

DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.01.013

土壤斥水性对含水率的响应模型研究*

陈俊英^{1 2} 吴普特¹ 张智韬¹ Gideon Oron³ 汪志农¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;
3. 本古里安大学 Blaustein 沙漠研究所, 恩德博克 84990, 以色列)

【摘要】 选用以色列3类不同质地的10种不同斥水性的土壤为研究对象, 采用滴水穿透时间法测定土壤斥水性对含水率的响应关系, 得到了不同土壤斥水持续时间随含水率变化的规律。通过 Gaussian 模型、Lorentzian 模型和 Lognormal 模型对这种规律进行回归分析, 最终得出了土壤斥水持续时间随含水率的变化规律符合 Lorentzian 模型。由此响应模型, 就可以根据某种土壤部分斥水性对含水率响应的实测数据, 计算出土壤斥水性的峰值含水率、峰值斥水性以及临界含水率, 为不同土壤斥水性进行对比和土壤改良提供理论依据。

关键词: 土壤斥水性 土壤含水率 响应模型 回归

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)01-0063-05

Response Models for Soil Water Repellency and Soil Moisture

Chen Junying^{1 2} Wu Pute¹ Zhang Zhitao¹ Gideon Oron³ Wang Zhinong¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China
2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China
3. J. Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Sede Boker 84990, Israel)

Abstract

The relationships between the soil water repellency and soil moisture were studied by measuring WDPT using 10 different water repellent soils collected from Israel. A single peak curve correlation of the relationships between the WDPT and soil moisture was obtained after analysis. Three mathematic models, namely Gaussian, Lorentzian and Lognormal distributions were used for fitting the models by regression analysis, and the Lorentzian distribution was found to be the best model for the practical use. The peak soil moisture, the peak WDPT and the critical soil moisture can be computed by the model of part measured WDPT and soil moisture. It can provide the theory for amelioration of soil and compare of the different repellent soils.

Key words Soil water repellency, Soil moisture, Response model, Regression

引言

土壤含水率是影响斥水性的最主要因素之一^[1~3], 并且斥水性的大小随季节性和土壤其他物理性质的变化而变化^[4]。这使得研究者很难获取土壤的峰值斥水性和土壤斥水性消失时的临界含水率, 为土壤的改良和斥水性的有效控制带来很大的

困难。Bond 和 Harris 发现, 土壤斥水性随含水率的减小而逐渐增加, 最后到达极值, 但当土壤达到一定湿度时, 土壤斥水性消失^[5]。King 和 Dekker 在描述土壤斥水性与含水率之间的关系时指出, 土壤斥水性消失时的临界土壤含水率为 34% ~ 38%^[6~7]。但 Dekker 和 Ritsema 在研究荷兰砂质土斥水性消失时的临界含水率时发现, 当土壤含水率(体积含水

收稿日期: 2011-08-12 修回日期: 2011-08-23

* 中国博士后科学基金资助项目(20110491700)、武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金资助项目(2010B070)和西北农林科技大学人才专项资金资助项目(2009)

作者简介: 陈俊英, 讲师, 中国科学院水利部水土保持研究所博士后, 主要从事水利工程和农业水土工程研究, E-mail: cjyrose@126.com

通讯作者: 吴普特, 研究员, 博士生导师, 主要从事节水农业与水土资源高效利用研究, E-mail: gjzwpt@vip.sina.com

率) 小于 2% 时, 某些荷兰砂质土的土壤斥水性也消失了^[8]。然而, 对于这类土壤, 斥水性随土壤含水率的变化关系及其响应关系是否有所不同, 并没有详细报道。陈俊英等以以色列南部基布兹 Berry 一个柚子园的原状土壤为例, 详细描述了土壤斥水持续时间随含水率的变化关系, 并指出土壤斥水性随含水率的变化关系呈正态分布^[9], 但模型只以壤土为基础建立的, 对其他不同性质的土壤和不同斥水性大小土壤的应用误差较大。

本文选用以色列 3 类不同质地的 10 种不同斥水性土壤为对象, 研究土壤斥水性对土壤含水率的响应关系, 并对此关系进行数学模型回归, 找出这种响应规律符合的数学模型, 以便根据含水率所对应

的土壤斥水持续时间计算出该土样的峰值斥水性和土壤斥水性消失时的临界含水率等参数, 为斥水土壤的改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集

研究所用土壤样品采自以色列 4 个不同地方的 3 类不同质地的表层土, 即基布兹 Beery、基布兹 Bitzaron、基布兹 Seder Boker 和基布兹 Magen 4 个地方共取了 10 种土样, 土壤类型、代码及相关参数见表 1。所采取的土壤均为处理后污水滴灌的果园, 而且灌溉时间年限不同, 最短的有 7 年, 最长达 30 年, 在所灌溉的年内土地均未翻耕过。

表 1 土壤采集地及土壤相关参数
Tab. 1 Soil spots and the related parameters

地名	经纬度	土壤采集深度	土壤类型	代码	灌溉时长/a	有机质质量分数/%	土壤组成质量分数/%		
							粘粒	粉粒	砂粒
Beery	东经 34°29'43.15" 北纬 31°25'14.06"	柚园 0~5 cm	壤土	B1	15	8.30	15	15	70
		柚园, 0~2.5 cm	粘性土	BO1	20	9.31	36	17	47
Bitzaron	东经 34°43'33.13" 北纬 31°47'44.93"	柚园, 2.5~5 cm	粘性土	BO2	20	8.23	34	17	49
		柿子园 0~2.5 cm	粘性土	BP1	7	4.50	32	18	50
		柿子园 2.5~5 cm	粘性土	BP2	7	4.01	31	18	51
		草坪 0~2.5 cm	粘性土	SY	20	2.59	5	7	88
Sede Boker	东经 34°47'35.10" 北纬 30°52'24.98"	树林 0~2.5 cm	粘性土	SB	30	1.89	5	8	87
		橙园, 0~2.5 cm	砂质土	M1	15	9.58	30	17	53
Magen	东经 34°24'19.45" 北纬 31°17'17.63"	橙园, 2.5~5 cm	砂质土	M2	15	7.12	28	21	51
		柚园, 0~2.5 cm	砂质土	M3	8	5.49	3	5	92

1.2 土壤样品处理

将采集的 10 种斥水性土壤样品分别放在长方形的塑料盆中, 盆宽 20 cm, 长 30 cm, 土壤深度 15 cm。先模拟田间滴灌方式, 使盆中斥水性土壤达到饱和土壤含水率, 这时土壤斥水性消失。将样品放在室温为 25℃ 的实验室内进行避光风干, 以减少温度对土壤斥水性的潜在影响^[10-11]。当土壤斥水性再次出现时, 测定此时的土壤斥水持续时间和土壤含水率, 然后每隔 12 h, 测定一次土壤的斥水持续时间和含水率, 直到土壤含水率不再变化, 测定最后一次土壤斥水持续时间和含水率。

1.3 土壤斥水持续时间测定

对土壤斥水性进行测定时, 采用滴水穿透时间 (WDPT) 法测定, 滴定用水为纯净水。用一个标准的滴定管分别将 10 滴水 (每滴约 0.05 mL) 滴到每种土壤样本表面, 测定水滴渗入土壤所需要的时间, 取 10 滴水入渗时间的算术平均值作为每个样品的最终结果。

1.4 土壤含水率测定

在进行土壤斥水性测定的同时, 取表层 0~1 cm 土壤约 20 g 测定土壤含水率, 土壤含水率测定采用 105℃ 干燥法, 使土壤达到质量恒定后, 计算土壤含水率 (本文用到的均为质量含水率)。

2 数学模型基础

从土壤斥水性对土壤含水率的响应关系 (图 1) 可以看出, 其关系为单峰曲线, 根据响应的单峰曲线特征, 分别采用 Sigmaplot 软件单峰曲线模型中的 Gaussian 模型、Lorentzian 模型和 Lognormal (对数正态分布) 模型对响应关系进行回归分析。

Gaussian 三参数模型方程^[12]为

$$Y = a e^{-0.5 \left(\frac{x-x_0}{b} \right)^2} \quad (1)$$

式中 Y ——土壤斥水持续时间 (滴水穿透时间) s

x ——土壤含水率, %

x_0 、 a 、 b ——待定参数

Lorentzian 三参数模型^[12]为

$$Y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2} \quad (2)$$

Lognormal 三参数模型^[12]为

$$Y = ae^{-0.5 \left[\frac{\ln(x/x_0)}{b}\right]^2} \quad (3)$$

3 结果与分析

3.1 实验结果

经过对 10 种不同土壤在不同含水率时测定的土壤斥水性,其结果如图 1 中实测数据点所示。

从图 1 可以看出,对于壤土、粘性土和砂质土,虽然土壤的有机质含量和斥水性不同,但土壤斥水持续时间随土壤含水率的变化均有非常显著的关系。

系。即当土壤含水率为 0 时,土壤斥水持续时间很小或者消失;随着土壤含水率的增加,土壤斥水持续时间也呈增加趋势;当土壤含水率达到某一特定值时,土壤斥水持续时间达到最大,即出现一个峰值;当土壤含水率大于峰值含水率时,随着土壤含水率的增加,土壤斥水持续时间呈减小趋势;当土壤含水率达到临界含水率时,斥水性消失。

从图 1 还可看出,对于不同土壤,斥水持续时间出现峰值时的含水率不同,即使是同种土壤,由于土壤斥水性大小不同,出现峰值斥水性时的含水率也不同;同时,土壤斥水性消失的临界含水率也随不同土壤和相同土壤不同斥水性的变化而变化。

虽然土壤斥水性的峰值点和临界点都随土壤的不同而不同,但总的来看,斥水持续时间随含水率的

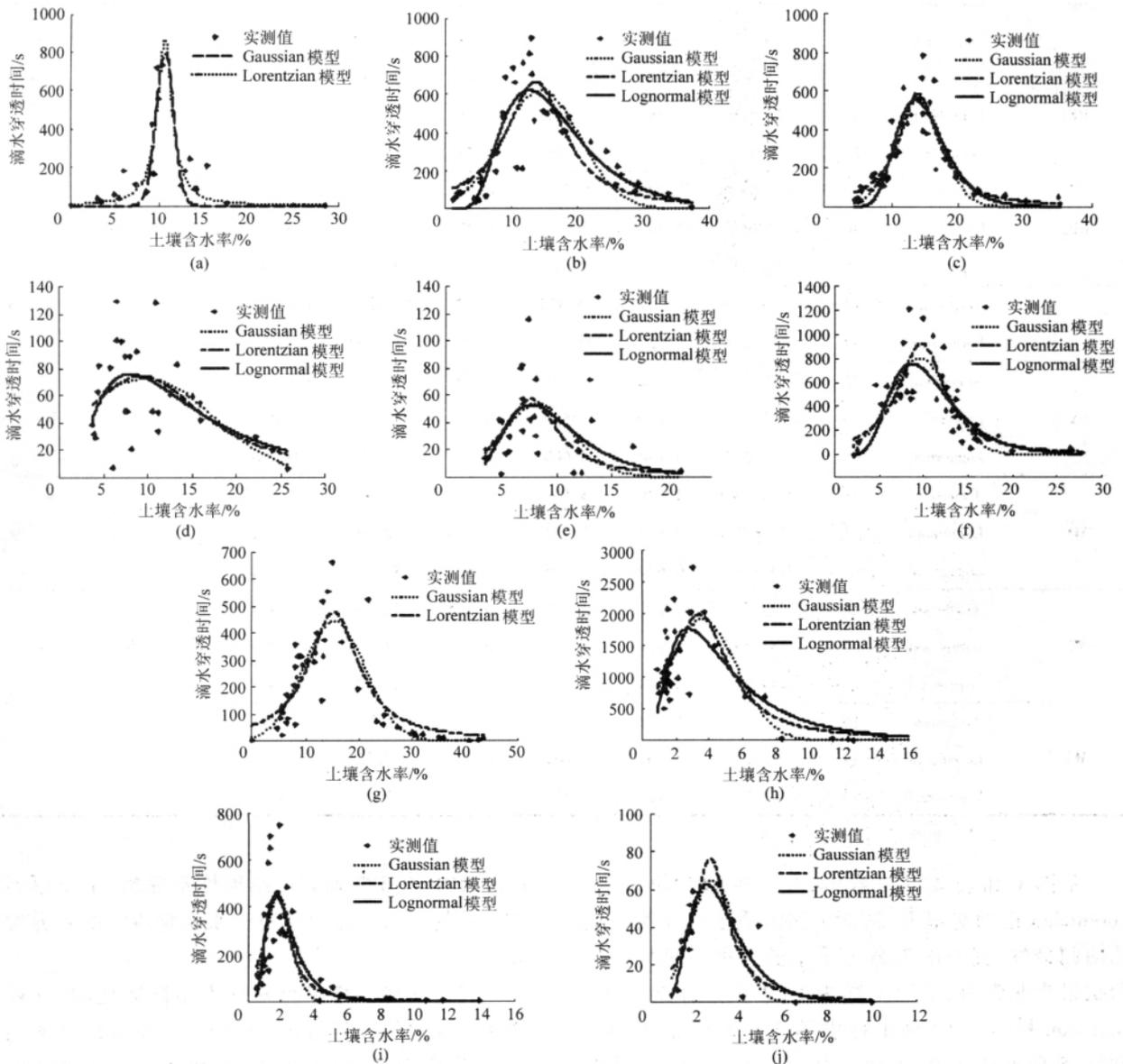


图 1 3 种数学模型回归土壤斥水性对含水率的响应关系

Fig. 1 Regression of WDPT and soil moisture of the three models for ten kinds of soils

(a) B1 (b) B01 (c) B02 (d) BP1 (e) BP2 (f) SY (g) SB (h) M1 (i) M2 (j) M3

变化趋势呈单峰曲线。

3.2 模型回归分析

研究采用 Sigmaplot 统计分析软件对数据进行处理分析。在对 Gaussian 模型、Lorentzian 模型和

Lognormal 模型回归分析时,土壤含水率为自变量,土壤斥水性为因变量,用各模型分别回归各种土壤的斥水性对含水率的响应关系^[13],其回归结果见图1,各回归模型的相关性及显著性分析见表2。

表2 模型对不同土壤回归参数的相关性及其显著性分析

Tab. 2 Regression parameters and test values of the models for soils

土壤代码	模型	样本数	a	b	x_0	R^2	F	P	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$	显著性
B1	Gaussian	23	791.435	0.993	10.568	0.747	30.993	<0.0001		5.78	**
	Lorentzian	23	877.047	1.022	10.551	0.814	45.986	<0.0001			***
B01	Gaussian	48	619.93	5.86	14.51	0.691	51.49	<0.0001			**
	Lorentzian	48	668.11	5.40	13.66	0.691	51.52	<0.0001		5.08	**
	Lognormal	48	621.24	0.45	12.73	0.758	71.98	<0.0001			***
B02	Gaussian	43	552.895	3.502	14.053	0.807	85.940	<0.0001			**
	Lorentzian	43	585.715	3.576	14.021	0.815	90.547	<0.0001		5.17	***
	Lognormal	43	554.157	0.261	13.541	0.786	75.326	<0.0001			**
BP1	Gaussian	28	72.645	7.749	9.698	0.252	4.384	0.0229			*
	Lorentzian	28	74.429	8.785	9.282	0.252	4.387	0.0228	3.37	5.53	*
	Lognormal	28	75.871	0.707	7.966	0.280	5.061	0.0139			*
BP2	Gaussian	30	52.983	3.201	8.256	0.230	4.182	0.0258			*
	Lorentzian	30	57.061	2.884	7.656	0.276	5.332	0.0109	3.34	5.45	*
	Lognormal	30	52.696	0.418	7.641	0.281	5.477	0.0098			*
SB	Gaussian	44	443.893	5.791	15.424	0.727	55.826	<0.0001			***
	Lorentzian	44	475.501	5.726	15.333	0.701	50.298	<0.0001		5.15	***
SY	Gaussian	45	798.720	3.372	9.476	0.703	50.933	<0.0001			***
	Lorentzian	45	925.515	3.133	9.680	0.710	52.567	<0.0001		5.13	***
	Lognormal	45	754.362	0.390	8.609	0.647	39.476	<0.0001			**
M1	Gaussian	41	1913.463	2.070	3.593	0.679	41.311	<0.0001			***
	Lorentzian	41	1993.971	2.167	3.401	0.683	42.093	<0.0001		5.20	***
	Lognormal	41	1766.347	0.676	2.765	0.628	32.915	<0.0001			**
M2	Gaussian	35	446.901	0.795	1.844	0.575	22.288	<0.0001			**
	Lorentzian	35	464.595	0.870	1.777	0.565	21.400	<0.0001		5.32	**
	Lognormal	35	449.592	0.483	1.668	0.620	26.891	<0.0001			***
M3	Gaussian	14	64.787	1.030	2.771	0.560	8.984	0.0041			**
	Lorentzian	14	76.225	0.962	2.682	0.632	10.327	0.0025		6.93	**
	Lognormal	14	62.306	0.421	2.504	0.688	13.216	0.0009			***

注:*** 显著性非常好,** 显著性好,* 显著性一般。

从图1和表2可以看出,在3种数学模型中,Lorentzian模型对壤土、粘性土和砂质土这3类土壤的回归最好,其中这3类土质中的5种土壤样品回归结果为非常好,3种土样为好,2种土样为一般;Gaussian模型对10种土样中的3种回归结果为非常好,5种土样为好,2种土样为一般;Lognormal模型对10种土样中的3种回归结果为非常好,3种土样为好,2种土样为一般,但有2种土样没有回归结果。从图1和表2还可以看出,3种数学模型对粘

性土BP1和BP2回归的结果均不理想,主要原因是该土壤的斥水持续时间对含水率响应时的差异性较大。

经过3种数学模型对3类不同质地的10种土样回归参数的比较得出,土壤斥水性对含水率的响应关系符合Lorentzian模型和Gaussian模型,但Lorentzian模型最优。

依据土壤斥水性对含水率的响应数学模型,可以根据部分土壤斥水性对含水率响应的实测数

据精确计算出土壤斥水性的峰值含水率、峰值斥水性、临界含水率和任一含水率对应的土壤斥水持续时间。现用 Lorentzian 模型对 10 种土样进行回归, 计算各土样的峰值含水率、峰值斥水性以及临界含水率。计算结果见表 3。

表 3 用 Lorentzian 模型回归的几个参数

Tab. 3 Some parameters got by Lorentzian model

土壤代码	回归的峰值含水率 / %	回归的最大斥水持续时间 / s	临界含水率 1 / %	临界含水率 2 / %
B1	10.55	867	0	23.8
BO1	13.66	668	0	40
BO2	14.02	586	0	32.5
BP1	9.28	74	0	28
BP2	7.66	57	0	16.9
SY	9.68	926	3	30
SB	15.33	476	0	40
M1	3.40	1994		25
M2	1.78	465		10
M3	2.68	76		6.3

从表 3 可以看出, 砂质土峰值含水率明显比粘性土和壤土的峰值含水率小。砂质土的峰值含水率在 1% ~ 3.5% 之间, 粘性土和壤土的峰值含水率在

10% ~ 20% 之间。砂质土的临界含水率比粘性土和壤土的也小, 但临界含水率的差异性较大。从表 3 还可看出, 当土壤含水率为 0 时, 粘性土和壤土的斥水持续时间已经小于 5 s, 但砂质土的斥水性仍然存在。从表 1 和表 3 可看出, 同种类型的土壤, 有机质含量越高的, 其最大斥水持续时间也越大, 临界含水率也越大。

4 结论

(1) 通过 3 类土壤的 10 种土样研究得出, 土壤斥水性对含水率的响应关系呈单峰曲线。无论是壤土、粘性土, 还是砂质土, 当土壤含水率在 0 到峰值含水率之间, 随着含水率增加, 土壤斥水性呈增加趋势, 在峰值含水率时土壤斥水性达到最大值; 当土壤含水率大于峰值含水率时, 随着含水率增加, 土壤斥水性逐渐减小, 直至含水率达到临界含水率时, 土壤斥水性消失。

(2) 在 3 种模型中, Lorentzian 模型对不同类型和不同斥水性大小的土壤的回归适应性最好, 可以采用 Lorentzian 模型来拟合斥水性对含水率的响应关系, 并可计算土壤斥水性的峰值含水率、峰值斥水性以及临界含水率等, 为斥水性土壤的改良提供理论依据。

参 考 文 献

- 1 陈俊英, 张智韬, 汪志农, 等. 土壤斥水性影响因素及改良措施的研究进展 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 84 ~ 89. Chen Junying, Zhang Zhitao, Wang Zhinong, et al. Influencing factors and amelioration of soil water repellency [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 84 ~ 89. (in Chinese)
- 2 Doerra S H, Thomash A D. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal [J]. Journal of Hydrology, 2000, 231 ~ 232: 134 ~ 147.
- 3 Carrillo M L K, Letey J, Yates S R. Unstable water flow in a layered soil: effects of a stable water repellent [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64(2): 450 ~ 455.
- 4 Uwe Buczeko, Oliver Bens, Wolfgang Durner. Spatial and temporal variability of water repellency in a sandy soil contaminated with tar oil and heavy metals [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2006, 88(3 ~ 4): 249 ~ 268.
- 5 Bond R D, Harris J R. The influence of the microflora on physical properties of soils. Effects associated with filamentous algae and fungi [J]. Australian Journal of Soil Research, 1964, 2(1): 111 ~ 122.
- 6 King P M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement [J]. Australian Journal of Soil Research. 1981, 19(3): 275 ~ 285.
- 7 Dekker L W, Ritsema C J. How water moves in a water repellent sandy soil potential and actual water repellency [J]. Water Resources Research, 1994, 30(9): 2507 ~ 2517.
- 8 Dekker L W, Ritsema C J. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils [J]. Journal of Hydrology, 2000, 231 ~ 232: 148 ~ 164.
- 9 陈俊英, 张智韬, 杨飞, 等. 土壤斥水性和含水率变化关系的数学模型 [J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(6): 35 ~ 38. Chen Junying, Zhang Zhitao, Yang Fei, et al. Modeling water repellency and water content of a sand soil [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(6): 35 ~ 38. (in Chinese)
- 10 Dekker L W, Ritsema C J, Oostindie K, et al. Effect of drying temperature on the severity of soil water repellency [J]. Soil Science, 1998, 163(10): 780 ~ 796.

(下转第 82 页)

- Jie Xiaolei, Li Youtian, Han Yanlai, et al. Effects of water-retaining agents on water retention properties of soil [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2000, 34(1): 22~24. (in Chinese)
- 19 孙健. 吸水剂对土壤某些物理特性影响的初步研究[J]. 北京林学院学报, 1985(4): 38~44.
Sun Jian. A Preliminary Study on the effects of hygroscopic agents on some physical properties of soil [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1985(4): 38~44. (in Chinese)
- 20 李景生, 黄韵珠. 土壤保水剂的吸水保水性能研究动态[J]. 中国沙漠, 1996, 16(1): 86~91.
Li Jingsheng, Huang Yunzhu. Present status of soil water-holding agent study [J]. Journal of Desert Research, 1996, 16(1): 86~91. (in Chinese)
- 21 马爱生, 刘思春, 吕家珑, 等. 黄土高原地区几种土壤的水分状况与能量水平[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(11): 117~120.
Ma Aisheng, Liu Sichun, Lü Jialong, et al. Moisture characteristics and energy balance of several soils in Loess Plateau [J]. Journal of Northwest A & F University, 2005, 33(11): 117~120. (in Chinese)
- 22 全斌, 陈健飞, 郭成达. 福建赤红壤旱地与红壤旱地水分特性的比较[J]. 土壤与环境, 2001, 10(2): 115~120.
Quan Bin, Chen Jianfei, Guo Chengda. A comparative study on soil water characteristics of lateritic red earth dryland and red earth dryland in Fujian Province [J]. Soil and Environmental Sciences, 2001, 10(2): 115~120. (in Chinese)
-

(上接第 67 页)

- 11 吴延磊, 李子忠, 龚元石. 两种常用方法测定土壤斥水性结果的相关性研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 8~13.
Wu Yanlei, Li Zizhong, Gong Yuanshi. Correlation of soil water repellency measurements from two typical methods [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 8~13. (in Chinese)
- 12 Charland M Brent. Sigmaplot for scientists [M]. Boston: Wm. C. Brown, 1995.
- 13 李春喜, 姜丽娜, 邵云, 等. 生物统计学 [M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2005.
- 14 任鑫, 李毅, 李敏, 等. 次生盐渍土垂向剖面斥水性及其与理化性质关系 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 58~64.
Ren Xin, Li Yi, Li Min, et al. Relationship between soil water repellency and soil physical-chemical properties for vertical profiles in secondary saline field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 58~64. (in Chinese)