

保水剂对风沙土水分垂直入渗和含水量的影响

王昱程¹, 刘鹏¹, 邵慧杨¹, 温海娇¹, 张玉斌^{1,2}, 闫飞¹, 潘洪玉¹

(1. 吉林大学 植物科学学院, 吉林 长春 130062;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 使用保水剂是有效利用和改良风沙土的重要途径。通过研究垂直入渗率、累积入渗量、渗吸持续时间、渗透系数 4 项入渗特征量以说明在 5—7 cm 深度处层施保水剂对于风沙土水分垂直入渗的影响, 测定入渗结束后土壤各层含水量以研究受试体系的水分垂直分布。结果表明, 试验处理可使垂直入渗率在各时间点有不同程度减小, 有 3 种保水剂处理累积入渗量均增加了 42% 左右(1% 处理), 渗吸持续时间增长了 134%~390%, 渗透系数减小了 65%~85%, 且 4 种变化趋势均随保水剂用量的增加而加剧。入渗结束后土壤水分垂直分布也发生明显变化: 保水剂—土壤混合层含水量上升 52%~178%, 上层土壤含水量明显增加但下层土壤略微降低。研究表明, 保水剂对风沙土水分垂直入渗和含水量影响十分明显。

关键词: 保水剂; 风沙土; 垂直入渗特性; 水分垂直分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0172-04

中图分类号: S152.7

Effects of Super Absorbent Polymer on Vertical Water Infiltration and Moisture Content in Aeolian Sandy Soil

WANG Yu-cheng¹, LIU Peng¹, SHAO Hui-yang¹,

WEN Hai-jiao¹, ZHANG Yu-bin^{1,2}, YAN Fei¹, PAN Hong-yu¹

(1. College of Plant Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130062, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Super absorbent polymer(SAP) can be used to exploit aeolian sandy soil and improve its quality effectively. The effects of blending SAP to a given depth(5—7 cm) in aeolian sandy soil on vertical infiltration were studied by measuring the four parameters of vertical infiltration rate, accumulated infiltration quantity, lasting time of suck permeability and permeability coefficient. After the infiltration experiment, soil moisture content in different layers was measured to determine the vertical moisture distribution. Results indicated that the vertical infiltration rates of SAP-treated soils were always less than that of untreated soil, accumulated infiltration quantities were increased by about 42%, lasting times of suck permeability were elongated by 134%~390%, and permeability coefficients were decreased by 65%~85% in three different SAP-treated soils. Increase in SAP concentration further accelerated the changes of the four parameters. There was also a conspicuous change in vertical moisture distribution; the moisture content of blending-layer was increased by 52%~178%; and it was also increased in the upper soil layer, but decreased in the lower soil layer. The effects of SAP on the vertical infiltration and moisture content of aeolian sandy soil were very notable.

Keywords: super absorbent polymer (SAP); aeolian sandy soil; vertical infiltration characteristic; vertical moisture distribution

收稿日期: 2012-09-17

修回日期: 2012-12-02

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“吉林省玉米主要病虫害防控技术与集成示范”(2012BAD19B04); 黄土高原与旱地农业国家重点实验室基金项目“东北黑土区植被恢复过程中土壤质量演变机理”(10501-1210); “十二五”农村领域国家科技计划课题“粮食大面积均衡增产技术集成研究与示范”(2012BAD04B02-3); “十二五”农村领域国家科技计划课题“粮食丰产科技工程”(2011BAD16B10-3); 公益性行业(气象)科研专项“温度及水分对春玉米生理特性的影响”(GYHY201206018-05)

作者简介: 王昱程(1989—), 男(汉族), 陕西省大荔县人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与土壤质量。E-mail: wyc661217@gmail.com。

通信作者: 张玉斌(1977—), 男(汉族), 山东省莒南县人, 博士, 主要从事土壤侵蚀与水土环境效应研究。E-mail: ybzhang@jlu.edu.cn。

我国是土壤沙化最严重的国家之一,全国沙化土地面积约为 $1.74 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 约占国土面积的 18%^[1-2], 且以每 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2/\text{a}$ 的速度不断增加^[3]。沙化土地有机质含量低, 保水保肥能力差, 上层土壤易流失, 导致其肥力连年下降^[4]。而利用和改良风沙土都需要提高土壤含水量和保水能力, 在目前的措施中, 施用保水剂由于使用方便、效果明显等原因成为改良风沙土, 提高风沙土作物产量的一个重要途径。

保水剂是一种具有超高吸水和保水能力的高分子聚合物, 能够吸收达到自身重量百倍甚至千倍的水分, 吸水后可缓慢释放吸收的水分供植物利用^[5-7]。近年来, 对保水剂的研究开始从简单的吸水释水性能逐渐发展为对其多方面功能的研究, 保水剂对土壤结构的改良, 对土壤各类生化指标的影响, 对植物根际环境的影响等也越来越被重视, 但关于保水剂对风沙土水分垂直入渗和含水量垂直分布影响的研究较少^[8-15]。本文通过测定几个入渗参数和土壤各层含水量, 研究了在土壤 5—7 cm 深处混合层施保水剂对水分垂直入渗特性和土壤含水量垂直分布的影响, 对风沙土区域保水剂对农业生产、水资源的可持续开发利用以及土壤改良和防治水土流失等都有一定的意义。

1 材料和方法

1.1 试验材料

土壤样品为松嫩平原瘠薄农田风沙土, 取自吉林省松原市前郭县乌兰图嘎镇的风沙瘠薄农田, 经自然风干后, 过 2 mm 筛后待用。选择目前市面上 4 种常见的保水剂进行研究^[4], 分别为地津牌高效抗旱保水剂(地津), 由天津三农金科技有限公司生产, 主要成分为由聚丙烯酰胺制成的高分子聚合物; 安信保水牌农林保水剂(安信), 由东莞市安信保水有限公司生产, 主要成分为具有电离性集团羟基结构的高吸水性有机分子; 东营沃特牌农林保水剂(沃特), 由东营华业新材料有限公司生产, 主要成分为高分子有机聚合物和刚性无机原料; 旱宝贝牌高效土壤保水剂(旱宝贝), 由法国 SNF(爱森)公司授权北京金易元生态工程技术中心生产, 主要成分是聚丙烯盐酸和聚丙烯酰胺共聚体。以上 4 种保水剂均选择 20~40 目规格供试验用。

1.2 试验设计和方法

将土壤样品装入内径 10.5 cm, 高 30 cm 的塑料桶中制成受试体系, 容重控制在 1.55 g/cm^3 ^[4]。风

沙土主要作物的根系 50% 以上分布在土表以下 20 cm 范围内^[16], 因此受试土壤体系设计为 20 cm 深。大面积使用保水剂的成本较大, 因此, 需要在保证效用的基础上减少单位面积使用量, 加之考虑到保水剂的反复吸释水能力和风沙土主要作物根系吸收活力和吸收面积均随土壤深度增加而减小^[17], 所以保水剂采用混合层施的方法加入受试体系, 保水剂—土壤混合层设置于土柱表面以下 5—7 cm 处(2 cm 厚), 以保证其所吸收的水分在释放后可被作物有效利用且不易随表层土壤流失。试验设置 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% 这 4 个保水剂添加比例^[4]。受试体系共分 3 层: 上层土、保水剂混施层(混合层)和下层土, 各层之间用尼龙网分隔, 以便入渗试验结束后测定各层含水量, 体系底部垫双层滤纸并用尼龙网封底。

入渗试验中水分的入渗可分为渗吸和渗透两个过程, 渗吸过程是指体系下部未滴水前在基质势和重力势双重作用下水分的入渗过程; 渗透过程是指下部滴水后, 水分主要在重力势作用下的入渗过程^[18]。入渗试验开始前测量水温, 开始后打开供水装置止水夹, 使水层迅速达到 5 cm, 并开始计时, 整个渗透试验中需保持体系(包括土柱和水层)高度为 25 cm。每隔 2 min 从供水装置中读数以记录进水量, 直至土柱下部滴出第一滴水, 记录所经历的时间。移开供水装置, 每隔 2 min 测量渗出水量并记录, 测完后将水倒回上部水层以保持恒定的重力势, 直至连续 3 次出水量恒定。入渗试验结束后, 将水层倒出, 随后将土柱倒出土桶, 利用尼龙网将土柱分层, 采用烘干称重法测定各层土壤含水量^[19]。

2 结果与分析

2.1 保水剂对水分垂直入渗特性的影响

2.1.1 对入渗率的影响 测得各时间垂直入渗率如图 1 所示。由图 1 可以看出, 所有处理的入渗率随时间变化的趋势大致相同, 入渗开始阶段入渗率较大, 在前 5 min 内迅速减小, 随后减小趋势愈来愈小并逐渐趋于恒定。施用保水剂在各时段对水分入渗率有明显的抑制作用, 而且随着保水剂施用比例的加大, 该抑制作用增强。这与王慧勇等^[14]和白文波等^[15, 20]关于添加保水剂后入渗率随时间的变化情况以及保水剂可降低垂直入渗率的研究结果相一致, 故可以判定保水剂可以显著降低垂直入渗率。

2.1.2 对渗吸持续时间的影响 试验发现, 施用保水剂可显著增加渗吸持续时间。旱宝贝保水剂的影响最为明显, 该保水剂 4 个处理渗吸持续时间均为无穷大。地津、安信和沃特 3 种保水剂 1.00% 处理比

对照组持续时间分别增加了 390.2%, 572.5% 和 134.2%, 达到 94.6, 129.8 和 45.2 min; 地津和安信保水剂不同施用比例的影响差异明显, 沃特保水剂各

处理间差别相对较小, 这 3 种保水剂 1.00% 处理比 0.25% 处理的渗吸阶段持续时间分别增加了 269.5%, 203.9% 和 38.6%。

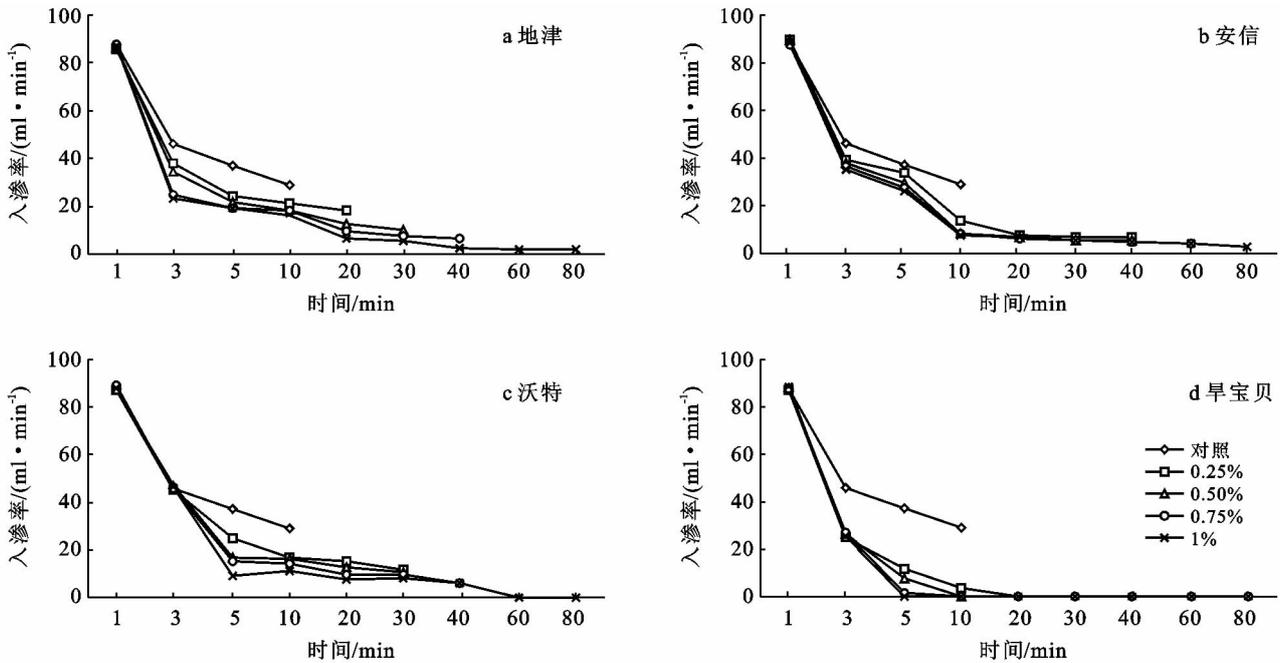


图 1 4 种保水剂对垂直入渗率的影响

2.1.3 对累积入渗量的影响 因累积入渗量对于分析灌溉和降雨入渗等问题的重要性^[21], 本试验测定了入渗开始至渗吸结束这一时间段各处理的累积入渗量。由表 1 可知, 相对于对照试验, 地津、安信、沃特、早宝贝 4 种保水剂 1.00% 处理在该段时间内累积入渗量分别增加了 41.4%, 44.1%, 44.4% 和 28.1%; 地津、安信、沃特 3 种保水剂不同施用比例之间差异明显, 其中 1.00% 比例比 0.25% 比例累积入渗量分别多出 33.6%, 44.2% 和 44.2%。

表 1 不同添加比例保水剂处理累积入渗量 ml

保水剂种类	保水剂添加比例/%			
	0.25	0.50	0.75	1.00
对照	671.0	671.0	671.0	671.0
地津	710.5	818.7	980.9	949.0
安信	671.3	763.2	829.1	967.7
沃特	671.9	753.3	819.5	968.6
早宝贝	791.6	788.3	771.5	859.4

研究结果与白文波等^[20]关于层施保水剂对累积入渗量的影响研究结果基本相符; 但却与王慧勇等^[5]的相关结论不一致, 其研究显示施用保水剂后一定时间内累积入渗量与保水剂用量呈负相关关系, 且试验组累积入渗量均小于对照组, 这可能与其保水剂混施层较厚、保水剂使用量大有关, 因为较大的保水剂施

用量会使水分入渗率大幅减小, 在测试时间内水分无法充分入渗而导致累积入渗量降低。

2.1.4 对渗透系数的影响 将测得的各处理在渗透阶段达到稳渗时的渗水速度, 按照惯例计算得到各处理 10 °C 时的渗透系数^[18](表 2)。由于早宝贝处理水分无法通过混合层继续下渗, 一定时间后入渗终止, 没有进入渗透阶段, 所以该体系无渗透系数。由表 2 可知, 各保水剂不同处理均可降低受试体系的渗透系数, 地津、安信和沃特 3 种保水剂 1.00% 处理渗透系数相对于对照组分别下降了 84.7%, 84.2% 和 65.5%; 随着保水剂施用量的加大, 渗透系数持续降低, 但降低的幅度因保水剂不同而异, 其中地津处理的降低幅度最大, 其次为安信和沃特, 3 种保水剂 1.00% 比例相比于 0.25% 比例其渗透系数分别下降了 82.1%, 58.1% 和 31.9%。

表 2 不同添加比例保水剂处理 10 °C 时的渗透系数

保水剂种类	保水剂添加比例/%			
	0.25	0.50	0.75	1.00
对照	9.375	9.375	9.375	9.375
地津	7.958	5.278	3.035	1.427
安信	3.523	2.718	2.012	1.475
沃特	4.742	4.157	3.402	3.230

10⁻⁴ cm/s

2.2 保水剂对土壤含水量垂直分布的影响

测定了入渗试验结束后,计算各处理体系中各层的含水率(表3)。由表3表明,试验处理可明显增加上层土壤含水量,地津、安信、沃特和旱宝贝4种保水剂1%处理比对照组含水率分别提高了7.3%,57.3%,69.9%和92.7%。混合层是含水量增加最多的一层,1%处理较对照组平均含水率增幅达434.2%;各保水剂不同添加比例间混合层的含水率也有显著差异,施用量增加导致混合层含水率大幅上升,这说明保水剂用量对该层水分含量影响最为直接,效果最显著。这一结果与白文波等^[15]关于保水剂对其他类型土壤水分垂直分布情况影响的研究结果一致。

表3 不同添加比例保水剂处理各层土壤含水率 %

保水剂 种类	土层/cm	添加比例/%			
		0.25	0.50	0.75	1.00
对照	上层(0—5)	26.0	26.0	26.0	26.0
	混合层(5—7)	26.2	26.2	26.2	26.2
	下层(7—20)	26.1	26.1	26.1	26.1
地津	上层(0—5)	23.5	28.3	28.4	28.1
	混合层(5—7)	92.6	118.8	162.8	178.1
	下层(7—20)	19.8	20.5	23.8	19.5
安信	上层(0—5)	26.5	27.3	28.2	40.9
	混合层(5—7)	58.2	82.3	112.4	140.6
	下层(7—20)	21.6	23.2	22.2	21.6
沃特	上层(0—5)	35.2	36.9	41.7	44.2
	混合层(5—7)	36.4	54.2	64.2	82.3
	下层(7—20)	24.0	22.2	24.3	23.4
旱宝贝	上层(0—5)	43.3	38.5	44.8	50.5
	混合层(5—7)	30.3	34.2	40.5	52.6
	下层(7—20)	2.8	1.7	1.2	0.7

与上层和混合层效果相反,施用保水剂会降低下层土壤含水量,4种保水剂1.00%处理的下层土壤含水率分别比对照减少了25.1%,17.3%,10.1%和97.4%,其中旱宝贝保水剂由于对水分入渗的阻滞作用,降幅远超其他3种保水剂。这与王慧勇等^[5]关于混施保水剂对保水剂层以下土壤含水量影响的研究结果一致。

此外,对不同保水剂处理的各层含水率进行横向比较发现,混合层含水率随保水剂的吸水能力的增强而上升,但是上层和下层土壤含水率则随之降低。

3 结论

(1) 供水充足的情况下,在风沙土5—7 cm处混合层施保水剂可降低风沙土水分垂直入渗率,增加渗吸持续时间,减小体系渗透系数,并均随保水剂用量

的增加而加剧,不同保水剂的影响差异很大。保水剂可显著增加一段时间内水分累积入渗量,不同保水剂的吸水和保水能力存在很大差别,但地津、安信和沃特等种保水剂对于土表以下0—20 cm范围内水分累积入渗量的影响大致相同,其增加量均集中在41%~45%。这些说明在一定深度处施用较少量的保水剂即可以对入渗率、累积入渗量、渗透系数产生较大的影响,这对于在风沙土上大面积、低成本地使用保水剂调整降水或灌溉时水分的入渗情况和增强土壤的保水持水能力都有一定的指导意义。

(2) 供水充足的情况下,在风沙土中混合层施保水剂可显著提高上层土壤和混合层含水量,略微降低下层土壤含水量,保水剂的吸水能力越强,混合层含水量则越高,而上层和下层土壤含水量相对越低。基于此,在实际应用中可以根据不同作物或者风沙土改良植物的根系吸收面积和吸收活力分布情况选择合适的保水剂并适当调整保水剂层的深度,使其更好地发挥效用。

[参考文献]

- [1] 韩丽文,李祝贺,单学平,等.土地沙化和防治沙措施研究[J].水土保持研究,2005,12(5):211-213.
- [2] 朱列克.中国荒漠化和沙化动态研究[M].北京:中国农业出版社,2006:1-3.
- [3] 归秀娥.我国耕地资源可持续利用面临的问题和对策[J].理论导刊,2008,31(7):102-103.
- [4] 王斌.农用保水剂的制备及其在松嫩平原风沙瘠薄农田的应用研究[D].长春:吉林大学,2011.
- [5] 王慧勇,张宏,刘世宏,等.保水剂混施用量对沙质土壤水分垂直入渗特性的影响[J].水土保持研究,2011,18(6):22-24.
- [6] Micheal S J, Comelis J V. Structure and functioning of water-storing agricultural polyamides[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1985,36(9):789-793.
- [7] Entry J A, Sojka R E, Watwood M, et al. Polyacrylamide preparations for protection of water quality threatened by agricultural runoff contaminants[J]. Environmental Pollution, 2002,120(2):191-200.
- [8] 吴德瑜.保水剂在农业上的应用进展[J].作物杂志,1990,6(1):22-23.
- [9] 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[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):11-14.
- [10] 赵永贵.保水剂的开发及应用进展[J].中国水土保持,1995,16(5):52-54.
- [11] Ben-hur M, Keren R. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997,61(2):565-570.

(下转第265页)

- [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2000, 4(4):13-30.
- [8] York R, Rosa E A, Dietz T. A rift in modernity Assessing the anthropogenic sources of global climate change with the STIRPAT model[J]. *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2003,23(10):31-51.
- [9] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and IMPACT: Analytic tools for environmental impacts[J]. *Ecological Economics*, 2008,46(3):305-315.
- [10] Roberts T D. Applying the STIRPAT model in a post-Fordist landscape: Can a traditional econometric model work at the local level? [J]. *Applied Geography*, 2011, 31(2):731-739.
- [11] 张乐勤,陈素平,荣慧芳,等.安徽省池州市 2001—2010 年可持续发展动态测度与分析[J]. *地理研究*, 2012,31(3):439-449.
- [12] 张乐勤,陈素平,王文琴,等.基于 STIRPAT 模型的安徽省池州市建设用地扩展驱动因子测度[J]. *地理科学进展*, 2012,31(9):1235-1242.
- [13] 陈敏,王如松,张丽君,等.1978—2003 年中国生态足迹动态分析[J]. *资源科学*, 2005,27(6):132-139.
- [14] 陈成忠,林振山.中国人均生态足迹和生物承载力构成的变动规律[J]. *地理研究*, 2009,28(1):129-142.
- [15] 包正君,赵和生.基于生态足迹模型的城市适度人口规模研究:以南京为例[J]. *华中科技大学学报:城市科学版*, 2009,26(2):84-89.
- [16] Monfreda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments [J]. *Land Use Policy*, 2004,21(3):231-246.
- [17] 李强谊,马晓钰,汪平臻.基于扩展 STIRPAT 模型的新疆生态环境影响因素分析[J]. *中国经贸导刊*, 2012(9):13-14.
- [18] 宋晓晖,张裕芬,汪艺梅,等.基于 IPAT 扩展模型分析人口因素对碳排放的影响[J]. *环境科学研究*, 2012,25(1):109-115.
- [19] 卢娜,曲福田,冯淑怡,等.基于 STIRPAT 模型的能源消费碳足迹变化及影响因素:以江苏省苏锡常地区为例[J]. *自然资源学报*, 2011,26(5):814-824.
- [20] 李春华,李宁,石岳.基于 STIRPAT 模型的长沙市耕地面积变化驱动因素分析[J]. *中国农学通报*, 2010,26(3):258-263.
- [21] 丁唯佳,吴先华,孙宁,等.基于 STIRPAT 模型的我国制造业碳排放影响因素研究[J]. *数理统计与管理*, 2012,31(3):499-506.

(上接第 175 页)

- [12] 党秀丽,张玉龙,黄毅.保水剂在农业上的应用与研究进展[J]. *土壤通报*, 2006,37(2):352-355.
- [13] Agassi M I, Morin J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1981,45(5):848-851.
- [14] 王慧勇,程东娟,张宏,等.保水剂混施厚度对土壤水分垂直入渗特征的影响[J]. *节水灌溉*, 2011,36(7):43-46.
- [15] 白文波,宋吉清,李茂松,等.保水剂对土壤水分垂直入渗特征的影响[J]. *农业工程学报*, 2009,25(2):18-23.
- [16] 牟金明,姜亦梅,王明辉,等.玉米根茬还田对玉米根系垂直分布的影响[J]. *吉林农业科学*, 1999,24(2):25-27.
- [17] 宋海星,王学立.玉米根系活力及吸收面积的空间分布变化[J]. *西北农业学报*, 2005,14(1):137-141.
- [18] 依艳丽.土壤物理研究法[M].北京:北京大学出版社, 2009:170-172.
- [19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社, 2005:22-24.
- [20] 白文波,李茂松,赵虹瑞,等.保水剂对土壤积水入渗特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2010,43(24):5055-5062.
- [21] 张振华,谢恒星,刘继龙,等.PAM 对一维垂直入渗特征量影响的实验研究[J]. *中国农村水利水电*, 2006,48(3):75-77.