

不同降水量处理时 5 种蒿属植物瘦果粘液溶出

刘志民, 阎巧玲, 骆永明, 王红梅, 李荣平, 李雪华, 蒋德明

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘要:用粘沙法对科尔沁沙地西部 5 种蒿属植物冷蒿(*Artemisia frigida*)、差巴嘎蒿(*A. halodendron*)、大籽蒿(*A. sieversiana*)、黄蒿(*A. scoparia*)、乌丹蒿(*A. wudanica*)进行了瘦果粘液溶出及粘沙量的比较。主要模拟埋深 5 mm、降水量为 1、2、4、8 mm 时瘦果的粘液溶出。5 种供试植物均有粘液瘦果。在降水量 1 mm 时,供试植物的粘液瘦果就能溶出粘液。当降水量达到 2~4 mm 时,典型的沙生植物乌丹蒿和差巴嘎蒿的粘液瘦果粘沙量平均值分别达到 7.31~13.56 mg、0.63~2.55 mg。除冷蒿外,其它 4 种植物均有随降水增多、粘液溶出量加大的趋势。粘液瘦果比例从大到小的排序是:冷蒿>乌丹蒿>差巴嘎蒿>大籽蒿>黄蒿。在各种处理时,粘沙瘦果百粒瘦果粘沙量由大到小的顺序是:乌丹蒿>差巴嘎蒿>大籽蒿>冷蒿>黄蒿。溶出粘液粘沙后,冷蒿瘦果所形成沙团重量达到瘦果重量的 5~7 倍,差巴嘎蒿 2~9 倍,大籽蒿 3~5 倍,黄蒿 5~8 倍,乌丹蒿 5~29 倍。流沙先锋植物乌丹蒿和差巴嘎蒿百粒瘦果粘沙量较其它植物大、在较低降水量时这两种植物粘液瘦果粘沙量较大表明瘦果溶出粘液粘沙是植物针对沙地流动性的进化适应之一。

关键词:粘液瘦果; 蒿属植物; 瘦果重量; 降水; 粘沙; 沙生适应性

文章编号:1000-0933(2005)06-1497-05 中图分类号:Q945,Q948 文献标识码:A

Comparison of mucilage produced by achenes of 5 *Artemisia* species under different rainfall treatments

LIU Zhi-Min, YAN Qiao-Ling, LUO Yong-Ming, WANG Hong-Mei, LI Rong-Ping, LI Xue-Hua, JIANG De-Ming (Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1497~1501.

Abstract: Myxospermy, a mechanism, where mucilage is produced upon being moistened, has been found in many species, and is frequently associated with species occurring in arid zones. There has been, however, little study on myxospermy with reference to rainfall amount. To analyze the ecological significance of myxospermy, a comparison was made with regard to mucilage production and the capacity to hold sand particles of the achenes of 5 *Artemisia* species, i.e., *Artemisia frigida*, *A. halodendron*, *A. sieversiana*, *A. scoparia* and *A. wudanica* under different rainfall treatments.

In the experiment, achenes were buried in a depth of 5mm, 1, 2, 4 and 8 mm water was added to simulate different rainfall amount. The amount of mucilage was judged by means of the capacity to hold sand particles. All species included were proved to have mucilaginous achenes. When the rainfall was 1 mm, achenes of the 5 species in the experiment began to produce mucilage. When the rainfall was 2~4 mm, the mean weight of the sand held by a single achene of the typical psammophytes, *A. wudanica* and *A. halodendron* was 7.31~13.56 mg and 0.63~2.55 mg, respectively. Except *A. frigida*, other 4 species exhibit a general trend that mucilage increased with rainfall rising. The descending order of the proportion of mucilaginous achenes was as *A. frigida*, *A. wudanica*, *A. halodendron*, *A. sieversiana* and *A. scoparia*. Under the different rainfall treatments, the descending order of the sand amount held by mucilaginous achenes showed the trend as *Artemisia wudanica*, *A. halodendron*, *A. sieversiana*, *A. frigida* and *A. scoparia*. After producing mucilage and adhering sand upon moistening, compared to achene weight, weight of the achene-sand conglomeration of *A. frigida* increased by 4~6 times, *A. halodendron*

基金项目:中国科学院沈阳应用生态研究所领域前沿创新资助项目

收稿日期:2004-03-17; **修订日期:**2004-11-18

作者简介:刘志民(1965~),男,内蒙古敖汉人,博士,研究员,主要从事干旱区恢复生态学研究. E-mail: zmliu@iae.ac.cn

Foundation item: Funded by Shenyang Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences

Received date: 2004-03-17; **Accepted date:** 2004-11-18

Biography: LIU Zhi-Min, Ph. D., Professor, mainly engaged in restoration of degraded environment in the arid zone. E-mail: zmliu@iae.ac.cn

1~8 times, *A. sieversiana* 2~4 times, *A. scoparia* 4~7 times and *A. wudanica* 4~28 times. The experiment showed that, achenes of pioneering species on sand dunes, *A. wudanica* and *A. halodendron*, had bigger capacity to hold sand particles after producing mucilage than other species, and much sand was held by the mucilaginous achene of these two species when only 2~4 mm rainfall occurred, meaning that the ability to produce mucilage from achenes upon being moistened is one of the adaptations of *Artemisia* species to shifting sand.

Key words: mucilaginous diasporas; *Artemisia*; rainfall; sand-holding capacity; adaptation to shifting sand

自然界中一些植物的繁殖体遇水溶出粘液。具有粘液繁殖体的植物多分布在干旱区。已有报道表明灯心草科、十字花科、爵床科、车前科、唇形科、玄参科和菊科的一些植物具有粘液繁殖体。前人虽然对繁殖体溶出粘液现象报道较多,但对于粘液繁殖体的作用并未达成共识^[1]。进行物种间繁殖体粘液溶出情况比较具有深入认识粘液繁殖体功能的作用。

半灌木蒿属植物在世界干旱区占有非常重要地位,可分布在固定沙地和流动沙丘上,非洲北部的 *Artemisia herba-alba*、美国大盆地的 *A. tridentata*、以色列 Negev 荒漠的 *A. monosperma*、中国沙区的差巴嘎蒿 (*A. halodendron*)、籽蒿 (*A. sphaerocephala*) 和油蒿 (*A. ordosica*) 是比较典型的沙丘植物^[2~4]。有关文献报道了蒿属植物瘦果溶出粘液的现象^[1,3,5~7],但是,所研究的植物种还不多,对蒿属植物粘液溶出过程的认识也还不完整。

在此,本文模拟了 4 个降水量处理时 5 种不同生境的蒿属植物瘦果的粘液溶出过程,比较了沙地植物和其它生境植物粘液溶出过程的异同,探讨了蒿属植物粘液溶出特点与其沙生适应性的关系。

1 材料和方法

1.1 材料

2003 年秋季在科尔沁沙地西部乌兰敖都地区采集冷蒿 (*A. frigida*)、差巴嘎蒿 (*A. halodendron*)、大籽蒿 (*A. sieversiana*)、黄蒿 (*A. scoparia*)、乌丹蒿 (*A. wudanica*) 瘦果。乌丹蒿和差巴嘎蒿是典型沙丘先锋植物,冷蒿在沙丘介于固定和半固定态之间时频繁出现,黄蒿和大籽蒿作为杂草广泛分布(表 1)。瘦果自然风干后,开始进行实验。用模拟试验研究了瘦果大约埋深 5 mm、细雨浸润土壤、土壤在雨后自然干燥时蒿属植物的瘦果溶出粘液的过程。用粘沙法检测粘液溶出:当粘沙量大时,认为粘液溶出量大;粘沙量小时,认为粘液溶出量小;不粘沙时,认为不溶出粘液。处理时,将降水量折算为浇水量。4 个降水处理为浇水 1、2、4、8 mm。具体试验方法是:在高 5.9 cm、直径 6.6 cm 的圆筒形金属罐中放置粒径小于 0.25 mm 的风干沙,沙层厚度 4.5 cm,将瘦果均匀摆放在沙层表面,每罐 20 粒瘦果,每种植物 5 罐(即 5 个重复),用粒径小于 0.25 mm 干沙覆盖瘦果,沙层厚度 5 mm。其后,按不同处理推算浇水量一次性均匀浇水。为避免罐中积水,在罐底扎 3~5 个小孔排水。为避免沙粒从罐底小孔中漏出,用过滤纸覆盖罐底。完成上述操作后,将金属罐置于室温下自然干燥,待完全干燥后,用 0.25 mm 粒径土壤筛轻轻筛出(或挑出)瘦果,观察粘沙情况,并用万分之一电子天平称量重量。

表 1 供试植物的生活型和生境
Table 1 Species included in the experiment

植物种 Species	生活型 Life form	备注 Remarks
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	SS	固定沙丘、轻度风蚀草地 Stabilized sand dune, slightly eroded steppe
差巴嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	SS	半固定沙丘 Semi-stabilized sand dune
大籽蒿 <i>A. sieversiana</i>	ABH	撂荒地、杂草地等 Abandoned field, weed
黄蒿 <i>A. scoparia</i>	ABH	撂荒地、杂草地等 Abandoned field, weed
乌丹蒿 <i>A. wudanica</i>	SS	流动沙丘及半固定沙丘 Shifting and semi-stabilized sand dune

ABH: 1 年、2 年生植物 Annual-biennials; SS: 半灌木 Semi-shrubs

1.2 方法

(1)测定瘦果重量和结种量 重量测定采用万分之一电子天平称量 100 粒瘦果的重量,5 个重复;推算单粒重量。结种量测定方法采用在典型生境于种子成熟时每种植物(由于冷蒿在当地分布较少,不能选够标准植株,其结种量未能测到)选择 30 个不同大小的植株,测定单株结种量。虽然植株结种量受环境和年龄等诸多因素影响,但如果测定植株较多,可在一定程度上反映一个具体地点的一种特定植物的结种量,从而初步估计结种量进而分析植物的适应性。当然,如能测出不同年度的结种量最好,遗憾的是,结种量随年度变化的观测正在进行。

(2)为了评价粘液溶出属性和粘液溶出过程,测定了粘液瘦果比例、粘液瘦果粘沙量和百粒瘦果粘沙量。粘液瘦果比例是指粘液瘦果占全部瘦果的百分数。粘液瘦果粘沙量指单粒具有粘液瘦果溶出粘液后所粘沙粒重量。百粒瘦果粘沙量是指随机选取 100 粒瘦果(包括粘液瘦果和非粘液瘦果)在承受处理时所粘沙粒的重量,是粘沙瘦果比例与粘沙瘦果重量增加量的乘积。

(3)对不同处理间各指标的差异进行了 one-way ANOVA 统计检验,对粘沙瘦果重量增加量和瘦果重量进行了相关分析。

2 结果

实测结果表明,差巴嘎蒿、大籽蒿、黄蒿、乌丹蒿的结种量都很大,超过万粒;全部 5 种蒿属植物瘦果的单粒重都小于 0.5 mg,其中乌丹蒿的最大,黄蒿的最小。对不同浇水量处理的进行平均得到粘液瘦果比例从大到小的排序:冷蒿>乌丹蒿>差巴嘎蒿>大籽蒿>黄蒿(表 2)。

表 2 供试植物的结种量、瘦果单粒重、粘液瘦果所占比例

Table 2 achene production, achenen weight and proportion of mucilaginous achene of the species included			
植物种 Species	结种量(粒/株) Achene production(grains per plant)	单粒重 Weight of single achene(mg)	粘液瘦果比例 Mucilaginous achene proportion(%)
冷蒿 <i>A. frigida</i>	缺 No result	0.11	98.8
差巴嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	35617±1848	0.35	86.8
大籽蒿 <i>A. sieversiana</i>	18641±1023	0.30	76.5
黄蒿 <i>A. scoparia</i>	14984±1197	0.05	40.5
乌丹蒿 <i>A. wudanica</i>	18677±1143	0.49	98.5

降水 1 mm 时,瘦果就溶出粘液粘沙。当降水量达到 2~4 mm 时,典型的沙生植物乌丹蒿和差巴嘎蒿的粘液瘦果粘沙量平均值分别达到了 7.31~13.56 mg、0.63~2.55 mg。除冷蒿外,其它植物均有随降水增多、粘液溶出量加大的趋势。降水 4 mm 与降水 8 mm 间粘液溶出量的差异不明显(表 3)。

瘦果溶出粘液粘沙所形成沙团重量因物种和降水处理而表现差异。在所有处理时,乌丹蒿 2.85~14.05 mg,差巴嘎蒿 0.9~2.9 mg,大籽蒿 0.91~1.46 mg,冷蒿 0.61~0.73mg,黄蒿 0.26~0.40 mg,大致呈乌丹蒿>差巴嘎蒿>大籽蒿>冷蒿>黄蒿顺序。

粘液瘦果粘沙量因物种不同而表现差异。综合各种处理所得结果为乌丹蒿>差巴嘎蒿>大籽蒿>冷蒿>黄蒿次序。百粒瘦果粘沙量亦呈相同趋势(表 3)。

相关分析表明粘沙瘦果重量增加量与瘦果重量有一定的相关性。在各种处理时,瘦果粘沙量与瘦果重量的相关系数为 0.746692~0.838371,而 $r_{(3)0.1}=0.8054$ 。

在各种处理,瘦果溶出粘液粘沙后,冷蒿所形成瘦果沙团重量达到瘦果重量的 5~7 倍,差巴嘎蒿 2~9 倍,大籽蒿 3~5 倍,黄蒿 5~8 倍,乌丹蒿 5~29 倍(表 3)。

表 3 5 种蒿属植物在不同浇水处理时粘沙瘦果重量增加量(SW)和粘沙瘦果是未粘沙瘦果重量倍数(WT)的种内和种间比较

Table 3 The intraspecific and interspecific comparison of the increased weight of sand-holding achenes (SW) and the times of sand-holding achenes as heavy as achene weight (WT) of 5 *Artemisia* species in different rainfall treatments

项目 Item	物种 Species	降水 Rainfall(mm)			
		1	2	4	8
SW(mg)	冷蒿 <i>A. frigida</i>	0.56±0.13 a,A	0.50±0.04 a,A	0.62±0.02 a,A	0.49±0.01a,A
	差巴嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	0.55±0.08 a,A	0.63±0.10 a,A	2.55±0.25 b,B	2.96±0.23 b,B
	大籽蒿 <i>A. sieversiana</i>	0.61±0.08 a,A	0.75±0.15 ab,A	1.16±0.19 bc,AB	1.25±0.21 c,C
	黄蒿 <i>A. scoparia</i>	0.21±0.03 a,A	0.24±0.05 ab,A	0.35±0.06 b,AC	0.29±0.03 ab,A
	乌丹蒿 <i>A. wudanica</i>	2.36±0.33 a,B	7.31±1.28 b,B	13.56±1.07 c,D	11.25±0.42 c,D
WT	冷蒿 <i>A. frigida</i>	6.1±1.1 a,A	5.6±0.4 a,A	6.7±0.2 a,A	5.4±0.09 a,A
	差巴嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	2.6±0.2 a,B	2.8±0.3 a,A	8.3±0.7 b,A	9.5±0.64 b,B
	大籽蒿 <i>A. sieversiana</i>	3.0±0.3 a,B	3.5±0.5 ab,A	4.8±0.6 bc,A	5.2±0.7 c,A
	黄蒿 <i>A. scoparia</i>	5.1±0.6 a,A	5.8±0.9 ab,A	7.9±1.3 b,A	6.8±0.6 ab,A
	乌丹蒿 <i>A. wudanica</i>	5.8±0.7 a,A	15.9±2.6 b,B	28.7±2.2 c,B	24.0±0.9 c,C

同一行或列中中标有相同符号字母时差异不显著,小写字母标示行,大写字母标示列 ($\alpha=0.05$) Values with the same letter are not significantly different in the same row or same column, small letters for row, capital letters for column($\alpha=0.05$)

3 讨论

相关学者已经报道了以色列 Negev 荒漠的 *A. sieberi*、*A. monosperma*、中国的籽蒿和油蒿的瘦果粘液溶出现象。但上述植物多分布在沙区。比较沙地植物和其它生境植物粘液溶出过程的异同则体现了本实验研究的特色。

有关蒿属植物的粘液属性,目前对籽蒿的研究较多。籽蒿瘦果种皮与果皮愈合,果实的表层覆盖着很厚的粘液物质^[7],为含

有 D-葡萄糖、D-甘露糖、D-半乳糖、L-阿拉伯糖及木糖组分的多糖物质^[5],有可能由果皮表皮细胞壁溶化而来^[7],无法在萌发的早期被水解^[8]。

虽然学术界对粘液繁殖体的生态学意义并未达成共识,然而将粘液繁殖体做为抵抗搬运机制的看法相对普遍^[1,7]。本实验表明,从流沙植物到固定生境植物,蒿属植物瘦果溶出粘液量有减少趋势。乌丹蒿是流沙和半固定沙地植物,差巴嘎蒿主要生长在半固定沙地。按百粒瘦果粘沙量排序,这两种植物居 1、2 位,乌丹蒿每粒瘦果的粘沙量可高达 14 mg,瘦果粘沙形成的沙团重量可达到未粘沙瘦果的 30 倍。流沙先锋蒿属植物比固定生境蒿属植物的瘦果溶出粘液多的现象可得到以往研究的证实。籽蒿和油蒿是分布在大致相同的地理区域但不同生境的蒿属植物,籽蒿主要分布在流动和半固定沙丘,油蒿主要分布在固定沙丘,籽蒿瘦果遇水后粘结沙粒所形成沙团是瘦果重量的 589 倍,油蒿瘦果遇水后粘结沙粒所形成沙团是瘦果重量的 27 倍^[6,7]。籽蒿瘦果单粒重为 0.69 mg,油蒿瘦果单粒重为 0.18 mg^[2]。

种子小、结种量大、种子溶出粘液粘沙增重能使沙生植物在流动沙丘上繁衍。小种子植物常有大结种量。当结种量大时,物种繁衍机会也就相应增大。但种子小的缺欠之一就是易在风力作用下发生位移。瘦果溶出粘液粘沙具有提高启动风速的作用。本实验所包括植物的瘦果重量均小,即使重量较大的差巴嘎蒿和乌丹蒿也不超过 0.5 mg;但各种植物都有非常充足的种子。虽然种子产量较大,但如果不能溶出粘液粘沙增重,也容易被风吹至低洼处或遭到深埋,使在沙丘上的繁衍受到限制。籽蒿瘦果在遇水形成沙团后,粒径由 1 mm 变为 5 mm、重量由 0.65 mg 变为 25 mg(瘦果重的 38.5 倍),致使 20cm 高处启动风速由 9.2 m/s 增加到 13.0 m/s,地表启动风速由未形成沙团瘦果的 5.4 m/s 增加到 7.7 m/s^[9]。

除了溶出粘液总量,粘液瘦果所占比例也可能与植物的适沙性相关。冷蒿是固定沙地植物,也常出现在略有风蚀的草地上。虽然百粒瘦果粘沙量不及具杂草特性的大籽蒿,但粘液瘦果的比例却很高,在 5 种植物的排序中居第 1 位。

大籽蒿和黄蒿都是具有杂草特性的 1、2 年生植物,按百粒瘦果粘沙量排序,黄蒿排在最后,大籽蒿排在第 3 位,居于冷蒿之前。按从流沙到固定沙丘的顺序推演,大籽蒿应该排在冷蒿的后面。分析其粘沙量居前原因,可能与瘦果大小有关。从现有分析结果看,尽管粘液瘦果本身都比较小,但一般趋势是瘦果越大则溶出粘液越多从而粘沙量越大。在 5 种植物中,大籽蒿的瘦果重量比乌丹蒿和差巴嘎蒿的小而比冷蒿和黄蒿的大,其粘液瘦果的比例比较高,因此,其百粒瘦果粘沙量相对靠前。大瘦果溶出粘液多可能与大瘦果储藏物质多有关。

据物候观测,蒿属植物瘦果成熟普遍较晚。如黄蒿瘦果在 9 月末成熟,大籽蒿、乌丹蒿和差巴嘎蒿瘦果在 10 月上至中旬成熟。按一般情况,蒿属植物的瘦果在成熟后部分脱落,部分滞留在植冠上。一般地,中国北方的风季在 3~5 月份。在此期间或者之前,瘦果如能溶出粘液粘沙,则滞留于流沙表面或易受风蚀地境的几率加大。而溶出粘液粘沙的前提条件就是瘦果遇水。依据这一理解,种子成熟至风季结束前(雨季来临)这段时间的降水就非常重要,因为它是落地瘦果粘湿吸胀的基本条件。根据气象观测,植物采集地乌兰敖都地区在 1981~2002 年期间,1~5 月总降水量 49.1 mm,9~12 月总降水量 43.9 mm,基本上以小雨为主,日降水 1~5 mm 的天数在 1~2 月份 1.4 d,3~5 月份占 5 d,9~12 月份占 5 d(表 4)。如果轻度降水便能刺激瘦果溶出粘液并且粘沙,则在风季来临之前瘦果便可以沙团的形式出现在生境中。10 月到翌年 2 月份,大于 1mm 降水平均每年有 5.1 d,表明从成熟脱落至风季来临之前瘦果有充分的遇湿溶出粘液进而粘沙形成沙团的可能。本实验模拟了细雨浸润土壤然后土壤自然干燥时蒿属植物瘦果溶出粘液并粘沙的情形。根据本实验,当降水量达到 2~4 mm 时,典型的沙生植物乌丹蒿和差巴嘎蒿瘦果溶出粘液所粘沙粒很多,说明蒿属植物瘦果遇湿溶出粘液粘沙的属性具有在流沙上抵抗风力搬运的实用价值。

表 4 科尔沁沙地乌兰敖都地区一些月份各级别降水的日数(1981~2002 年)

Table 4 Days with different rainfall intensities in some months of a year (1981~2002)										
日降水(mm) Daily rainfall	月份 Month									合计 Total
	1	2	3	4	5	9	10	11	12	
1.0~5	0.8	0.6	1.1	1.7	2.2	2.1	1.4	0.9	0.6	11.4
5.0~10		0.1	0.1	0.4	0.7	0.9	0.3	0.2		2.7
10~25			0.1	0.2	0.7	0.5	0.2			1.7
25~50					0.1	0.1				0.2
≥50						0.1				0.1
合计 Total	0.8	0.7	1.4	2.3	3.7	3.7	1.9	1.1	0.6	

随降水增加粘液溶出量增多是所试验植物中多数植物表现的趋势。但试验结果也显示,在降水达到 8 mm 时,粘沙量要么不增加,要么增加很少,是否在自然状态下降水进一步增加并不能进一步刺激粘液溶出无疑是值得以后进一步研究的内容。此外,不同的沙团重量与不同的抗风能力之间的关系也值得进一步深入研究。

References:

[1] Van Rheede van oudtshoorn K, Van Rooyen M W. *Dispersal Biology of Desert Plants*. Berlin: Springer-Verlag, 1999.

[2] Huang Z, Liu Y. Characteristics and utilization of several major species of sagebrush in the sandy area in China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1991, **5**(1), 12~21.

[3] Huang Z, Gutterman Y. *Artemisia monosperma* achene germination in sand: Effects of sand depth, sand/water content, cyanobacterial sand crust and temperature. *Journal of Arid Environments*, 1998, **38**: 27~43.

[4] Kolb K J, Sperry J S. Differences in drought adaptation between subspecies of sagebrush (*Artemisia tridentata*). *Ecology*, 1999, **80**: 2373~2384.

[5] Wei M, Tu C. Preliminary study of *Artemisia sphaerocephala* Krasch seed coating polysaccharide and its sand-fixing test. *Acta Botanica Sinica*, 1980, **22**: 300~301.

[6] Huang Z Y, Gutterman, Y. Comparison of germination strategies of *Artemisia ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel. *Acta Botanica Sinica*, 2000, **42**: 71~80.

[7] Huang Z, Gutterman Y, Hu Z. Seed germination in *Artemisia sphaerocephala* L. the structure and function of the mucilaginous achene. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2001, **25**: 22~28.

[8] Huang Z, Osborne D J. Exo-glycosidases activities in *Artemisia sphaerocephala* mucilaginous achene germination process. *Acta Botanica Sinica*, 2002, **44**: 1380~1383.

[9] Li B, Liu J, Qi J. Techniques of experiment of air-seeding in the sandy area in Yulin. *Journal of Desert Research*, 1984, **4**(2): 21~28.

参考文献:

[2] 黄兆华, 刘心. 我国沙区重要蒿属植物的特性及应用. 干旱区资源与环境, 1991, **5**(1), 12~21.

[5] 魏明山, 屠传忠. 沙蒿种子胶质的初步研究及固沙试验. 植物学报, 1980, **22**: 300~301.

[7] 黄振英, Gutterman Y, 胡正海, 等. 白沙蒿种子萌发特性的研究 Ⅱ. 环境因素的影响. 植物生态学报, 2001, **25**: 240~246.

[9] 李滨生, 刘健华, 漆建中. 榆林沙区飞播试验中几个技术问题的探讨. 中国沙漠, 1984, **4**(2): 21~28.