

魔芋超强吸水剂对土壤保水性能的影响

姚蕾¹, 柯百胜¹, 张艳¹, 张敏燕¹, 倪学文¹, 汪超^{1,2}, 姜发堂^{1,2}

(1. 湖北工业大学 生物工程学院, 湖北 武汉 430068; 2. 武汉力诚生物科技有限公司, 湖北 武汉 430068)

摘要: 通过室内模拟试验, 利用析因设计法研究了魔芋超强吸水剂(KSAP)对土壤保水性能的影响。结果表明, 魔芋超强吸水剂的施入方式、用量、粒径对不同类型土壤保水性能影响达到高度显著水平($P < 0.01$); 浇水频率对魔芋超强吸水剂的保水性能影响不显著。魔芋超强吸水剂用量 0.30%, 粒径 0.80 mm, 以表层喷洒的方式分别加入沙、红壤和棕壤中, 沙的有效含水量增加 32.7%, 红壤的有效含水量增加 18.1%, 棕壤的有效含水量增加 24.3%。

关键词: 魔芋超强吸水剂; 土壤; 保水性能; 有效含水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)04-0076-05

中图分类号: S156.2

Effects of Konjac Super Absorbent Polymer on Soil Water Preservation

YAO Lei¹, KE Bai-sheng¹, ZHANG Yan¹,
ZHANG Min-yan¹, NI Xue-wen¹, WANG Chao^{1,2}, JIAN G Fa-tang^{1,2}

(1. College of Biological Engineering, Hubei University of Technology,

Wuhan, Hubei 430068, China; 2. Wuhan Li-cheng Biotechnology Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430068, China)

Abstract: By the laboratory experiments, the effects of konjac super absorbent polymer(KSAP) on water preservation in soil were studied using factorial designed experiment. Results showed that the effects of soil water preservation were significant ($P < 0.01$) when different additions, different dosages and particle diameters of KSAP were added to the soil, whereas the frequency of irrigation on water preservation of KSAP was not significant. The effective water in sand, red soil, and brown soil were increased by 32.7%, 18.1%, and 24.3%, respectively, when KSAP (0.30%, particle diameter 0.80mm) was sprayed to surface.

Keywords: konjac super absorbent polymer; soil; water preservation; effective water

我国干旱、半干旱地区总面积占国土面积的 47%, 干旱缺水的问题日趋严重, 要解决此问题必须提高水分的利用率, 但是仅通过推广投资大的喷灌、微灌等工程技术是远远不够的, 还需要注重推广投资较少的保水技术产品——保水剂。保水剂是利用强吸水性树脂制成的一类具有强吸水能力的高分子化合物, 此类化合物含有大量的强亲水性基团, 可吸收自身重量百倍以上的水分^[1-5], 其结构好似微型水库, 可以反复释放和吸收水分, 供土壤和植物利用^[6]。其中美国研发的 TAB 用于地面撒施可节约用水 50%~85%, 因此保水剂在水分的有效利用中有显著的效果^[7-8]。目前国际上关于保水剂的研究主要集中在新材料新品种的研制、化学性能的研究和田间试验方面。Janardan^[9]研究了在种植马铃薯和洋葱施用钾肥对保水剂性能的影响。Helalia 等^[10]分析了保水剂对土壤的渗透率、土壤容重的抑制作用, 发现了保

水剂可以改善土壤理化性能; 杨培岭等人研究了不同保水剂在不同溶液中的吸释水性能及其下降趋势等。Baxter 等使用保水剂对甜菜和豇豆种子进行包衣处理, 表明使用保水剂进行包衣处理的种子发芽率高, 出苗早, 苗壮; 李冬杰等人在葡萄栽培上应用了保水剂, 证明了应用保水剂对葡萄栽培上有节水、增产和提高品质的作用。然而目前对如何使用保水剂可以最大限度的提高土壤保水性能的研究较少, 因此本试验主要对保水剂的施入方式、用量及粒径大小等因素对保水效果的综合影响进行了研究^[14]。

魔芋超强吸水剂是一种新型的保水剂, 它是以天然产物魔芋为材料, 通过改性得到的一种新型保水剂。此新型保水剂吸水倍率高, 保水效果显著, 耐盐性比较高。并且与化学合成的保水剂比较, 魔芋超强吸水剂的生产成本低, 在土壤中能够自然降解, 不会对环境造成污染^[15-17]。本研究以魔芋超强吸水剂为

收稿日期: 2008-12-12

修回日期: 2009-02-15

资助项目: 湖北省科技厅(2006AA201C42); 湖北省教育厅科技创新项目(J200614002)

作者简介: 姚蕾(1983—), 女(汉族), 陕西省渭南市人, 硕士研究生, 研究方向为生物化学材料。E-mail: yaolei0129@yahoo.com。

通信作者: 姜发堂(1964—), 男(汉族), 湖北省仙桃市人, 博士、教授, 主要从事生物化学材料及食品的研究。E-mail: JIAFATANG@mail.hb.ut.edu.cn。

研究对象,以土壤含水量变化为参照,从魔芋超强吸水剂的施入方式、用量、粒径大小及其在不同类型土壤上对魔芋超强吸水剂的保水性能进行综合研究,以期生产上合理施用保水剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试保水剂:湖北工业大学魔芋生物材料研究室提供的耐盐性魔芋超强吸水剂(KSAP)。在纯水中每克KSAP吸水800g;在自来水中每克KSAP吸水

250g;在生理盐水中每克KSAP吸盐水120g。供试土壤(表1):(1)沙,采自湖北省武汉市;(2)红壤,采自湖北省农业科学院实验地深层土壤;(3)棕壤,采自湖北省农业科学院实验地深层土壤。

1.2 实验方法

通过单因素实验确定土壤保水效果比较显著的因素及其水平,利用SAS软件的析因设计法对实验条件进行优化,根据相应的实验表格进行实验后,分析各因素对不同土壤类型的有效含水量增加量的影响,得到在一定水平范围内保水效果显著的组合。

表1 供试土壤基本性质

土壤	各级颗粒含量/ %			有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$)	CEC/ ($cmol \cdot kg^{-1}$)	pH
	2~0.005 mm	0.005~0.000 2 mm	<0.000 2 mm			
沙	98.70	0.01	1.29	5.84	9.17	7.18
红壤	50.10	5.71	44.23	16.40	11.80	6.35
棕壤	25.61	59.58	14.81	10.52	12.49	6.76

1.2.1 土壤有效含水量的计算方法 用威尔科克斯法测定出土壤田间持水量,参照《土壤学实验指导》中最大吸湿量的测定方法测出土壤的最大吸湿量,再用最大吸湿量计算出土壤的萎蔫系数;将土壤的田间含水量和萎蔫系数之差记为本实验的有效含水量^[18-20]。

1.2.2 不同用量的KSAP对土壤保水性能的影响

将KSAP按烘干后土壤的质量百分比设0, 0.10%, 0.20%, 0.30%, (g/g)5个处理;花盆中分别加入300.0g烘干后的土壤,将吸足水分的KSAP均匀搅拌其中,浇足水,放入恒温恒湿箱中(温度25℃,湿度45%)平衡24h后称重,记录各组花盆中土壤的有效含水量的变化。每个样品处理3次重复。

1.2.3 不同粒径的KSAP对土壤保水性能的影响

将KSAP过筛得到粒径0.80, 0.50, 0.20mm共3种颗粒,参照1.2.2中的方法将KSAP加入土壤中(加入量参考1.2.2中保水效果显著的KSAP施入量),浇足水,放入恒温恒湿箱中(温度25℃,湿度45%)平衡24h后称重,记录各组花盆中土壤的有效含水量变化,每个样品处理3次重复。

1.2.4 不同施入方式的KSAP对土壤保水性能的影响

将充分溶胀的KSAP以混施(KSAP与土壤混合均匀)、层施(KSAP施入土壤中间层)和喷洒(KSAP洒在土壤表层)3种方式加入土壤中(加入量参照1.2.2中保水效果显著的KSAP施入量,粒径参照1.2.3中保水效果显著的KSAP颗粒),浇足水,放入恒温恒湿箱中(温度25℃,湿度45%)平衡24h后称重,记录各组花盆中土壤的有效含水量变

化,每个样品处理3次重复。

1.2.5 KSAP在不同类型土壤中对土壤保水性能的影响

将吸足水分的KSAP分别加入沙、红壤和棕壤3种土壤中(加入量参照1.2.2中保水效果显著的KSAP施入量、粒径按照1.2.3保水效果显著的KSAP颗粒,施入方式以1.2.4中保水效果显著的方式施入土壤中)浇足水,放入恒温恒湿箱中(温度25℃,湿度45%)平衡24h后称重,记录各组花盆中土壤有效含水量的变化,每个样品处理3次重复。

1.2.6 不同浇水频率下KSAP对沙保水性能的影响

将吸足水分的KSAP加入在1.2.5中保水效果显著的沙中(加入量参照1.2.2中保水效果显著的KSAP施入量、粒径参照1.2.3保水效果明显的KSAP颗粒,施入方式以1.2.4中保水效果显著的方式施入沙中)浇足水,按照5, 10, 15和20d的实验周期分别浇水4次,称重法测定各组沙的有效含水量变化,每个样品处理3次重复。

2 结果与分析

2.1 KSAP对土壤保水性能的影响

2.1.1 不同用量的KSAP对土壤保水性能的影响

参照1.2.2实验方法所得实验结果见表2。随着KSAP用量的增多,土壤饱和含水率越高。0.30%KSAP处理土壤的有效含水量几乎是对照的3倍,不同水平KSAP处理土壤的饱和含水率比对照提高了19.9%~39.7%。

2.1.2 不同粒径的KSAP对土壤保水性能的影响

参照1.2.3实验方法所得实验结果见表3。土壤

中加入相同用量的 KSAP, 粒径大小不同, 则土壤的饱和含水率的变化明显。其粒径越大, 土壤的饱和含水率越高, 0.30% KSAP 粒径 0.8 mm 的土壤有效含水量比 0.30% KSAP 粒径 0.5 mm 的土壤有效含水量高 37.0%。即粒径 0.8 mm 的 KSAP 在土壤中的保水性能比粒径 0.5 mm 和 0.2 mm 明显。其原因是粒径比较大的 KSAP 网格结构上的大量亲水性基团可以吸附水分子, 而粒径比较小的 KSAP 部分网格结构由于粉碎过细而被破坏, 因此吸水倍率下降, 促使土壤的饱和含水率下降。

表 2 加入不同剂量 KSAP 对土壤饱和含水率的影响

KSAP 用量/ %	饱和含水率/ %	有效含水量/ g
0.00	14.9	66.9
0.10	34.8	104.5
0.20	47.7	143.4
0.30	61.8	185.9

表 3 不同粒径 KSAP 对土壤饱和含水率的影响

KSAP 粒径/ mm	KSAP 用量/ %	饱和含水率/ %	有效含水量/ g
0.2	0.30	14.9	66.9
0.5	0.30	54.7	145.8
0.8	0.30	60.4	180.7

2.1.3 KSAP 在不同类型土壤中对土壤保水性能的影响 参照 1.2.4 实验方法所得实验结果见表 4。KSAP 在沙中的有效含水量的增加量比在棕壤和红壤中高, 在沙中饱和含水率增加了 24.1%, 而 KSAP 在红壤中饱和含水率仅增加了 12.8%, 在棕壤中的饱和含水率也仅增加了 15.8%, 所以 KSAP 在沙中保水效果明显。其原因是沙的结构比棕壤和红壤松散, 空隙比较大, 对充分溶胀的 KSAP 施加的压力小, 不会将 KSAP 中的水分大量挤出, 因此施入 KSAP 可以显著提高沙的饱和含水率。

表 4 KSAP 在不同土壤类型中对土壤饱和含水率的影响

土壤类型	KSAP 用量/ %	KSAP 粒径/ mm	饱和含水率/ %	有效含水量/ g
棕壤	0.00	0.8	48.0	143.7
	0.30		63.3	189.1
红壤	0.00	0.8	52.3	156.7
	0.30		65.1	195.4
沙	0.00	0.8	36.4	108.3
	0.30		60.4	180.7

2.1.4 不同浇水频率下 KSAP 对沙保水性能的影响 参照 1.2.5 实验方法所得实验结果见表 5, 5 d 2 次溶胀 KSAP 所在的沙有效含水量为 228.1 g, 而 10, 15, 20 d 处理的 2 次溶胀的沙有效含水量分别为 226.7, 225.8, 224.5 g; 随着浇水频率的变化 KSAP 对再次溶胀后沙的有效含水量变化影响不明显。

表 5 不同浇水频率下沙的含水量变化

溶胀次数	有效含水量/ ml			
	5 d	10 d	15 d	20 d
1	232.6	232.5	232.4	232.7
2	228.1	226.7	225.8	224.5
3	192.8	189.4	186.5	183.0
4	152.9	150.1	151.6	149.7

2.2 析因设计法的优化结果

单因素实验表明, KSAP 用量、粒径和土壤类型对土壤保水性的影响是主要因素, 经过单因素初步优化, 确定了各因素的范围。对 3 个因素编码, 施入方式设 3 个水平, 分别是混合施入法(记为 s_1)、表层施入法(记为 s_2)和中间层施法(记为 s_3); KSAP 用量按土壤质量比设 3 个水平, 分别是 0.10% (记为 d_1), 0.20% (记为 d_2)和 0.30% (记为 d_3); KSAP 的粒径大小也设 3 个水平, 分别是 0.80 mm 记为 n_1 , 0.50 mm 记为 n_2 和 0.20 mm 记为 n_3 。

各因素的方差分析所得结果见表 6。因素 $s, d, n, s^* d, s^* n$ 和 $s^* d^* n$ 交互作用的 $P < 0.01$, 因此在模型中 KSAP 的施入方式、KSAP 的用量、KSAP 的粒径、KSAP 的施入方式与 KSAP 用量的交互作用、KSAP 的施入方式与 KSAP 粒径的交互作用、KSAP 用量、KSAP 粒径与 KSAP 的施入方式的交互作用都是高度显著的。而因素 $s^* n, d^* n$ 交互作用的 P 值均大于 0.05。因此 KSAP 的施入方式与 KSAP 粒径的交互作用、KSAP 用量与 KSAP 粒径的交互作用均不显著。

使用 BON 法控制实验错误率, 所得结果见表 7。a 表中输出结果中用 A, B, C 这 3 种不同的符号标识, 表明 s_1, s_2 与 s_3 有显著差异, 并且在 s_2 即沙中, 沙中有效水分增加量比在 s_1 和 s_3 中大; b 表输出结果中用 A, B, C 这 3 种不同的符号标识, 表明 d_1, d_2 与 d_3 有显著差异, 且 d_3 即 KSAP 用量为 0.30% 的沙有效水分增加量比 d_1, d_2 大; c 表输出结果中用 A, B, C 这 3 种不同的符号标识, 表明 n_1, n_2 与 n_3 有显著差异, 且使用 n_1 即粒径为 0.8 mm 的 KSAP 使沙的有效水分增加量比 n_2 和 n_3 大。

表 6 各因素的方差分析

来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值
s	1	3 030.49	1 515.24	420.15	< 0.000 1
d	2	25 835.58	12 917.79	3 581.89	< 0.000 1
n	2	4 720.51	2 360.25	654.46	< 0.000 1
s* d	2	220.90	55.22	15.31	< 0.000 1
s* n	2	28.49	7.12	1.97	0.111 4
d* n	4	32.10	8.02	2.23	0.078 3
s* d* n	4	95.88	11.98	3.32	0.003 7

表 7 BON 法控制试验结果

组别	有效水分增加量	试验次数	施入方式
A	65.944 4	27	s ₂
a B	56.114 8	27	s ₃
C	51.237 0	27	s ₁

组别	有效水分增加量	试验次数	施入量
A	79.518 5	27	d ₃
b B	58.003 7	27	d ₂
C	35.774 1	27	d ₁

组别	有效水分增加量	试验次数	KSAP 粒径
A	67.318 5	27	n ₁
c B	57.344 4	27	n ₂
C	48.633 3	27	n ₃

按照析因设计法进行优化实验, 所得结果见表 8。得出 (s₂, d₃, n₁) 组合即 (KSAP 表层喷洒, 用量 0.30%, 粒径 0.80 mm) 在沙中有效含水量增加量为 98.27 g (32.7%), 因此此种组合方式的保水效果优于其它各种组合。

按照 (s₂, d₃, n₁) 组合分别加入红壤和棕壤中, 则红壤的有效含水量增加量为 54.26 g (18.1%), 棕壤的有效含水量增加量为 73.12 g (24.3%)。结果表明 KSAP 用量 0.30%, 粒径 0.80 mm 以表层喷洒的方式施入沙中, 则 KSAP 在沙中的保水效果比棕壤和红壤中显著。

3 结论

(1) KSAP 用量 0.30%、KSAP 粒径 0.80 mm、以表层喷洒的方式施入土壤中, 则 KSAP 对土壤的保水性能影响显著 ($P < 0.05$)。KSAP 用量与 KSAP 粒径的交互作用使魔芋超强吸水剂对土壤的保水性能的影响不显著, KSAP 施入方式与 KSAP 粒径的交互作用使魔芋超强吸水剂对土壤的保水性能的影响显著 ($P < 0.05$), KSAP 施入方式与 KSAP

用量的交互作用, KSAP 用量、KSAP 粒径与土壤类型的交互作用使魔芋超强吸水剂对土壤的保水性能影响高度显著 ($P < 0.01$)。

表 8 析因设计法优化结果

施入方式	施入量	KSAP 粒径	水平数	有效含水量增加量	样本标准偏差
s ₁	d ₁	n ₁	3	35.833 333	3.156 474 83
s ₁	d ₁	n ₂	3	27.366 667	3.126 233 09
s ₁	d ₁	n ₃	3	16.233 333	2.311 565 13
s ₁	d ₂	n ₁	3	57.733 333	2.695 057 20
s ₁	d ₂	n ₂	3	52.266 667	1.814 754 35
s ₁	d ₂	n ₃	3	45.233 333	1.761 628 03
s ₁	d ₃	n ₁	3	86.633 333	1.814 754 35
s ₁	d ₃	n ₂	3	76.700 000	1.808 314 13
s ₁	d ₃	n ₃	3	68.133 333	1.357 694 12
s ₂	d ₁	n ₁	3	53.166 667	1.761 628 03
s ₂	d ₁	n ₂	3	44.766 667	1.724 335 62
s ₂	d ₁	n ₃	3	37.900 000	2.233 830 79
s ₂	d ₂	n ₁	3	78.333 333	2.386 070 69
s ₂	d ₂	n ₂	3	65.966 667	0.960 902 35
s ₂	d ₂	n ₃	3	56.766 667	1.665 332 80
s ₂	d ₃	n ₁	3	98.266 667	0.808 290 38
s ₂	d ₃	n ₂	3	83.533 333	0.814 452 78
s ₂	d ₃	n ₃	3	75.700 000	1.352 774 93
s ₃	d ₁	n ₁	3	44.466 666 7	0.776 745 35
s ₃	d ₁	n ₂	3	35.633 333 3	2.542 308 66
s ₃	d ₁	n ₃	3	26.600 000 0	2.193 171 22
s ₃	d ₂	n ₁	3	65.966 666 7	1.700 980 11
s ₃	d ₂	n ₂	3	53.333 333 3	1.137 248 14
s ₃	d ₂	n ₃	3	46.433 333 3	1.331 665 62
s ₃	d ₃	n ₁	3	87.366 666 7	2.328 805 13
s ₃	d ₃	n ₂	3	78.533 333 3	0.929 157 32
s ₃	d ₃	n ₃	3	66.700 000 0	0.793 725 39

(2) 魔芋超强吸水剂用量为 0.30%, 粒径 0.80 mm, 以表层喷洒的方式分别加入沙、红壤和棕壤中, 则沙的有效含水量可增加 32.7%; 红壤的有效含水量可增加 18.1%, 棕壤的有效含水量可增加 24.3%。该实验求得的 KSAP 用量、粒径、施入方式及土壤类型与土壤有效含水量的变化关系的模型, 可为生产上合理应用此类吸水剂提供参考。

[参 考 文 献]

[1] Janardan S, Singh J. Effect of stockosorb polymers and potassium levels on potato and onion [J]. J. Potassium Res., 1998, 4 (1): 78-82.

- [2] Shao H B , Chu L Y . Where is the road to bio-water-saving for the globe? [J] . Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 2007, 55: 251-255.
- [3] Amelia B, Scott R . Water saving technology and saving water in China [J] . agricultural water management 2007, 87: 139-150.
- [4] Akihiko K, Masaya I . Evaluation of Water-Saving Rice-Winter Crop Rotation System in a Suburb of Tokyo [J] . Plant Prod. Sci. 2007, 10(12): 219-231.
- [5] 邹新禧. 超强吸水剂[M] .北京: 化学工业出版社, 1998: 13.
- [6] 庄文化, 冯浩, 吴普特, 等. 高分子保水剂农业应用研究进展[J] . 农业工程学报, 2007, 23(6): 265-270.
- [7] Alasdair B. Super absorbents improve plant survival [J] . World Crops, 1984(1/2) : 7-10.
- [8] Michael S J, Cornelis J V . Structure and functioning of water-storing agricultural polyacrylamides [J] . Sci Food Agri, 1985, 36: 789-793.
- [9] Janardan S J. Effect of stockosorb polymers and potassium levels on potato and onion [J] . Journal of Potassium Research, 1998, 4: 78-82.
- [10] Helalia A, Letey J. Cationic polymer effects on infiltration rates with a rainfall simulator [J] . Soil Science Society of America Journal, 1998, 52: 247-250.
- [11] Yang P L , Wang C Z, Ren S M , et al. Experimental studies of affect ions on the absorbable and holding characteristics of water retaining agent in different solution environments and the approaches to increasing its field efficiency [C] // Yangling: Water Saving Agriculture and Sustainable Use of Water and Resources, 2003: 143-148.
- [12] Baxter L . Waters L J. Effect of a hydrophilic polymer seed coating on the field performance of sweet corn and cow pea [J] . Journal of the American Society for Horticultural Science, 1986, 111(1) : 31-34.
- [13] Li D J, Yang P L , Han Y G, et al. Application effects of superabsorbent polymers on grape cultivation [J] . CJGR International Conference, 2004, 12: 338-341.
- [14] 李万芬, 姜发堂, 汪超, 等. 魔芋超强吸水剂吸湿性能研究 [J] . 食品工业科技, 2006, 27(6): 93-95.
- [15] 刘爱红, 姜发堂, 张声华, 等. 魔芋粉接枝丙烯酸(钠) 超强吸水剂的制备 [J] . 材料科学与工程学报, 2004, 22(4): 588-591.
- [16] 李万芬, 姜发堂, 汪超, 等. 魔芋葡甘聚糖丙烯酸接枝共聚物的吸湿特性研究 [J] . 农业工程学报, 2006, 22(11): 228-231.
- [17] 姜发堂. 超强吸水剂及其制备方法: 中国武汉, 02147733[P]. 2003-04-16.
- [18] 林大仪. 土壤学实验指导 [M] .北京: 中国林业出版社, 2004: 94-95.
- [19] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法 [M] .北京: 科学出版社, 1981: 60-61.
- [20] 柯达夫 B A . 土壤学原理 [M] .北京: 科学出版社, 1981: 3-30.

(上接第 25 页)

沙障没有孔隙度存在, 而以往的研究主要是以具有一定孔隙度的沙障为研究对象, 表明沙障的孔隙度不同, 稳定凹曲面的障间蚀积系数也不同, 这点需进一步的实践证明。

(4) 障内植物对凹曲面的形态特征影响较大, 植物具有明显的灌丛堆效应, 可进一步增强沙丘的稳定性。大规模的沙障若一定时间内无植被生长, 会导致沙障很快失去防护作用。

[参 考 文 献]

- [1] 罗俊宝. 我国不同沙漠类型区公路沙害防治技术与机理研究 [D] .北京: 北京林业大学, 2005.
- [2] 屈建军, 凌裕泉, 俎瑞平, 等. 半隐蔽格状沙障的综合防护效益观测研究 [J] . 中国沙漠, 2005, 25(3): 329-334.
- [3] 哈斯, 董光荣, 王贵勇. 腾格里沙漠东南缘沙丘表面气流与沙面形态的关系 [J] . 中国沙漠, 1999, 19(1): 1-5.
- [4] 杨保, 邹学勇, 董光荣. 风沙流中颗粒跃移研究的某些进展与问题 [J] . 中国沙漠, 1999, 19(2): 173-178.
- [5] 常兆丰, 仲生年, 韩福桂, 等. 粘土沙障及麦草沙障合理间距的调查研究 [J] . 中国沙漠, 2000, 20(4): 455-457.
- [6] Li X R, Xiao H L, He M Z, et al. Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions [J] . Ecological Engineering, 2006, 28: 149-157.