

保水剂和促根粉对棉花生长及养分吸收的作用

胡明芳, 卞卫国, 田长彦, 王林霞

(中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

【摘要】 【目的】探讨保水剂和促根粉对棉花生长发育的影响, 为在棉花生产中的应用提供参考。【方法】采用人工气候室-棉花盆栽试验, 研究了两种水分状况下(水分充足与渐进干旱), 保水剂和促根粉对棉花地上部干物质积累、养分吸收与水分消耗利用的影响。【结果】两种水分状况下, 与对照相比, 施用保水剂可使棉花地上部生物量增加 5%~39%, 养分吸收与利用显著增加, 水分利用率提高 3%~31%, 且以保水剂 A1 优于 A2; 保水剂的应用虽显著提高了水分利用率, 但对耗水量没有明显影响, 可能与使用方法与使用量有关。促根粉对棉花地上部生物量及养分和水分的吸收利用作用不明显, 但其与水分的交互作用对 N 的吸收利用具有明显影响。【结论】保水剂在棉花生产中有一定的应用价值。

【关键词】 棉花; 保水剂; 促根粉; 养分吸收; 水分利用率

【中图分类号】 S562.071

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)04-0091-06

Effects of SAP and root promoter on cotton growth and nutrient absorption under two different water conditions

HU Ming-fang, BIAN Wei-guo, TIAN Chang-yan, WANG Lin-xia

(CAS Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Wulumuqi, Xinjiang, China 830011)

Abstract: 【Objective】 The study was to provide a reference with the application of SAP and promoter in cotton production. 【Method】 A pot experiment under two different water conditions (sufficient water condition and evolution drought) was made in artificial-climate-chamber to define the effects of SAP and the root promoter on cotton in arid zone, and the differences of cotton upside biomass, nutrients and water absorption and utilization were analysed. 【Result】 The results showed that under two different water conditions, cotton biomass increased by 5% to 39% with SAP, nitrogen and phosphorous and potassium absorption and efficiency increased significantly, and water use efficiency increased by 3% to 31%; SAP A1 was better than A2; there was no obvious impact on the water consumption using SAP in this study, which may be correlated with the methods and amount of SAP used. The effects of the root promoter on cotton upside biomass, nutrients and water absorption and utilization were not strong, except that its interaction with the moisture was beneficial to nitrogen absorption and utilization. 【Conclusion】 The SAP is beneficial to cotton production.

Key words: cotton; SAP; root promoter; nutrient absorption; water use efficiency(WUE)

随着新疆棉花种植区域的迅速扩大, 地下水严重超采以及水资源利用率低、浪费严重的问题更加突出, 干旱对棉花产量的影响日益严重。保水剂

(Super absorbent polymer, SAP) 是一种超高吸水保水能力的高分子聚合物, 能迅速吸收较自身重数百倍甚至上千倍的纯水, 吸水后可缓慢释放水分供

* 【收稿日期】 2008-06-11

【基金项目】 中国科学院知识创新项目(0732051001, KZCX2-XB2-03)

【作者简介】 胡明芳(1973—), 女, 江苏沛县人, 助理研究员, 硕士, 主要从事干旱区绿洲生态研究。E-mail: hmf@ms. xjb. ac. cn

作物利用,而且有反复吸水功能,因而近几年在农业节水方面有关保水剂的研究较多、发展较快,已经成为近年来发展十分迅速的化学节水技术之一^[1]。有关保水剂改善土壤理化性状,对作物种子萌发、幼苗生长及对作物生育、产量与品质和水肥利用效率的影响等方面的研究已多见报道^[2-10],但国内尚未见将保水剂应用于棉花生产的研究报道。

根系作为作物从土壤中摄取养料的重要器官,其与作物的生长发育与抵抗不良环境的能力密切相关,良好的生长发育状态和较强的抗逆性是作物获得高产的重要保证。因此,用生理活性物质对作物根部进行诱导、刺激,使其产生强大的根系,增强作物自主吸收养分的能力,这无疑是提高作物产量的一种有效途径。促根粉由植物生长调节剂、酶原激活剂和中间代谢促进剂 3 类植物生长激活物质组成,是根据植物调控系统理论采用科学工艺研制而成的,目前已有关于其在滴灌棉花中应用效果的研究^[11-12],但有关促根粉在棉花生产中实际应用的报道还比较少。

本研究探索了干旱胁迫与水分充足条件下,保水剂与促根粉对棉花生长与养分吸收的影响,旨在为保水剂和促根粉在棉花生产中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试棉花 棉花品种为 TY-4,由新疆生态与地理研究所棉花育种组提供。

1.1.2 供试土壤 供试土壤采自天山北麓,为森林土壤。该土壤 pH=7.77($m(\text{土}):V(\text{蒸馏水})=1:5$),总盐含量为 2.3 g/kg,有机碳含量为 50.504 g/kg,有机质含量为 87.069 g/kg,全氮含量为 3.797 g/kg,全磷含量为 1.334 g/kg,全钾含量为 24.063 g/kg,碱解氮含量为 274.41 mg/kg,有效磷含量为 49.92 mg/kg,速效钾含量为 197 mg/kg。

1.1.3 保水剂和促根粉 保水剂 A₁, A₂,均由中国科学院长春应用化学研究所提供;促根粉 B,由中国科学院成都生物研究所提供。

1.2 试验设计

采用人工气候室-盆栽培养试验,试验共设 3 个因素:水分处理、保水剂和促根粉。水分处理设 2 个水平:W1.水分充足处理(土壤水分田间持水量的 70%~80%,称重法控制土壤水分,当土壤水分降至 70%时进行灌溉);W2.渐进干旱胁迫处理(土壤水

分为田间持水量的 50%~80%,称重法控制土壤水分,当土壤水分降至 50%时进行灌溉)。保水剂设 3 个水平:A0.不施用保水剂;A1.施用保水剂 A₁;A2.施用保水剂 A₂。促根粉设 2 个水平:B0.不施用促根粉;B1.施用促根粉 B。对以上因素及其水平进行完全设计,共计 12 个处理,每处理重复 4 次。保水剂以 5 g/kg 混土施用,促根粉以 0.5 g/kg 拌种。人工气候室设定白天温度为 25 ℃,夜晚温度为 20 ℃,湿度 60%,有光照。每盆装土 1 kg,播种 5 粒,出苗后定苗 3 株。子叶展平后每周以 30 mL 霍格兰营养液^[13]灌溉土壤进行培养,35 d 后于棉花达五叶期时,收获棉株地上部分。

1.3 测定项目及测定方法^[14]

土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法-外加热法;土壤全氮的测定采用高氯酸-硫酸消化法;土壤有效氮的测定采用碱解蒸馏法;土壤全磷的测定采用酸溶-钼锑抗比色法;土壤有效磷的测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法;土壤全钾的测定采用酸溶-火焰光度法;土壤速效钾的测定采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法;pH 的测定采用电位测定法;土壤水溶性盐总量的测定采用残渣烘干-质量法;植物全氮的测定采用高氯酸-硫酸消化法;植物全磷的测定采用酸溶-钼锑抗比色法;植物全钾的测定采用酸溶-火焰光度法。

植株养分吸收量、养分利用效率及水分利用率采用下式计算:

植株养分吸收量=植株生物量×养分含量;

养分利用效率=养分吸收量/植株生物量;

水分利用率=耗水量/植株生物量。

1.4 数据处理

采用统计软件 SPSS13.0 对试验数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同水分条件下保水剂和促根粉对棉花地上部生物量的影响

从表 1 可以看出,对棉花地上部平均生物量来说,水分处理表现为 W1(2.06 g/株)>W2(1.87 g/株),保水剂处理表现为 A1>A2>A0。在水分充足和渐进干旱胁迫条件下,保水剂 A₁、A₂ 处理使棉花地上部生物量较对照分别增加 39%,5%和 22%,10%。表明无论在水分充足还是渐进干旱条件下,施用保水剂均可以促进棉花生长。促根粉对棉花地上部生物量的影响作用不明显。方差分析结果表

明,水分与保水剂的效应均达到了极显著水平($F_W=13.78^{**}$, $F_A=43.23^{**}$),两者交互作用也达到了极显著水平($F_{W\times A}=6.16^{**}$),表明在水分充足条件下,保水剂的影响作用更为明显,这可能与盆栽条件下限制了保水剂的吸水功率有关。促根粉的作用

不明显,与有关报道不相一致^[11-12],可能与试验中仅考虑了地上部生物量有关,也可能与促根粉的使用量有关。因而关于促根粉的促根效应还有待于进一步证实。

表 1 不同水分条件下保水剂和促根粉对棉花地上部生物量的影响

Table 1 Effects of SAP and root promoter on cotton biomass aboveground under two different water conditions							
水分处理 Water condition	保水剂 SAP treatment	促根粉 Root promoter treatment	地上部生物量/ (g·株 ⁻¹) Shoot biomass of cotton	水分处理 Water condition	保水剂 SAP treatment	促根粉 Root promoter treatment	地上部生物量/ (g·株 ⁻¹) Shoot biomass of cotton
W1	A0	B0	1.83 a	W2	A0	B0	1.76 a
		B1	1.76 a			B1	1.62 a
	A1	B0	2.55 b		A1	B0	2.15 b
		B1	2.45 b			B1	1.99 b
	A2	B0	1.89 a		A2	B0	1.89 ab
		B1	1.88 a			B1	1.84 a

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),下表同。
Note:Small letters following the numbers show significant difference ($P<0.05$),The following tables are the same.

2.2 不同水分条件下保水剂和促根粉对棉花养分吸收与利用的影响

2.2.1 N吸收量与利用效率 从表 2 可以看出,对 N 吸收量而言,水分的影响表现不一。在未使用促根粉的情况下,水分充足与渐进干旱条件下 N 吸收量相差不大,甚至后者略高一些;而在使用促根粉后,水分充足条件下的 N 吸收量略高。水分充足和渐进干旱胁迫条件下,保水剂对 N 吸收量的影响效

应非常明显,表现为 $A1>A2>A0$ 。以单位养分生产干物质的量作为养分利用效率,从表 2 可以看出,N 吸收量越高的处理 N 的利用效率越低。方差分析结果(表 3)表明,水分对 N 的吸收利用无显著影响,但保水剂及水分与促根粉的交互作用对 N 吸收利用的影响均达到极显著差异水平;水分、保水剂及水分与促根粉、保水剂与促根粉的交互作用对 N 利用率的影响均达到了显著或极显著差异水平。

表 2 不同水分条件下保水剂和促根粉对棉花地上部养分吸收与利用的影响

Table 2 Effects of SAP and root promoter on cotton nutrient absorption aboveground under two different water conditions								
水分处理 Water condition	保水剂 SAP	促根粉 Root promoter	N		P		K	
			吸收量/ (g·株 ⁻¹)	利用率/ (g·g ⁻¹)	吸收量/ (g·株 ⁻¹)	利用率/ (g·g ⁻¹)	吸收量/ (g·株 ⁻¹)	利用率/ (g·g ⁻¹)
			Absorption	Use effocoemcy	Absorption	Use effocoemcy	Absorption	Use effocoemcy
W1	A0	B0	14.96 a	0.12 b	3.12 a	0.59 a	15.92 a	0.12 a
		B1	18.68 ab	0.09 a	3.10 a	0.57 a	15.01 a	0.12 a
	A1	B0	27.51 c	0.09 a	3.67 b	0.70 b	20.10 b	0.13 a
		B1	29.76 c	0.09 a	3.74 b	0.67 b	20.03 b	0.12 a
	A2	B0	19.35 b	0.10 ab	3.08 a	0.61 ab	14.39 a	0.13 a
		B1	20.03 b	0.10 ab	2.96 a	0.65 ab	14.96 a	0.13 a
W2	A0	B0	18.61 a	0.10 b	2.69 a	0.66 a	13.66 a	0.13 a
		B1	16.63 a	0.10 b	2.80 a	0.58 a	14.70 a	0.11 a
	A1	B0	29.69 b	0.08 a	2.90 a	0.75 b	17.99 b	0.12 a
		B1	24.10 b	0.09 a	2.77 a	0.72 b	15.51 b	0.13 a
	A2	B0	21.28 a	0.09 a	2.73 a	0.69 b	14.93 a	0.13 a
		B1	17.57 a	0.11 b	2.73 a	0.68 b	12.61 a	0.15 b

2.2.2 P吸收量与利用效率 从表 2 可以看出,水分状况对棉花的 P 吸收有明显影响,水分充足处理的 P 吸收量均高于水分渐进干旱胁迫处理。两种保水剂处理的表现各不相同,无论在水分充足或渐进干旱胁迫条件下,保水剂 A1 处理均明显提高了棉花的 P 吸收量,而保水剂 A2 处理的 P 吸收量却略

低于 A0 处理。促根粉对棉花 P 吸收量的作用不明显。对 P 利用率而言,水分充足处理(W1)略低于渐进干旱胁迫处理(W2);保水剂处理(A1、A2)和促根粉处理(B1)均略高于相应对照(A0 及 B0)。方差分析结果(表 3)表明,水分、保水剂及其交互作用对磷吸收有显著影响,水分、保水剂对 P 利用率的作用达

极显著水平。

表 3 不同水分条件下保水剂和促根粉对棉花地上部养分吸收与利用影响的方差分析
Table 3 Variances analysis of effects of SAP and root promoter on cotton nutrient absorption
aboveground under two different water conditions

项目 Item	N 吸收量 N Absorption	N 利用率 N Use effocoemcy	P 吸收量 P Absorption	P 利用率 P Use effocoemcy	K 吸收量 K Absorption	K 利用率 K Use effocoemcy
F_W	0.39	4.74 *	25.49 **	7.53 **	10.62 **	2.34
F_A	97.32 **	10.23 **	6.06 **	12.93 **	21.56 **	9.19 **
F_B	1.43	0.41	0.02	1.66	1.52	0.02
$F_{W \times A}$	1.3	0.85	3.28 *	0.05	1.78	0.72
$F_{W \times B}$	21.25 **	13.79 **	0	0.84	0.99	1.57
$F_{A \times B}$	1.61	3.41 *	0.11	0.95	0.5	1.76
$F_{W \times A \times B}$	0.6	0.46	0.28	0.29	1.87	3.66 *

2.2.3 K 吸收量与利用效率 从表 2 可以看出, K 吸收量总体表现为水分充足处理(W1) > 渐进干旱胁迫处理(W2), 保水剂处理表现为 A1 > A0 > A2; 促根粉作用不明显。对 K 利用率来说, 保水剂处理略高于对照处理。方差分析结果(表 3)表明, 水分与保水剂对 K 的吸收有极显著影响, 保水剂及水分、保水剂、促根粉三者之间的交互作用对 K 的利用率有显著影响。

2.3 不同水分条件下保水剂和促根粉对耗水量与水分利用率的影响

以棉花生长期间实际灌溉水量作为耗水量, 以单位水分生产的干物质作为水分利用率进行分析, 从表 4 可以看出, 对耗水量而言, 水分充足处理的耗水量明显高于渐进干旱胁迫处理; 水分充足条件下, 保水剂 A1 处理的耗水量最高, A2 和 A0 处理的差

异较小; 而在干旱胁迫条件下, 保水剂处理(A1 和 A2)的耗水量与对照 A0 相近。就水分利用率而言, 不同水分条件(W1, W2)的影响作用不明显, 而保水剂处理的水分利用率明显高于对照处理, 在水分充足条件下, 使用保水剂 A1、A2 时的水分利用率分别较对照提高 29.5% 与 7.9%; 干旱胁迫条件下, 保水剂 A1、A2 处理的水分利用率分别较对照提高 26.9% 与 8.6%。促根粉处理的水分利用率略高于对照。方差分析结果表明, 水分状况、水分与保水剂交互作用对耗水量有显著影响($F_W = 41.34 **$, $F_{W \times A} = 5.16 *$), 保水剂对水分利用率的影响达极显著水平($F_A = 13.67 **$)。差异显著性检验表明, 保水剂 A1 显著提高了水分利用率, 而保水剂 A2 对水分利用率无显著影响。

表 4 不同水分条件下保水剂和促根粉对棉花耗水量及水分利用率的影响
Table 4 Effects of SAP and root promoter on water consumption and water use efficiency of
cotton aboveground under two different water conditions

水分处理 Water condition	保水剂 SAP	促根粉 Root promoter	耗水量/L Water consumption	水分利用率/($10^{-4} \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) Water use efficiency
W1	A0	B0	503.25 a	3.64 a
		B1	502.50 a	3.50 a
	A1	B0	558.50 b	4.57 b
		B1	526.25 ab	4.66 b
	A2	B0	492.00 a	3.84 a
		B1	487.50 a	3.86 a
W2	A0	B0	461.25 a	3.82 a
		B1	445.00 a	3.64 a
	A1	B0	461.50 a	4.66 b
		B1	419.50 a	4.74 b
	A2	B0	458.00 a	4.13 a
		B1	461.25 a	3.99 a

本研究中, 使用保水剂未能明显减少耗水量, 原因可能与盆栽试验土壤表面未进行覆盖, 而保水剂的使用又使土壤颗粒分散进而增加了土壤表面蒸发有关。有关研究也证实, 保水剂使用方式对其保水

效应有非常明显的影响^[15-16]。

3 讨论与结论

随着水资源的日益紧缺, 大力发展节水农业、走

资源节约型道路,已经成为我国农业生产与发展必然的战略选择^[15]。应用保水剂既能改善植物根土界面环境,又能供给植物水分,具有用途广、投资少、见效快的优势,在农业生产等诸多方面具有较广泛的应用发展前景^[17]。本研究对两种水分条件下保水剂的效应进行了分析,结果表明,水分状况对棉花干物质积累、养分吸收利用与耗水量有显著或极显著的影响,对水分利用率的影响不明显;施用保水剂能明显促进棉花的生长及养分的吸收,提高养分利用效率,还可极显著地提高水分利用率。需要说明的是,保水剂处理未降低耗水量可能与试验中未进行表土覆盖有关。因为施用保水剂会使土壤孔隙度大大增加,如林文杰等^[18]的研究表明,随着保水剂用量增加,土壤容重下降了 6.2%~35.1%,总孔隙度和毛管孔隙度明显增加了 3.6%~20.3%和 5.9%~22.6%,孔隙度的增加将使水分更容易从土表挥发消耗而导致耗水量的增大;另外,两种保水剂处理的耗水量表现为 A1>A2,这可能与两种保水剂的吸水倍数有关。

同时本研究还发现,水分状况对保水剂效应的影响程度并不十分突出,这可能与保水剂的施用量有关,也可能与试验设计中干旱处理的土壤水分变化有关,因为在盆栽试验渐进干旱的处理过程中,棉花实际处于干旱胁迫的时间并不长。同时,模拟试验证明,作物在生长发育过程中具有适应土壤干湿交替环境的能力,即作物在受到一定程度的水分胁迫时,能够通过补偿效应来弥补产量的损失或减少干旱胁迫损伤与植物作用的时间^[19]。这表明在保水剂的应用与研究中,使用方法与施用量都非常重要。

本研究对两种水分状况下促根粉对棉花干物质积累、养分吸收利用与耗水量的影响进行了分析。结果表明,除促根粉与水分的交互作用对 N 的吸收利用有一定影响之外,促根粉在试验中作用并不明显,这可能与本试验只进行了棉株地上部分分析,而缺失对促根粉最明显的促根效应的分析有关,有关促根粉对棉花生长的影响,还有待更深入仔细的研究。

该研究仅对两种水分状况下保水剂与促根粉对棉花早期生长的影响进行了初步探索,而在实际应用过程中,还需考察保水剂和促根粉长期使用对作物、土壤、环境的影响。另外,关于保水剂与促根粉的降解性、持效性及其与肥料等农业化学品的耦合效应与影响机理,以及其适应于不同土壤、不同作物

的最佳施用量、施用方式等,均需做进一步的深入研究。

[参考文献]

- [1] 王志玉,刘作新.高吸水树脂的性能及其在农业上的应用[J].土壤通报,2004,35(3):352-356.
Wang Z Y, Liu Z X. Properties of super water absorbent polymers and their applications in agriculture [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(3):352-356. (in Chinese)
- [2] 张富仓,康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应 [J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 74-78.
Zhang F C, Kang S Z. Water retaining BP agent and its effect on soil and crops [J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(2): 74-78. (in Chinese)
- [3] 冯金朝,赵金龙,胡英娣,等. 土壤保水剂对沙地农作物生长的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(2): 36-40.
Feng J C, Zhao J L, Hu Y D, et al. Effect of soil moisture main-tainer upon crop growth in sandy soil [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1993, 11(2): 36-40. (in Chinese)
- [4] 黄占斌,万惠娥,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): 52-56.
Huang Z B, Wan H E, Deng X P, et al. Super absorbent polymer effects on soil improvement and drought resistant and water saving of crops [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1999, 5(4): 52-56. (in Chinese)
- [5] 黄占斌,辛小桂,宁荣昌,等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 11-14.
Huang Z B, Xin X G, Ning R C, et al. The application and development trend of aquasorb in agricultural production [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(3): 11-14. (in Chinese)
- [6] 吴德瑜. 保水剂在农业上的应用进展 [J]. 作物杂志, 1990(1): 22-23.
Wu D Y. Using progress of aquasorb in agricultural production [J]. Crops, 1990(1): 22-23. (in Chinese)
- [7] 俞满源,黄占斌,山 仑. 保水剂氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 15-19.
Yu M Y, Huang Z B, Shan L. Response of aquasorb, fertilizer and their interaction to growth and yield of potato [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(3): 15-19. (in Chinese)
- [8] 山 仑,黄占斌,张岁岐. 节水农业 [M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
Shan L, Huang Z B, Zhang S Q. Water-saving agriculture [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing, 1999. (in Chinese)
- [9] 黄占斌. 农用保水剂应用原理与技术 [M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2005.
Huang Z B. Impact Principles and technology of agricultural super absorbent [M]. Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Publishing, 2005. (in Chinese)
- [10] 方 锋,黄占斌,俞满源. 保水剂与水分控制对辣椒生长及水分利用效率的影响研究 [J], 中国生态农业学报, 2004, 12

(2);73-76.

Fang F,Huang Z B,Yu M Y. The effect of aquasorb and water controlling on capsicum growth and water use efficiency [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2004,12(2):73-76. (in Chinese)

[11] 杨继芝,赵书珍. 棉花滴灌促根剂对棉子发芽与幼苗生长的影响效应 [J]. 农业与技术,2004,24(3):10-12.

Yang J Z,Zhao S Z. Effects of root promoter under drip irrigation on cotton germination and seedling growth [J]. Agriculture and Technology,2004,24(3):10-12. (in Chinese)

[12] 何海芬,赵明勤,王立辉,等. 棉花滴灌促根剂的应用效果 [J]. 中国棉花,2002,29(6):6-7.

He H F,Zhao M Q,Wang L H,et al. Effects of root promoter under drip irrigation on cotton [J]. China Cotton,2002,29(6):6-7. (in Chinese)

[13] 毛达如. 植物营养研究方法 [M]. 北京:中国农业大学出版社,1994.

Mao D R. Plant nutrition research technique [M]. Beijing: China Agricultural University Publishing,1994. (in Chinese)

[14] 南京农业大学. 土壤农化分析 [M]. 北京:农业出版社,1992.

Nanjing Agricultural University. Chemical analysis of agricultural soil [M]. Beijing: China Agriculture Press,1992. (in Chinese)

[15] 黄占斌,朱元骏,李茂松,等. 保水剂聚丙烯酸钠不同施用方法对玉米生长和水分利用效率的影响 [J]. 沈阳农业大学学报,2004,35(5/6):576-579.

Huang Z B,Zhu Y J,Li M S,et al. Effects of different applying methods of super absorbent polymer on growth and water use efficiency of maize [J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2004,35(5/6):576-579. (in Chinese)

[16] 刘殿红,黄占斌,董 莉. 保水剂施用方式对马铃薯产量和水分利用效率的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2007,25(4):105-108.

Liu D H,Huang Z B,Dong L. Effects of different applying methods of Super Absorbent Polymer on growth and water use efficiency of potato [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2007,25(4):105-108,129. (in Chinese)

[17] 吴普特,冯 浩,牛文全,等. 中国用水结构发展态势与节水对策分析 [J]. 农业工程学报,2003,19(1):1-6.

Wu P T,Feng H,Niu W Q,et al. Analysis of developmental tendency of water distribution and water-saving strategies [J]. Transactions of the CSAE,2003,19(1):1-6. (in Chinese)

[18] 林文杰,马焕成,周 蛟,等. 干旱胁迫下保水剂对苗木生长及生理的影响 [J]. 干旱区研究,2004,21(4):353-357.

Lin W J,Ma H C,Zhou J,et al. Effects of hydrogel on the growth of seedlings and their physiological properties under drought stress [J]. Arid Zone Research,2004,21(4):353-357. (in Chinese)

[19] 黄占斌,夏春良. 农用保水剂作用原理研究与发展趋势分析 [J]. 水土保持研究,2005,12(5):104-106.

Huang Z B,Xia C L. A study on impact principles and development trend of agricultural super absorbent [J]. Research of Soil and Water Conservation,2005,12(5):104-106. (in Chinese)