙埋并未造成差巴嘎蒿幼苗的水分亏缺,沙埋胁迫下差巴嘎蒿幼苗死亡率增加、生长受到抑制的主要原因是沙埋导致植物光合面积下降,沙埋叶片无法进行正常呼吸和部分幼苗无法破土生长,但沙埋胁迫下脯氨酸含量的和过氧化物酶活性增强分别在渗透调节和保护细胞膜免受损伤中起到了关键作用。

关键词:沙埋胁迫; 差巴嘎蒿; 存活率;生长发育; 生理响应

Ecological adaptation and physiological response of *Artemisia halodendron* seedling to sand burial

ZHAO Halin[1,*], QU Hao[1], ZHAO Xueyong[1], ZHOU Ruilian[2], YUN Jianying[1], LI Jin[1], WANG Jin[2]
1 *Cold and Arid Regions Environment and Engineering Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*
2 *Faculty of Life Sciences, Ludong University, Yantai* 264025, *China*

Abstract: There is a great deal of literatures on the effects of sand burial upon the survival and growth of desert plants, but the physiological and ecological adaption of desert plants to sand burial have as yet rarely been studied. *Artemisia halodendron* is widely distributed in the semiarid deserts of China and is a dominant species in semi-moving dune vegetation. In order to understand the ecological and physiological adaptation of prammophytes to sand burial, , changes of survival rate, plant height, biomass, osmotic regulation substances, protective enzymes and membrane permeability of *A. halodendron* in different sand burial depths were studies during 2010—2011 in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia. The experiment included ten burial treatments: buried to 0% (CK, no burial), 25% (A), 50% (B), 75% (C), 100% (D), 125% (E), 150% (F), 175% (G) and 200% (H) and 225% (I) of seedling height. The results showed that 1) *A. halodendron* had a stronger ability to withstand sand burial stress, with some plants still surviving even if buried to a depth reaching 200% of the seedling heights. Although seedling growth was inhibited significantly once the depth of sand burial reached 50% of seedling height, seedling survive did not decrease significantly until the burial depth exceeded 100% of seedling height; 2) MDA content was significantly lower in the partial sand burial treatments compared to CK, but

基金项目:国家自然科学基金项目(31270752, 30972422)
收稿日期:2013-01-21; **网络出版日期**:2014-03-11
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: resdiv@ lzb.ac.cn

membrane permeability did not increase significantly. After being subjected to complete sand burial, MDA content was still lower in most the treatments compared to CK, while membrane permeability increased significantly. Sand burial did not produce water stress in the seedlings, a major mechanism causing decreased MDA content is that the darkness, hypoxia and low temperature inhibit production of oxygen free radicals and membrane lipid peroxidation; 3) Compared with CK, SOD activity was significantly lower in all sand burial treatments except for treatments D and H, POD activity was higher in all sand burial treatments except treatment D, and CAT activity showed no significant changes with any of the sand burial treatments except for being elevated in treatments C and D. In general, POD activity increased when the activities of SOD and CAT decreased, and SOD and CAT activities increased when POD activity decreased. MDA content had a positive correlation with SOD and POD and a negative correlation with CAT. These results suggested that although there was a complementary interplay among the three enzymes, POD played a central role and SOD and CAT played supporting roles in scavenging active oxygen and minimizing cell membrane damage; 4) When subjected to partial burial with sand, proline content showed no significant changes and the soluble sugar content decreased significantly compared to CK. After sand burial exceeded the seedling height, proline content increased significantly; although soluble sugar content increased, the difference from CK did not reach a significant level. The results suggested that when subjected to the severe stress of sand burial, proline plays a major role and soluble sugar fails to play an effective role in the osmotic adjustment process.

Key Words: sand burial; *A. squarrosum*; survival rate; growth development; physiological response

在我国北方干旱半干旱地区,风积造成的植物沙埋现象十分普遍。已有研究表明,沙埋不仅可以导致植物生长不良,生产力下降,甚至死亡,而且大面积沙埋还会导致水土资源和生物资源的减少,威胁地区生态安全[1]。因此,近些年来,随着国家对北方风沙区生态保护和植被恢复重建的日益重视,沙埋对植物影响及其适应研究愈来愈受到关注[2-3]。

关于沙埋对于植物生长特性影响及其适应性研究,已有不少报道。国外学者在 20 个世纪 50 年代就发现不同植物耐受沙埋的能力不同,沙埋可以淘汰不适应的物种,增加耐沙埋物种和沙生植物的多度,从而改变沙地植物群落的物种组成及其种群密度[4]。在国内,我国植物学研究的开拓者和奠基人刘慎谔先生在 20 世纪 50 年代就指出,沙蒿喜适度沙埋,随着沙丘的逐渐固定,沙蒿即开始衰退,提出了利用植物固沙必须要研究植被的演替和沙丘的固定过程[5]。近些年来,相关研究主要集中于沙埋对植物种子萌发和幼苗出土的影响[6-8]。也有一些沙埋对植物形态、能量分配和无性繁殖影响或响应的研究报道,但数量相对较少[9-11]。另外,还有个别有关沙埋对植物解剖结构和幼苗气体交换等影响的研究报道[12-13]。但迄今为止,有关沙生植物对沙埋生理生态适应的综合研究还鲜有有报道[2]。

差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron* Turcz.et Bess.)是菊科(Asteraceae)蒿属(*Artemisia*)的半灌木,主要分布于我国东部科尔沁、呼伦贝尔和松嫩三大沙地的半流动沙地和流动沙丘的下部,因其具有较强的耐风沙能力,因而成为当地生物固沙的首选植物[1]。为了解差巴嘎蒿耐沙埋的生理生态适应机制,在内蒙古科尔沁沙地研究了不同沙埋胁迫条件下差巴嘎蒿幼苗的存活率、株高、渗透调节物质含量,保护酶活性和膜透性等生理生态指标变化,分析了沙埋对差巴嘎蒿生长影响及其生理响应,以期为该区人工植被的恢复重建提供科学依据。

1　研究方法

1.1　研究区自然概况

研究区位于内蒙古通辽市奈曼旗境内,地处科尔沁沙地腹地(42°55′—42°57′N, 120°41′—120°45′E,海拔 340—370 m)。该区属温带半干旱大陆性气候,年均降水量 356.9 mm,年均蒸发量 1900 mm,年均气温 6.5 ℃,≥10 ℃年积温 3190 ℃,无霜期 151 d;年平均风速 3.4 m/s,年平均扬沙天气 20—30 d。地貌以高低起伏的沙丘地和平缓草甸或农田交错分布为特征,土壤多为风沙土或沙质草甸土。研究区天然植物群落以中旱生植物为主,主要植物种有沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、大果虫实(*Corispermum marocarpum*)、猪毛菜(*Salsola* collina)、差巴嘎蒿、小叶锦鸡儿(Caragana microphylla)、达乌里胡枝子(Lespedeza davurica)等。

1.2 试验设计

试验地设置于中国科学院奈曼沙漠化研究站的水分平衡场内。其水分平衡场由数个大小为 2 m × 2 m × 2 m 无底水泥池构成,池内填有风沙土。试验设计为 CK、A、B、C、D、E、F、G、H 和 I 等 10 个沙埋处理,其沙埋厚度分别为株高的 0%、25%、50%、75%、100%、125%、150%、175%、200% 和 225%。试验采用随机区组排列,每个处理 4 个重复(4 个池子)。试验用差巴嘎蒿种子采自于 2009 年秋季,2010 年 4 月将种子条播于水泥池内,行距 30 cm。为保证出苗,播种后每 3—5 d 用喷壶浇 1 次水,每次浇水量 500 mL,以保持沙面经常湿润。出苗后,进行间苗,每个水泥池分别保留 100 株长势相似的幼苗。于 5 月中旬风沙活动强烈期对试验材料进行沙埋处理,沙子均来源于当地的流动沙丘,此时幼苗平均株高为(7.8±0.6) cm。沙埋后浇一次透水后不再浇水,靠自然降水补充其土壤水分。野外沙埋试验持续时间为 2011 年 4—8 月底。

1.3 测定内容与方法

试验期间,每隔 10d 测定 1 次池内不同深度(0、10、20 cm)土壤水分含量、温度、硬度和 pH 值。其中,土壤温度采用地埋温度计法,土壤含水量采用烘干恒重法(105 ℃),土壤 pH 值用 Multiline P4 (Germany)、土壤硬度采用硬度计测定,以上指标每个池内测定均为 3 个重复。另外,秋季每个池内测定 1 次土壤容重,并用土钻法提取土样带回实验室分析其机械组成和养分含量。其中,土壤机械组成采用机械组成用湿筛加吸管法,有机碳采用重铬酸钾-硫酸氧化法,土壤全氮采用凯氏定氮法[14]。不同埋深下光照强度(透光率)的测定方法为:采用一个 30 cm(长) × 3 0 cm(宽)× 40 cm(深)的四周完全密不透光,顶部敞开的木盒,在其内部 10cm 高处设置一层玻璃,玻璃下放置照度计(型号 Testo 545)。在玻璃上分次设置 0—20 cm 厚度沙子,厚度间隔为 2 cm。选择晴朗无云的天气测定和记录其光照透入率,干沙和湿沙各测定 3 次,取平均值。

于沙埋后的第 12 天用剪刀剪取部分植株地上部叶片,一部分材料即刻带回实验室测定细胞膜透性和叶片相对含水量,另一部分材料迅速用纸包裹置于液氮罐内,用于脯氨酸、可溶性糖含量,SOD、POD、CAT 活力的分析。测定方法[15]:SOD 活性为氯化硝基四氮唑蓝光还原法, POD 活性为愈创木酚法,CAT 活性为碘量法 丙二醛(MDA)为硫代巴比妥酸法,游离脯氨酸含量为茚三酮比色法,可溶性糖含量为蒽酮比色法,膜透性为电导率法。于沙埋当年 8 月底植物生长末期测定其存活率和株高,其中株高是原地面以上部分。

1.4 数据分析方法

应用 SPSS13 软件进行数据的统计分析, 采用单因素方差分析(One-Way ANOVA) 和最小显著差异法(LSD) 比较不同数据组间的差异,用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相互关系。

2 结果与分析

2.1 不同沙埋深度土壤理化特性比较

从表 1 可以看出,不同沙埋深度下土壤理化特性存在较大差别。其中,土壤黏粉粒含量、土壤含水量、土壤硬度随着沙埋深度增加而增加,土壤细沙含量、土壤温度和光照强度随沙埋深度增加而下降,土壤容重、有机碳、全氮和土壤 pH 随沙埋深度增加呈波动式变化。但是,除了土壤温度、土壤含水量、土壤硬度、土壤光照强度和全氮含量的变化达到显著水平外($P<0.05$),其它土壤理化特性的变化均未达到显著水平($P>0.05$)。

表 1 不同沙埋深度下土壤理化特性的比较

Table 1 Comparison on soil physicochemical properties in different sand burial treatments

沙埋深度 Burial depth	细沙 Fine snad/ %	黏粉粒 Clay+silt/ %	容重 Bulk density/ (g/cm^3)	温度 Soil temp./ ℃	含水量 Moisture/ %	硬度 Hardness/ (kg/cm^2)	光照强度 Light intensity (lux)	有机碳 SOC/ (g/kg)	全氮 TN/ (g/kg)	pH
0cm	72.96a	0.18a	1.58a	33.2a	4.5a	0.121a	67900a	0.68a	0.088a	8.31a
10cm	70.0a	1.2a	1.60a	21.2b	16.2b	0.159b	80b	0.73b	0.102b	8.45a
20cm	69.1a	1.6a	1.56a	20.8b	20.7b	0.187c	0c	0.65a	0.098b	8.29a

同列字母相同的数据表示在 $P<0.05$ 水平上差异不显著

2.2　存活率和株高变化

图 1 是不同沙埋处理下差巴嘎蒿幼苗存活率和株高变化。从图 1 可以看出,随着沙埋深度的增加,差巴嘎蒿幼苗存活率呈波动式下降。其中,从 A 处理到 C 处理其存活率下降 48.9%—64.0%,但与对照的差异未达到显著水平($P > 0.05$)。随着埋深的进一步增加,其幼苗存活率显著下降($P < 0.05$),在 E 处理至 H 处理,其存活率仅为对照的 3.1%—9.7%,在 I 处理时其植株全部死亡。从图 1B 可以看出,随着沙埋深度的增加,差巴嘎蒿幼苗株高逐步下降,除了 A 处理外,其他处理与非沙埋对照的差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

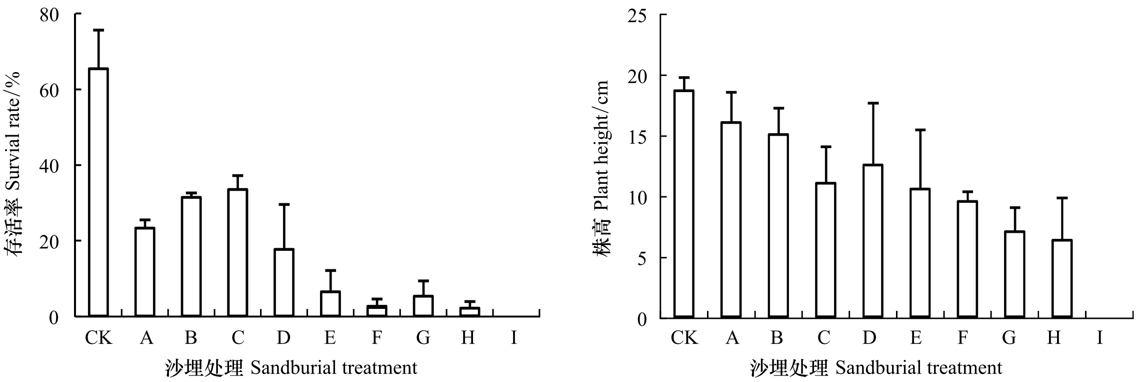


图 1　沙埋处理下差巴嘎蒿幼苗存活率和株高变化

Fig.1　Changes in survival rate and plant height of *A. halodendron* seedlings in buried treatment

CK、A、B、C、D、E、F、G、H 和 I 的埋深分别为株高的 0%、25%、50%、100%、125%、150%、175%、200%和 225%

2.3　叶片相对含水量、丙二醛和膜透性变化

图 2 是不同沙埋处理下差巴嘎蒿幼苗叶片相对含水量(RWC)、丙二醛含量(MDA)和膜透性的变化。从图 2 可以看出,随着沙埋深度的增加,差巴嘎蒿 RWC 呈波动式变化,但除 E 处理的 RWC 明显低于对照外($P<0.05$),其他处理与对照之间的差异没有达到显著水平($P>0.05$)。随着沙埋深度的增加,差巴嘎蒿幼苗 MDA 含量也呈波动式变化。其中,除 F 处理和 H 处理 MDA 含量明显高于对照外($P<0.05$),其它各处理 MDA 含量明显低于对照($P<0.05$)。与 RWC 和 MDA 变化趋势不同,随沙埋深度的增加,膜透性呈先降后升趋势(图 2)。其中,从 A 处理至 C 处理,其膜透性下降,但只有 C 处理与对照差异达到显著水平($P<0.05$),之后随沙埋深度增加其膜透性大幅度增加,各处理膜透性均显著高于对照($P<0.05$)。

2.4　保护酶活性变化

图 3 是不同沙埋处理下差巴嘎蒿幼苗 3 种保护酶活性变化。从图 3 可以看出,随着沙埋深度增加,其超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase,SOD)活性剧烈波动。其中,从 A 处理至 C 处理其 SOD 活性大幅度下降,显著低于非沙埋的对照($P <0.05$),在 D 处理出现一个跳跃式回升后又显著下降($P <0.05$),在 H 处理又出现回升。随着沙埋深度增加,差巴嘎蒿幼苗的过氧化物酶(Peroxidase,POD)活性呈现先升(A—B 处理)后降(C—D 处理),再升(E—F 处理)再降(G—H 处理)的变化。其中,只有 B、E 和 F 处理 POD 活性明显高于非沙埋对照($P <0.05$),其余处理与对照的差异均未达到显著水平($P >0.05$)(图 3)。与 POD 活性变化相反,过氧化氢酶(Catalase,CAT)活性是随着沙埋深度的增加呈先降(A-B 处理)再升(C-D 处理),再降(E 处理)再升(F-H 处理)的变化趋势。其中,除 C 处理和 D 处理 CAT 活性显著高于对照,E 处理 CAT 活性显著低于对照($P <0.05$)外,其它处理与对照的差异不显著($P>0.05$)。

2.5　渗透调节物质含量变化

随着埋深的增加,差巴嘎蒿幼苗脯氨酸含量呈波动式增加(图 4)。和对照相比,A 处理和 B 处理脯氨酸含量略有增加,C 处理又略有下降,但 3 个处理与对照的差异未达到显著水平($P >0.05$)。在 D 处理脯氨酸含量出现一个显著回升后,在 E 处理又显著下降($P < 0.05$),而在 F—H 处理,其脯氨酸含量又再次大幅度回升,并显著高于对照($P < 0.05$)。可溶性糖含量变化与脯氨酸含量变化存在较大差异(图 4)。从 A 处理至 C 处理其可溶性糖含量显著下

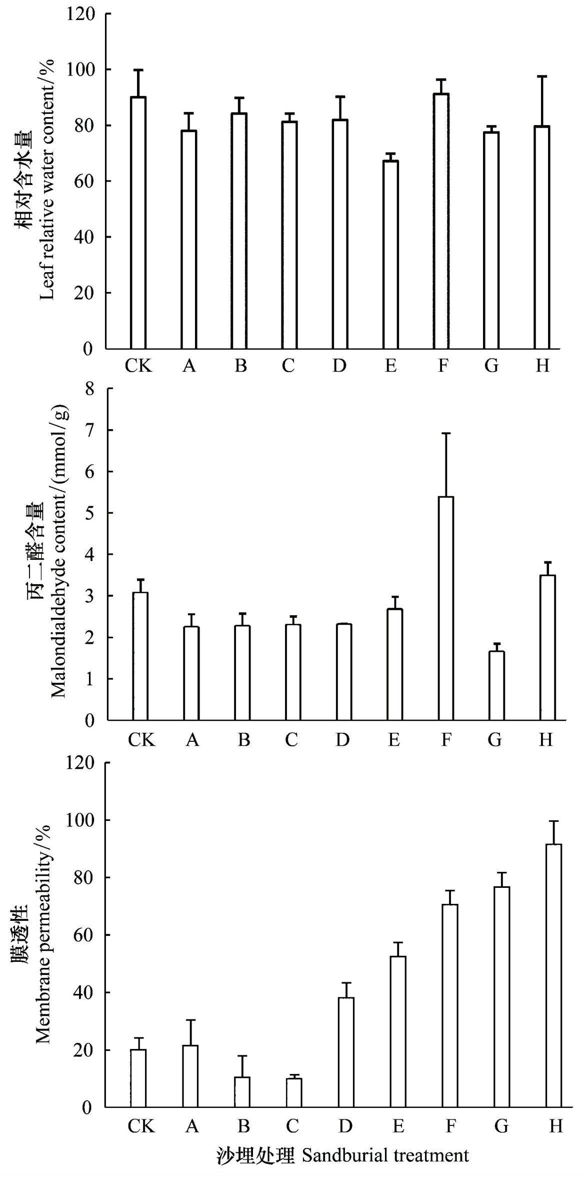


图 2 叶片相对含水量、丙二醛和膜透性变化

Fig. 2 Changes in Leaf relative water content, Malondialdehyde and membrane permeability

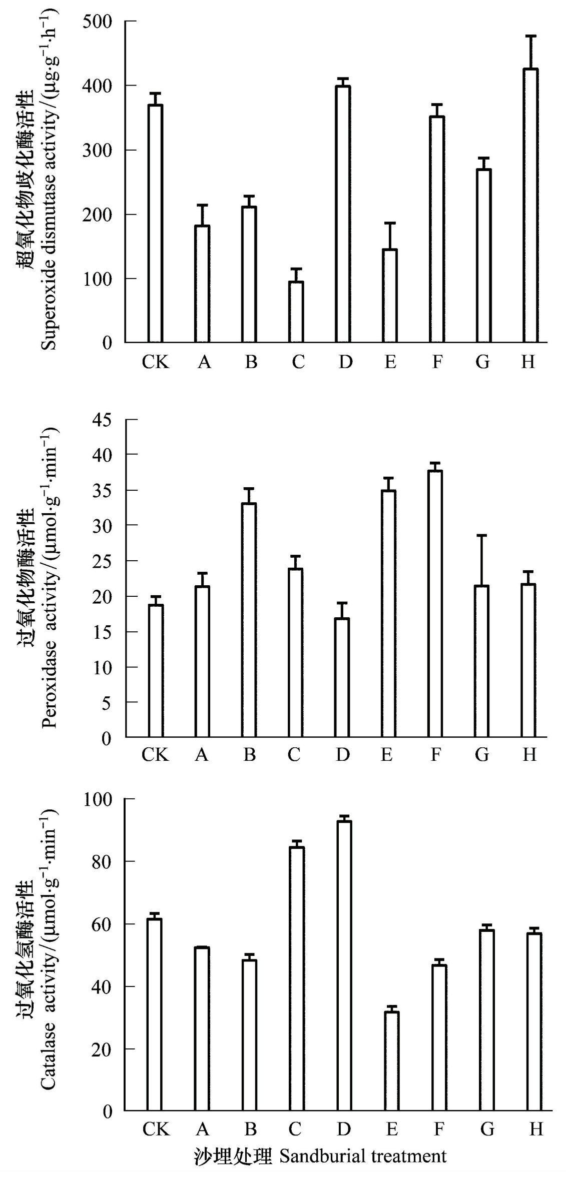


图 3 过氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性变化

Fig. 3 Changes in activities of Superoxide dismutase, Peroxidase and Catalase

降($P < 0.05$),在 D 处理又大幅度回升。之后,除 F 处理显著低于对照外($P < 0.05$),其它处理与对照差异不显著($P > 0.05$)。

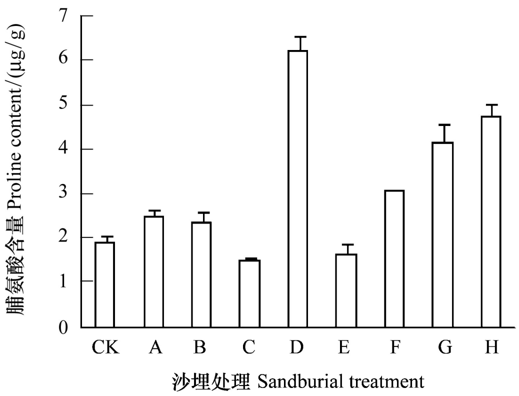
2.6 各指标之间的相关分析

为了了解沙埋处理下各生理生态特性变化之间的关系,对所测各种存活率、株高和生理指标进行了相关分析(表 2)。结果表明,差巴嘎蒿幼苗的存活率和株高与叶片含水量呈正相关关系,与膜透性和 MDA 含量呈负相关关系,其中与膜透性的相关性分别达到了显著($P < 0.05$)和极显著水平($P < 0.01$)。MDA 含量变化与脯氨酸、可溶性糖含量、CAT 活性变化呈负相关关系,与 SOD 和 POD 活性变化呈正相关关系,但相关性均未达到显著水平($P > 0.05$)。膜透性与脯氨酸、可溶性糖和 MDA 含量及 SOD 和 POD 活性呈正相关关系,与 CAT 活性呈负相关关系,但相关性均未达到显著水平($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 沙埋对差巴嘎蒿存活与株高的影响

在干旱半干旱风沙区,沙埋是影响植物幼苗存活的一个重要因素,但不同植物耐受沙埋的能力有很大差别[1]。例如,当沙埋深度为株高 66%时,砂生



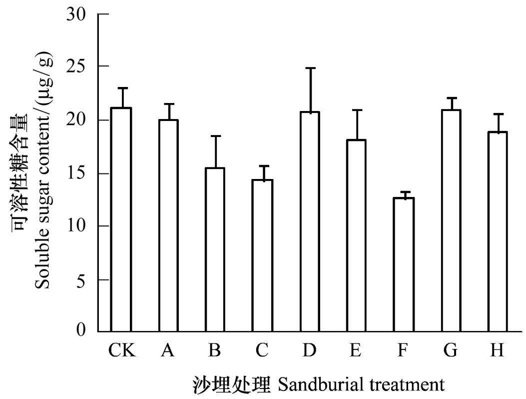


图 4　不同沙埋处理差巴嘎蒿脯氨酸和可溶性糖含量变化

Fig.4　Changes in contents of proline and soluble sugar in different buried treatments

表 2　植物各生理生态指标之间的相关分析

Table 2　Correlation analysis among plant growth properties and physiological Indexes

项目 Items	存活率 Sur. rate	株高 Height	脯氨酸 Proline	可溶性糖 Sugar	过氧化物歧化酶 Superoxide Dismutase	过氧化氢酶 Catalase	过氧化物酶 Peroxidase	丙二醛 Malond-ialdehyde	膜透性 membrane permeability	叶片相对含水量 Leaf relative water content
存活率 Sur. rate	1									
株高 Height	0.844**	1								
脯氨酸 Proline	−0.446	−0.441	1							
可溶性糖 Sugar	0.191	0.195	0.379	1						
过氧化物歧化酶 Superoxide dismutase	−0.081	−0.134	0.708*	0.31	1					
过氧化氢酶 Catalase	0.28	0.063	0.454	0.155	0.189	1				
过氧化物酶 Peroxidase	−0.355	0.173	−0.451	−0.751*	−0.322	−0.690*	1			
丙二醛 Malondialdehyde	−0.221	−0.173	−0.024	−0.548	0.445	−0.289	0.504	1		
膜透性 Membrane permeability	−0.771*	−0.825**	0.512	0.085	0.52	−0.284	0.106	0.400	1	
叶片相对含水量 Leaf relative water content	0.443	0.335	0.051	−0.294	0.491	0.277	−0.036	0.526	−0.170	1

* $P<0.05$; ** $P<0.01$

槐(*Sophora moocrofiana*)幼苗存活率明显下降且生长受到抑制,当沙埋深度增至株高 100%时,其幼苗全部死亡[3]。当沙埋深度为株高 33%和 66%时,羊柴(*Hedysarum laeve*)幼苗没有死亡,且株高和生物量还高于非沙埋对照,但当沙埋深度为其株高 133%时,其幼苗全部死亡[16]。研究结果表明,虽然随着沙埋深度的增加,差巴嘎蒿幼苗存活率显著下降,但只有当沙埋深度超过其株高 100%后其幼苗才全部死亡,而其株高在沙埋后虽然有所下降,但只有沙埋深度超过其株高 75%后其下降幅度才达到显著水平。这一方面证实了沙埋对于不同植物存活与生长的影响存在很大差异,作为沙生植物的差巴嘎蒿较砂生槐和羊柴等其他非沙生植物具有更强的耐沙埋能力[1];另一方面说明,即使是沙生植物,严重沙埋也会对其存活和生长产生严重危害,制约其生存、繁衍和分布[4,7,13]。差巴嘎蒿之所以具有较强的耐沙埋能力,是因为差巴嘎蒿属于沙生植物,是沙地植被演替的先锋物种,在长期风沙环境的自然选择和对环境的不断适应过程中,已经形成了耐旱、耐贫瘠、耐风沙,喜适度沙埋的特点,因而能够广泛分布于我国东北西部各沙地的流动半流动沙地中[17]。严重沙埋之所以会对植物幼苗产生严重危害,并不源于

水分胁迫,因为和干旱、盐分胁迫不同,沙埋并不导致植物水分胁迫。沙埋处理下,土壤含水量和全氮的增加以及根际土壤温度的下降应该有利于植物幼苗的存活和生长[18]。沙埋导致差巴嘎蒿幼苗死亡和生长受到抑制应该主要源于两方面原因,一是随着沙埋厚度的增加,光照微环境发生改变,植物光合面积减少,氧气释放和二氧化碳的吸收环境受到干扰,使植物生理过程发生异常,对生长产生抑制作用[1-2];二是沙埋深度超过其株高以后,叶片无法进行光合作用,只能依靠原有储备的能量顶土而出,沙埋厚度和土壤硬度增加,显然对其顶土而出不利,大多数植物可能因无法顶土而出死亡[2,18]。

3.2 差巴嘎蒿幼苗对沙埋的逆境生理适应

MDA 是植物受到逆境胁迫伤害时细胞膜发生膜脂过氧化而形成的最终分解产物[19]。MDA 可与细胞内的蛋白质、核酸等大分子发生反应,使蛋白质和核酸变性,还可使纤维素分子间的共价键松驰,对细胞进一步造成伤害。因此 MDA 含量的多少,代表着植物细胞遭受逆境伤害的程度和膜脂过氧化程度[19-20]。但研究结果表明,虽然沙埋后差巴嘎蒿幼苗的 MDA 含量低于对照,但总体变化较小,而膜透性则总体呈现明显增加趋势。相关分析表明,沙埋胁迫下,差巴嘎蒿幼苗存活率和株高变化与 MDA 含量和膜透性变化均呈负相关,其中与膜透性的相关性达到了显著水平,而膜透性又与 MDA 含量呈正相关,但相关性未达到显著水平。这和王进等有关沙引草对沙埋生理响应的研究结果相同[2]。这一方面说明,沙埋胁迫导致了差巴嘎蒿幼苗细胞膜受损,而细胞膜损伤是导致沙埋后差巴嘎蒿幼苗存活率下降、生长受到抑制的主要生理机制[20-21];另一方面说明,膜透性变化与膜质过氧化虽然存在一定关系,但并不完全决定于 MDA 增加。沙埋后黑暗、缺氧和低温抑制了细胞代谢强度和光合作用,可能是导致氧自由基减少,膜脂过氧化作用降低,MDA 含量减少的主要原因[2,20]。

逆境条件下,为了避免或减轻细胞受损,植物体会通过增强保护酶活性和增强渗透调节作用来防治膜质过氧化和细胞质渗漏,而植物的抗逆性与其保护酶活性强弱和渗透调节能力作用的大小密切相关[20, 22]。研究结果表明,随着沙埋深度的增强,3 种保护酶的变化趋势存在较大差别。其中,沙埋深度从 25%株高增至 100%株高时,SOD 和 CAT 活性均表现为先下降后升高,而 POD 活性则是先升高后下降。当沙埋深度超过株高后,3 种酶的活性均呈波动式变化,其中 SOD 活性总体低于对照,CAT 活性与对照差异不明显,而 POD 活性总体高于对照。在沙埋胁迫下,脯氨酸含量和可溶性糖虽然都呈波动式变化,但和对照相比脯氨酸总体是增加的,可溶性糖含量总体是下降的。这一方面说明,受到沙埋胁迫后,3 种酶的保护作用存在一种协调关系,当 POD 活性减弱时,SOD 和 CAT 起到弥补作用,但在清除活性氧,减轻细胞膜受损过程中还是 POD 起到了主要作用[20, 22];另一方面说明,受到沙埋胁迫后,起到主要渗透调节作用的是脯氨酸,可溶性糖未能发挥有效调节作用[2, 20]。

4 结论

通过以上对研究结果的分析和讨论,初步得到几点结论:1)沙埋对差巴嘎蒿的存活与生长影响显著,特别是沙埋深度超过其株高后,其存活率和高生长受到严重抑制。但和非沙生植物相比,差巴嘎蒿具有很的耐沙埋能力,即使沙埋深度达到其株高的 2 倍时仍有部分植株存活;2)随着沙埋深度的增加,差巴嘎蒿幼苗叶片含水量没有显著变化,但 SOD 活力降低,POD 活性增强,CAT 活性变化不明显,脯氨酸含量增加,可溶性糖含量下降,MDA 含量下降,膜透性增强;3)沙埋并未引起差巴嘎蒿幼苗的水分胁迫,沙埋导致差巴嘎蒿幼苗死亡率增加、生长受到抑制的主要源于光合面积下降和幼苗顶土困难,但沙埋胁迫下脯氨酸和 POD 分别在渗透调节和保护细胞膜免受损伤中起到了关键作用。

References:

[1] Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H. Plants Adaption Strategies and Vegetation Stability in the Desertification Process. Beijing: China Ocean Press, 2004.

[2] Wang J, Zhou R L, Zhao H L, Zhao Y H, Hou Y P. Growth and physiological adaptation of *Messerschmidia sibirica* to sand burial on coastal sandy. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4291-4299.

[3] Wang W J, He D H, Tang X Q, Gong W F. Effects of different temperature and sand burial depths on seed germination and seedling growth of *Sophora Moorcroftiana*. Journal of Desert Research, 2011, 31(6): 1437-1442.

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

[5] Liu S E, Feng Z W, Zhao D C. Several issues of principle of China vegetation regionalization. Acta Botanica Sinica, 1959, 8(2): 87-105.

[6] Benvenuti S, Macchia M, Miele S. Light, temperature and burial depth effects on *Rumex obtusifolius* seed germination and emergence. Weed Research, 2001, 41(2): 177-186.

[7] Li Q Y, Zhao W Z. Seedling emergence and growth responses of five desert species to sand burial depth. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(6): 1802-1809.

[8] Ma H Y, Liang Z W, Yan C, Chen Y, Huang L H. Effects of sand-burial depth on *Leymus chinensis* seedlings emergence and growth. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 2003-2007.

[9] Harris D, Davy A J. Carbon and nutrient allocation in *Elymus farctus* seedlings after burial with sand. Annals of Botany, 1988, 61(2): 147-157.

[10] Zhao H L, He Y H, Yue G Y, Zhou R L. Effects of wind blow and sand burial on the seedling growth and photosynthetic and transpiration rates of desert plants. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(3): 413-419.

[11] Mi Z Y, Zhou D D, Wu Y D. Influence of wind erosion and sand bury on the morphological characteristics of *Salix psammophila*. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2005, (1): 10-13.

[12] Xu B, Liu X R, Sun Z Y, Zha Z S. Study on the anatomical properties and variation of sand covered poplar grown in the beaches of Yangtze River. Forest Research, 2005, 18(6): 738-742.

[13] Shi L, Zhang Z J, Zhang C Y, Zhang J Z. Effects of sand burial on survival, growth, gas exchange and biomass allocation of *Ulmus pumila* seedlings in the Hunshandak Sandland, China. Annals of Botany, 2004, 94(4): 553-560.

[14] Bao S D. Chemistry Analysis on Soil and Agriculture. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[15] Zhang Z L, Zhai W J. Experimental Guide of Plant Physiology. Beijing: Higher Education Press, 2003.

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

[17] Li J. Approach to some basic problems of reproduction of Artemisia Halodendron. Journal of Desert Research, 1994, 14(3): 60-65.

[18] Zhao H L. Desert Ecology. Beijing: Science Press, 2010.

[19] Li J, Jiang Z R, Wang J H, Zhao M, Wang Y K. Change of protective enzyme activity of the four species in the genus *Atriplex* under water stress. Journal of Gansu Agricultural University, 2006, 41(5): 76-80.

[20] Zhou R L, Zhao H L, Wang H O. Physiological mechanism of succession of the plants in Horqin Sandland, China. Arid Zone Research, 2001, 18(3): 13-19.

[21] Hernandez J A, Almansa M S. Short-term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves. Physiologia Plantarum, 2002, 115(2): 251-257.

[22] Li X, Yan X F, Yu T. Effects of water stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in *Phellodendron amurense* seedlings. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(12): 2353-2356.

参考文献：

[1] 赵哈林，赵学勇，张铜会. 沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理. 北京：科学出版社，2004:104-156.

[2] 王进，周瑞莲，赵哈林，赵彦宏，侯玉萍. 海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策. 生态学报，2012，32(14)：4291-4299.

[3] 王文娟，贺达汉，唐小琴，巩文峰. 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. 中国沙漠，2011，31(6)：437-1442.

[5] 刘慎谔，冯宗炜，赵大昌. 关于中国植被区划的若干原则问题. 植物学报，1959，8(2)：87-105.

[7] 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. 生态学报，2006，26(6)：1802-1809.

[8] 马红媛，梁正伟，闫超，陈渊，黄立华. 四种沙埋深度对羊草种子出苗和幼苗生长的影响. 生态学杂志，2007，26(12)：2003-2007.

[10] 赵哈林，何玉惠，岳广阳，周瑞莲. 风吹、沙埋对沙漠植物幼苗生长和光合蒸腾特性的影响. 生态学杂志，2010，29(3)：413-419.

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

[12] 徐斌，刘杏娥，孙主义，查朝生. 长江滩地沙埋杨树木材解剖性质及其变异的研究. 林业科学研究，2005，18(6)：738-742.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京：中国农业出版社，2000：101-127.

[15] 张志良，瞿伟菁. 植物生理学实验指导. 北京：高等教育出版社，2003:121-124.

[17] 李进. 差巴嘎蒿繁殖若干问题的探讨. 中国沙漠，1994，14(3)：60-65.

[18] 赵哈林. 沙漠生态学. 北京：科学出版社，2010:152-187.

[19] 李健，蒋志荣，王继和，赵明，王玉魁. 水分胁迫下四种滨藜属植物保护酶活性的变化. 甘肃农业大学学报，2006，41(5)：76-80.

[20] 周瑞连，赵哈林，王海鸥. 科尔沁沙地植物演替的生理机制. 干旱区研究，2001，18(3)：13-19.

[22] 李霞，阎秀峰，于涛. 水分胁迫对黄檗幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. 应用生态学报，2005，16(12)：2353-2356.