# 干旱条件下保水剂对丸化沙打旺种子萌发及幼苗生长的影响

杨新乐[1]，王冬梅[1]，汪晓峰[2]

（1. 北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室，北京 100083；2. 北京林业大学 生物科学与技术学院，北京 100083）

**摘　要**：采用不同含量保水剂对沙打旺种子进行丸化，研究了保水剂对丸化沙打旺种子萌发及幼苗的影响。结果表明，萌发及幼苗生长试验中，与对照相比，保水剂含量在 7%和 9%时，种子萌发速率分别加快了 70%和 63.19%；保水剂含量在 7%时，幼苗根长、根表面积分别提高了 19.36%和45.26%。抗旱试验中，沙打旺幼苗底部两片子叶首先出现枯黄萎蔫现象，随着旱情加剧，顶叶出现萎蔫；与对照相比，间苗后第 13 天，5%和 7%处理幼苗枯黄数量分别减少了 15.58%和 22.07%，幼苗萎蔫速率变化不明显；沙打旺幼苗叶片内脯氨酸、可溶性糖含量随保水剂浓度的提高逐渐减小，7%和 9%处理幼苗叶片脯氨酸含量分别降低了 13.1%和 13.6%；5%，7%和 9%处理较对照幼苗叶片可溶性糖含量分别降低了20.33%，22.85%和 19.08%。试验结果表明沙打旺丸化添加保水剂适宜含量为 7%～9%。

**关键词**：保水剂；沙打旺；丸化；萌发及生长；抗旱试验

**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)06-0089-05　　**中图分类号**：S725.72

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.024

# Impact of Water Retaining Agent on Germination and Seedling Growth of *Astragalus Adsurgens* Pelleted Seed Under Drought Conditions

YANG Xin-le[1], WANG Dong-mei[1], WANG Xiao-feng[2]

(1. *Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*; 2. *College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*)

**Abstract**: Using different amount of water retaining agent to pelletize *Astragalus adsurgens* seeds, the effects of water retaining agent on pelleted seeds germination and seedlings were studied. By pelletizing, *Astragalus adsurgens* seed with water retaining agent in different content level, the seedling growing trial and drought-resistant tests were studied. In the germination and seedling growth trial, compared with the control treatment, using water retaining agent at the level of 7%, 9% could significantly increase germination rate by 70% and 63.19%, and root length, root surf area increased by 19.36% and 45.26% respectively; In the drought-resistant tests, the bottom leaves of *Astragalus adsurgens* wilted first, the top leaves showed same symptoms when the soil was much drier. Compared with the control treatment, water retaining agent at the level of 5% and 7%, the quantity of the yellow leaves decreased by 15.58% and 22.07% respectively at 13th day after thinning seedlings; the content of soluble sugar decreased by 13.1% and 13.6% respectively with increase of water retaining agent concentration when water retaining agent was at the level of 7% and 9%; proline was decreased by 20.33%, 22.85% and 19.08% respectively at the level of 5%, 7% and 9%. The results showed that the appropriate content of water retaining agent was 7%～9% in pelletizing *Astragalus adsurgens* seed.

**Keywords**: water retaining agent; *Astragalus adsurgens*; pelletizing; germination and seedling growth; drought-resistant tests

**收稿日期**：2014-03-20　　**修回日期**：2014-04-09

**资助项目**：国家林业公益行业专项“种子超干及包覆技术在沙区生态修复中的应用研究”(201104024)；国家自然科学基金项目(30872075)

**作者简介**：杨新乐(1986—)，男(汉族)，河北省承德市人，硕士研究生，研究方向为工程绿化技术。E-mail:fanzhuanli@163.com。

**通信作者**：王冬梅(1963—)，女(汉族)，河北省保定市人，教授，博士生导师，主要从事水土保持、植被恢复等方面的研究。E-mail:dmwang@126.com。

沙打旺(*Astragalus adsurgens*)是我国沙区飞播进行植被恢复的主要物种之一。然而,由于沙打旺种子小、质量轻[1],存在快速萌发后易干旱死亡,飞播成活率低等问题。采用种子丸化方法是飞播造林中防止种子漂移等问题的主要方法,其中,在种子丸化中添加保水剂不仅可促进种子萌发,也可促进根系快速延伸至湿沙层以应对干旱胁迫[2]。有研究[3-6]表明,保水剂丸化可显著提高干旱胁迫下植物种子萌发及幼苗植物水分利用效率。然而,采用丸化形式与保水剂土壤混施情况不同,与混施情况相比,保水剂丸化改变植物种子周围小空间的土壤水分状况,对植物生长基质的整体水分影响较小。

文献[7-8]中报道丸化中添加保水剂含量(保水剂质量/丸化填充物质量)一般在0.05%~5%之间或者更高,且一般针对作物品种,对于干旱区沙打旺等小粒种子的丸化保水剂适宜含量方面却鲜有研究。本研究以沙打旺为研究对象,在模拟干旱条件下,测定不同保水剂含量丸化时种子萌发与幼苗生长及存活状况,探究丸化种子添加保水剂适宜量,为改善沙区小粒种子飞播后抗旱成苗提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 丸化种子的选择

沙打旺系豆科黄茂属多年生草本植物,根系发达,水分有效利用系数大[9]。本试验丸化采用的沙打旺种子由内蒙古自治区鄂尔多斯市林业治沙研究所提供,千粒重1.444 g,初始发芽率90%。

### 1.2 丸化添加材料

试验丸化采用旱可舒保水剂(北京桑松生态科技有限公司),成分为丙烯酰胺及丙烯酸甲共聚物,白色,干燥时颗粒80目,去离子水的吸水倍率为1∶500。本试验采用的其他丸化添加材料为200目凹凸棒黏土,微黄,比表面积>350 $m^2/g$,pH=8.5。

### 1.3 丸化制备过程及检验

丸化过程主要包括:(1)按保水剂质量/(保水剂质量+凹凸棒黏土质量)比例为1%,3%,5%,7%,9%精确称量丸化材料;(2)将800粒沙打旺种子及10 g丸化添加材料(保水剂质量、凹凸棒黏土质量)放入三角瓶中,封口,固定于摇床内,150 r/min,震荡10 min;(3)将混匀后材料倒入培养皿,向培养皿中缓慢加入自来水,并不断搅拌,形成干泥状;(4)将培养皿中干泥状材料倒入玻璃板上固定尺寸(10 cm×10 cm)的模具中,用玻璃板压成饼状,再用刀片切成1 cm×1 cm的小块,将切成的小块放入塑料盆(直径30 cm,深20 cm)中,不断转动塑料盆,直至成丸,成丸后用风扇快速风干。

将丸粒种子浸水崩解后过100目筛,挑出沙打旺种子,将滤得保水剂烘干,称量,计算丸粒内保水剂含量,从而确定保水剂与黏土混合比例。随机抽取每种处理30丸进行测定,最终丸化种子规格为:平均质量(风干后)0.10±0.02 g/粒,崩解时间(35±10)s,单粒抗压强度≥500 g,丸化倍率1∶13,丸粒含种子数(7±3)个/粒。试验所成丸粒种子符合飞播要求[10]。

### 1.4 试验设计

1.4.1 萌发及幼苗生长试验 按照保水剂在丸化添加剂中所占质量分数设置5个处理,保水剂含量分别为1%,3%,5%,7%,9%,裸种为对照(CK)。分别将5个处理与对照各30粒播种于花盆(顶部内径15 cm,底部内径12 cm,高15 cm)中,覆土0.5 cm,每个处理3盆。

1.4.2 抗旱试验 另设抗旱试验,处理与萌发及生长试验相同,裸种为对照(CK)。每盆播种保水剂丸化颗粒20粒,对照每盆播种沙打旺裸种20粒,播种后供水充足,2周后待沙打旺幼苗萌发数量不变,间苗,每盆保留幼苗10棵,每个处理4盆。

### 1.5 盆栽试验试验管理条件及指标测定

1.5.1 萌发及幼苗生长试验 盆栽试验在北京林业大学温室中进行。盆栽基质为沙土,过1 mm筛,使用前烘干(140 ℃,48 h),土壤饱和含水量为(21.99±1.82)%,田间持水量为(10.12±1.10)%,稳定渗透速率为(2.21±0.22) mm/min,沙土饱和含水量与毛乌素沙丘饱和含水量接近[11],田间持水量略低,稳定渗透速率略高[12],干旱条件为土壤质量含水量的2%~5%,这与毛乌素沙地5—9月份,0—40 cm土壤平均水分含量基本一致[13-14]。

试验每盆装干沙2 kg,播种后覆沙320 g,每次浇水前后进行称重,以便控制盆中土壤水分含量。播种后浇水致盆中沙土含水量达5%,每隔4 h称重,待土壤水分含量达到2%时,再次浇水至土壤含水量的5%,使沙打旺萌发时土壤水分含量始终在2%~5%波动。播种后每隔24 h记录盆中的发芽数量直至每盆中发芽数量稳定,萌发速率用每日累计发芽数/稳定发芽数表示,其中,稳定发芽数是指播种2周后,不再变化的幼苗数量。播种8周后,倾斜花盆,轻微抖动,沙土大部分倒出,挑出幼苗,自来水反复冲洗,注意幼苗根系完整,24 h内测定幼苗单株根长和根表面积。

1.5.2　抗旱试验　试验所用土壤基质与萌发及生长试验相同,播种后浇水,使土壤水分含量在 17.5%～19.5%(饱和含水量 80%～90%)波动,2 周后待沙打旺幼苗萌发数量不变时间苗,每盆保留幼苗 10 棵,浇水至土壤饱和含水量,此后不再浇水,之后每日17:00记录枯黄及萎蔫幼苗数量,并拍照保存。

沙打旺植株任意叶片出现变黄时即判定为幼苗枯黄,沙打旺植株所有叶片出现卷曲时即判定为幼苗萎蔫,枯黄速率以每天累计枯黄数量/总留苗数量表示,萎蔫速率以每天累计萎蔫数量/总留苗数量表示。停止供水后的 14 d 随机取叶片样本进行脯氨酸及可溶性糖含量的测定,间苗第 22 d,所有处理沙打旺幼苗叶片全部卷曲,间苗第 24 d 灌水充足,24～29 d 内萎蔫幼苗无复绿情况,此时收获,进行幼苗单株根长、根表面积指标测定。

根长、根表面积的测定采用根系扫描分析系统(WinRHIZO);脯氨酸测定采用磺基水杨酸比色法,可溶性糖测定采用蒽酮比色法[15]。

试验数据采用 Excel 和 SPPS 18.0 软件进行统计及分析。

## 2　结果与分析

### 2.1　萌发及幼苗生长试验

沙打旺种子萌发速率用每日累计发芽数/稳定发芽数表示。对播种后 8,10,12 d 的发芽情况进行方差分析表明(表 1),在萌发前期(8～10 d),7%处理发芽速率较其他处理差异显著,添加保水剂含量在 1%时,初期发芽较裸种慢,可能是因为丸化强度限制了保水剂作用的发挥。播种后第 10 d,添加保水剂含量为 7%,9%时,种子萌发速率分别较对照快 70%和 63.19%,且和其他处理有显著差异;试验添加保水剂含量在 1%～7%范围时发芽速率逐渐提高,9%的保水剂含量较 7%时发芽速率低,这是由于温室内蒸发量较大时,适量地添加保水剂可以保持种子周围更多的水分,可以促进丸化颗粒内部种子的萌发[16];在发芽后期(12 d),种子发芽数受保水剂含量影响不显著。

干旱条件下,根系会改变自身形态结构和构型,幼苗根长、根表面积等根系特征因而受到影响[17],由此,幼苗根长、根表面积可作为衡量幼苗生长的指标。幼苗单株根长、根表面积分析结果(表 2)表明,保水剂含量为 7%处理幼苗根长较其他处理有显著差别,较对照提高 19.36%,其他处理较裸种无显著差别,保水剂含量在 3%～9%时根长呈现先上升后下降的趋势,保水剂的使用量存在着拐点[18],并非越高越好;根表面积数据显示,保水剂含量在 7%时根表面积最大,较裸种提高 45.26%,裸种根表面积和其他保水剂浓度相比并无差别,对根长、根表面积进行相关性分析,两者相关系数及其双侧检验的概率分别为 0.855 和 0.000,二者显著正相关,说明幼苗根长、根表面积在处理间规律基本一致。

对第 8 和第 10 天的发芽速率和收获时根长进行相关性分析,发现沙打旺幼苗根长与萌发前期(第 8 天)发芽速率显著相关(相关系数为 0.174 5,双侧检验的概率为 0.007),与萌发后期(第 10 天)发芽速率不显著相关(相关系数为 0.137,双侧检验的概率为 0.036),从发芽、水分管理条件等综合考虑,保水剂处理种子促使种子萌发速率大,幼苗根长、根表面积较大,可以吸收更多的水分,有利于幼苗生长。

表 1　丸化保水剂含量对沙打旺种子萌发速率的影响

| 保水剂处理 | 不同萌发时间种子发芽率/% | | |
|---|---|---|---|
| | 8 d | 10 d | 12 d |
| 1% | (40.21±6.01)b | (65.13±12.24)bc | (97.78±3.85)a |
| 3% | (55.12±14.88)ab | (78.38±8.90)abc | (95.48±4.02)a |
| 5% | (56.23±21.40)ab | (67.32±16.03)bc | (95.83±7.21)a |
| 7% | (86.67±11.54)a | (94.44±5.09)a | (100.00±0.00)a |
| 9% | (83.11±23.71)a | (90.67±16.16)ab | (100.00±0.00)a |
| CK | (55.56±19.24)ab | (55.56±19.24)c | (92.59±12.82)a |
| *F* 值 | 3.327 | 3.678 | 0.606 |
| 显著性 | 0.041 | 0.030 | 0.697 |

注:不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

表 2　丸化保水剂含量对沙打旺幼苗根长、根表面积的影响

| 保水剂处理 | 根长/cm | 根表面积/$cm^2$ |
|---|---|---|
| 1% | (30.048 8±9.760 4)b | (0.008 1±0.004 4)b |
| 3% | (28.973 1±10.035 3)b | (0.006 4±0.003 8)b |
| 5% | (30.986 7±7.691 1)b | (0.008 4±0.003 1)b |
| 7% | (36.759 6±9.555 0)a | (0.013 8±0.007 0)a |
| 9% | (30.886 8±9.149 0)b | (0.010 5±0.004 1)b |
| CK | (30.788 5±9.205 5)b | (0.009 5±0.003 8)ab |
| *F* 值 | 3.354 | 13.202 |
| 显著性 | 0.006 | 0.000 |

### 2.2　抗旱试验

2.2.1　沙打旺幼苗枯黄—萎蔫的过程　沙打旺幼苗在干旱胁迫过程中出现明显的反应,正常幼苗顶叶和靠近根部两小叶绿色饱满,所有处理及对照在停止供水 9～17 d 内,靠近根部的两个小叶首先出现枯黄的症状,顶部小叶颜色变浅,停止供水 15～22 d,底部两小叶及顶部小叶卷曲萎蔫,沙打旺幼苗逐步死亡。

2.2.2 保水剂对沙打旺幼苗枯黄、萎蔫速率及根长的影响 沙打旺枯黄速率以每天累计枯黄数量/总留苗数量表示，萎蔫速率以每天累计萎蔫数量/总留苗数量表示。图 1 所示，在抗旱试验前期(间苗后 9～13 d)，丸化保水剂含量越高，枯黄速率越慢，间苗后 13 d，5%，7%处理较对照幼苗枯黄数量分别减少了 15.58%和 22.07%；随着旱情加重，保水剂含量对幼苗枯黄速率影响逐渐减弱(斜率逐渐降低)，在间苗后 17～19 d，所有处理幼苗大部分萎蔫(图 2)，原因是抗旱试验后期，土壤水分含量极低，持续干旱情况对植物产生永久性的损伤[19]。对萎蔫后收获的幼苗根长、根表面积进行单因素方差分析(表 3)发现，萎蔫幼苗根长、根表面积随着丸化保水剂含量增加而提高，5%，7%和 9%处理较对照幼苗根长增加 11.90%，27.53%和 53.81%，根表面积增加 24.68%，11.03%和 59.79%。

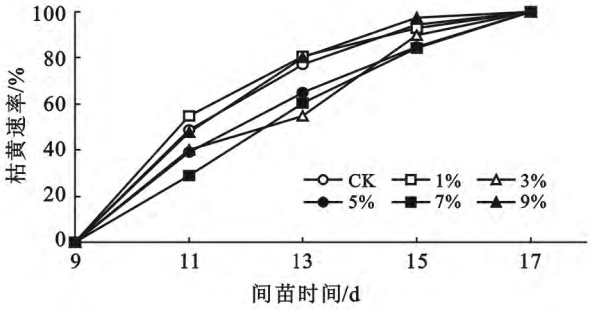



图 1 沙打旺幼苗枯黄速率变化

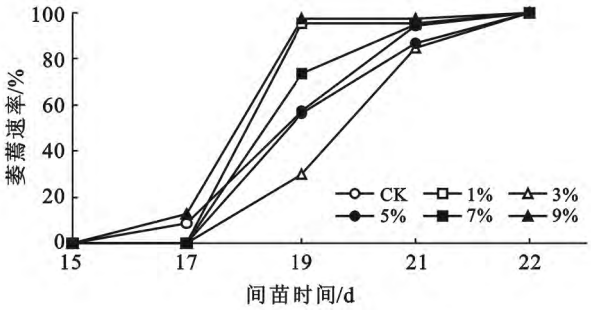



图 2 沙打旺幼苗萎蔫速率变化

表 3 丸化保水剂含量对沙打旺萎蔫时根长、根表面积影响

| 保水剂处理 | 根长/cm | 根表面积/cm² |
|---|---|---|
| 1% | (20.674 9±9.394 2)c | (1.943 0±1.291 7)c |
| 3% | (25.902 1±11.949 5)bc | (2.552 4±1.393 4)bc |
| 5% | (26.592 2±14.876 3)bc | (3.012 9±2.192 0)b |
| 7% | (29.165 2±12.861 5)ab | (2.683 0±1.304 8)bc |
| 9% | (35.176 3±11.752 6)a | (3.861 3±1.684 2)a |
| CK | (22.869 6±11.077 6)bc | (2.416 4±1.433 5)bc |
| *F* 值 | 5.893 | 5.717 |
| 显著性 | 0.000 | 0.000 |

2.2.3 保水剂对沙打旺幼苗叶片脯氨酸及可溶性糖含量的影响 在干旱环境下，植物为维持体内水分含量，会在胞内主动积累一些溶质。由于胞内溶质增多，渗透势下降，细胞就可从外界吸水，调节胞内膨压，从而维持胞内的正常生理活动[20-21]。因此，植物体内可溶性糖及脯氨酸含量可作为保水剂包衣处理后抗旱试验生理指标。如图 3 所示，沙打旺幼苗叶片脯氨酸含量随保水剂浓度增加逐渐减小，多重比较(S-N-K)显示，保水剂含量在 1%～5%时脯氨酸水平与对照无显著差异，7%和 9%处理差异显著，与对照相比，幼苗叶片脯氨酸含量分别降低了 13.1%，13.6%。沙打旺幼苗叶片可溶性糖含量随保水剂浓度增加逐渐减小，与叶片脯氨酸含量变化趋势一致，CK，1%与 3%处理差异显著，5%，7%，9%与 1%，3%处理差异显著，5%，7%，9%处理较对照幼苗叶片可溶性糖含量分别降低了 20.33%，22.85%，19.08%。幼苗叶片中脯氨酸和可溶性糖含量的测定证明丸化添加保水剂减少沙打旺幼苗在干旱条件下渗透调节物质的积累，有助于延长幼苗承受干旱胁迫的时间。

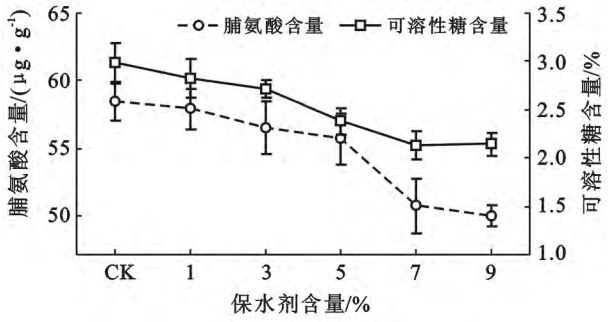



图 3 丸化保水剂含量对沙打旺幼苗叶片渗透调节物质的影响

## 3 结果讨论

(1) 种子萌发期及幼苗生长阶段周围土壤水势是种子及幼苗根系吸水的决定因素，保水剂丸化可以改变植物种子周围小空间的土壤水分状况，其含量多少决定了在相同水分含量时土壤水势的高低。萌发及生长试验显示，丸化保水剂含量低(1%，3%)对种子及幼苗周围土壤水势改变效果不明显，萌发及幼苗根系与裸种无显著差别，丸化保水剂含量过高(9%)，种子萌发速率及幼苗根系有所下降，这种拐点的出现可能是在土壤水分含量过低，保水剂不能保持足够的水分，此时可能出现保水剂与种子或幼苗根系争水的现象[22]，因此丸化添加保水剂含量有一定的范围，这与土壤水分条件及植物不同阶段吸水能力有关。

(2) 根据试验研究，干旱条件下，种子初期的萌发速率会影响幼苗的生长，种子初期萌发速率越大，

幼苗生长状况越好,反之生长状况越差。因而推测出沙区种子定植存在着以下现象:降雨过后沙区种子可以迅速萌发生长,若其根系在干旱来临之前能够到达湿沙层,则幼苗成活。沙打旺等小粒种子在干旱沙区飞播造林中可以从两个方面提高成活率,一是提高小粒种子初期萌发的速率;二是改良种子周围环境,保证水分的充足。本试验研究发现,添加保水剂丸化后加快了沙打旺的萌发速率,适量的保水剂含量可显著促进沙打旺幼苗根系生长。

(3) 保水剂丸化在实际中可能存在局限性。试验表明,丸化中添加适量保水剂可提高沙打旺幼苗萌发速度及幼苗根系生长,然而在实际应用中还存在着以下问题,大规模保水剂丸化工艺,添加保水剂含量高,丸化颗粒易崩解,不宜运输,应用粘合剂后,丸化强度大,可能影响出苗。

## 4　结 论

(1) 萌发及幼苗生长试验中,7%丸化保水剂含量处理促进沙打旺种子萌发及幼苗生长。发芽初期(8～10 d),沙打旺种子丸化添保水剂含量高利于沙打旺萌发,播种后第 10 d,保水剂含量 7%,9%处理种子萌发速率较对照分别快了 70%和 63.19%,保水剂含量在 7%时,沙打旺幼苗根长、根表面积较裸种提高 19.36%,45.26%。

(2) 抗旱试验中,5%,7%和 9%丸化保水剂含量处理提高沙打旺幼苗的抗旱能力。沙打旺幼苗停止供水后,底部两片子叶首先枯黄萎蔫,进而顶部小叶萎蔫死亡;采用保水剂丸化间苗后第 13 d,5%和 7%处理较对照幼苗枯黄数量分别减少了 15.58%和 22.07%,对幼苗萎蔫速率影响不明显;萎蔫幼苗的根长、根表面积随着保水剂浓度的提高而增加,5%,7%,9%处理较对照根长分别增加 11.90%,27.53%和 53.81%,根表面积分别增加了 24.68%,11.03%,59.79%;沙打旺幼苗叶片内脯氨酸、可溶性糖含量与对照相比,7%,9%处理幼苗叶片脯氨酸含量分别降低了 13.1%和 13.6%;5%,7%和 9%处理较对照幼苗叶片可溶性糖含量分别降低了 20.33%,22.85%,19.08%。

(3) 根据萌发及生长试验、抗旱试验数据综合分析,沙打旺丸化添加保水剂适宜含量为 7%～9%。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 刘瑞凤,阎志宏,王爱勤. 飞播用花棒种子丸粒化研究[J]. 种子,2004,23(9):35-38.

[2] 谢伯承,薛绪掌,王纪华,等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报,2003,23(6):44-46.

[3] 招启柏,黄年生,徐茂林. 我国烟草丸粒化包衣技术的研究与发展方向[J]. 中国烟草科学,2002,23(1):25-27.

[4] 张志军,李会珍,乔绍俊,等. 生物保水种衣剂对蔬菜种子发芽及幼苗生理特性的影响[J]. 种子,2010,29(3):36-38.

[5] 黄占斌,万会娥,邓西平,等. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):52-55.

[6] 杨浩,王百田,岳征文,等. 应用保水剂对黄绵土水分特征的影响研究[J]. 水土保持研究,2011,18(3):182-186.

[7] 李积兰,李希来,田丰,等. 冷地早熟禾和中华羊茅种子丸粒化技术研究[J]. 草原与草坪,2008(4):29-33.

[8] 魏新田,崔兰恩,马卫东,等. 芝麻种子吸水丸衣剂配方的筛选及应用效果[J]. 河南农业科学,1999(12):9-11.

[9] 李代琼,梁一民,从心海,等. 飞播沙打旺生物生态学特性的研究[J]. 植物学通报,1985,3(4):54-56.

[10] 孙守如,朱磊. 种子丸粒化技术研究现状与展望[J]. 中国农学通报,2006,22(6):151-154.

[11] 王翔宇,张进虎,丁国栋,等. 沙地土壤水分特征及水分时空动态分析[J]. 水土保持学报. 2008,22(6):222-227.

[12] 张强,孙向阳,黄利江,等. 毛乌素沙地土壤水分特征曲线和入渗性能的研究[J]. 林业科学研究. 2004(S1):9-14.

[13] 王志,王蕾,刘连友,等. 毛乌素沙地南缘沙丘水分的时空分布特征[J]. 干旱区研究,2007,24(1):61-65.

[14] 孙建华,刘建军,康博文,等. 陕北毛乌素沙地土壤水分时空变异规律研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):244-247.

[15] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[16] 张袖丽,马友华,张文明,等. 保水剂对高羊茅种子萌发及幼苗生长发育的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(10):2871-2873.

[17] 单长卷,梁宗锁. 土壤干旱对冬小麦幼苗根系生长及生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):38-41.

[18] 肖海华,张毅功,方正,等. 不同保水剂对基质保水性和黄瓜幼苗生长的影响[J]. 河北农业大学学报,2002,25(3):45-48,53.

[19] 霍红,张勇,陈年来,等. 干旱胁迫下五种荒漠灌木苗期的生理响应和抗旱评价[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(1):185-189.

[20] 贺学礼,李生秀. 不同 VA 菌根真菌对玉米生长及抗旱性的影响[J]. 西北农业大学学报,1999,27(6):49-53.

[21] 李震宇. 甘草根际丛枝菌根真菌分布特征及 AMF 对三种豆科植物抗旱性的影响[D]. 内蒙古 呼和浩特:内蒙古大学,2010.

[22] 杜太生. 保水剂在节水灌溉中的应用及其对作物生长和水分利用的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2001.