

基于季节特征的土壤退墒模型建立与率定

陈学珍, 马琳

(河南省南阳水文水资源勘测局, 河南 南阳 473000)

摘要:利用河南省南阳市 2011—2015 年 12 个墒情站的土壤水分监测资料, 分析研究了无增墒情况下土壤含水量消退规律, 构建出基于不同季节(夏季、春秋季节与冬季)的土壤含水量与衰减系数的数学模型, 运用规划求解法率定模型参数, 并利用 2016—2017 年资料对模型进行检验。结果表明, 不同季节土壤水分衰减系数模型分别为 $\alpha = 1.023(1 - \omega^2/4353)^{1/2}$ (夏季)、 $\alpha = 1.013(1 - \omega^2/7005)^{1/2}$ (春秋季节) 与 $\alpha = 1.008(1 - \omega^2/9303)^{1/2}$ (冬季), 所建立的数学模型适用于南阳市相应季节壤土与粘壤土小麦、水稻与休闲地土壤旱情预测, 但不适用于夏季与春秋季节砂土特别是休闲地砂土土壤墒情预测。

关键词:土壤退墒曲线; 模型构建; 参数率定; 土壤类型; 土壤墒情预测; 南阳市

中图分类号:S152.7 **文献标志码:**A

Modeling and verification of soil moisture recession curves based on seasonal variation

CHEN Xuezheng, MA Lin

(Nanyang Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Henan Province, Nanyang, Henan 473000, China)

Abstract: Soil moisture data collected between 2011 and 2015 from 12 soil moisture monitoring stations in Nanyang, Henan, were used to analyze the decreasing pattern of soil moisture content without water input. Based on these data, a soil moisture recession model was constructed and the parameters were calibrated by programming solver. After being examined with soil moisture data from 2016–2017, it was found that the parameters of the model were $\alpha = 1.023(1 - \omega^2/4353)^{1/2}$, $\alpha = 1.013(1 - \omega^2/7005)^{1/2}$, and $\alpha = 1.008(1 - \omega^2/9303)^{1/2}$ for summer, spring-autumn, and winter, respectively. The results suggested that the proposed model can be used to describe the decreasing pattern of soil moisture for clay and loam soil in farmland for fallow and planting wheat or rice, but not suitable for drought prediction in summer and spring-autumn for fallow sandy soil.

Keywords: soil moisture recession curve; modeling; parameter calibration; soil type; soil moisture forecast; Nanyang City

干旱是影响农业生产的严重自然灾害^[1-2]。土壤墒情是判断植物受干旱程度的重要指标, 土壤墒情状况直接影响作物的正常生长及其产量、产品的形成。因此, 快速、准确地预报农田土壤水分含量, 对于探明作物生长发育期内土壤水分盈亏, 选择合适的土壤水分管理措施, 做出相应的抗旱决策, 最终实现农业的高产、高效与优质具有重要意义。尤其在全球气候变化的背景下, 以旱灾为主的灾害性气候发生频率与强度不断增加, 对农田土壤旱情进

行准确预测以及对灾害预警的需求更为迫切。

早在 20 世纪 70 年代, 国外已开始了关于土壤墒情监测预报的研究, 至 80 年代末土壤墒情预报得到迅速发展^[3-4]。为了加强我国土壤墒情预报研究, 水利部 2007 年颁布了《土壤墒情监测规范》, 并在全国开始建设墒情监测站网。然而, 截止目前, 仅黑龙江、吉林、安徽等省建成墒情信息管理系统, 开展了比较规范的墒情监测预报。土壤墒情受气候(降水、气温、风)^[5-6]、灌溉、土壤质地、地形地

势^[7-8]、作物种类及其栽培模式^[9]等诸多因素控制,因此,综合考虑上述因素建立相应模型进行土壤墒情预报是一项极其艰难的工作。由于干旱是目前我国农业生产面对的最普遍、最严重的自然灾害之一,为了最大限度降低旱灾所带来的负面影响,对土壤墒情进行预测与旱灾预防工作一直是旱地农业工作者的主要研究目标之一。然而,许多土壤墒情预测模型如神经网络模型法^[10]、水分动态预测模型^[11]、时间序列法^[12]、综合模型法^[7]、移动统计法^[8]、差减统计法^[13]、遥感监测法^[14]、远程预报^[15]等,或建模与使用复杂,或需要比较先进的技术,而我国地域辽阔,各地旱情特征表现不尽相同,开展旱情预测时需要动员地方农业工作者参与,对旱情预测模型的终极使用者,即地方农业工作者而言,旱情预测模型使用方便、简捷是第一要求,土壤退墒模型就具备这一特征^[16]。

本文以河南省南阳市为例,利用水利部在该市建立的 12 个土壤墒情监测站 2011—2015 年实测的土壤水分数据,建立夏、冬及春秋 3 个不同季节的退

墒模型,利用 2016—2017 年两年实测值对模型预测值进行验证,明确退墒模型在本区的实用性,以期为南阳市土壤墒情监测与预报提供一定科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

南阳市位于河南省西南部、豫鄂陕三省交界处,为三面环山、南部开口的盆地,总面积 2.65 万 km²,地处亚热带向温带的过渡地带,年均气温 15.7℃,多年平均降水量 826.7 mm,多年水平平均蒸发量为 844.5 mm,降水多发生在 6—9 月,存在较大时空差异。虽属大陆湿润半湿润季风气候,但干旱年年发生,近年来旱情成灾频率呈上升趋势。

水利部在河南省南阳市共设立了 12 个土壤墒情监测站点,各监测点基本信息如表 1 所示。监测站土壤类型有壤土、粘壤和沙壤 3 种,种植模式包括冬小麦-夏杂粮(每年 10 月初播种,次年 6 月上旬收获)、冬小麦-夏水稻(每年 6 月上旬栽种,当年 9 月底至 10 月初收获)与休闲等 3 种。

表 1 南阳市墒情站基本信息

Table 1 The basic information of soil moisture observation stations in Nanyang City

序号 Number	站名 Site	站址 Situation of observation station	坐标 Coordinates		土壤类型 Type of soil	作物种类 Type of crops
			东经 East longitude	北纬 Northern latitude		
1	荆紫关 Jingziguan	淅川县荆紫关镇王坪村 Hanwangping village in Xichuan County	111°01'	33°15'		小麦 Wheat
2	赵湾 Zhaowan	镇平县二龙乡棠梨树村 Tanglishu village of Zhenpin County	112°10'	33°10'		水稻 Rice
3	内乡 Neixiang	内乡县城关镇花园村 Huayuan village of Neixiang County	111°51'	33°03'	壤土 Loam	
4	新野 Xinye	新野县城郊乡西乱村 Xiluan village of Xinye County	112°21'	32°32'		小麦 Wheat
5	望花亭 Wanghuating	方城县望花亭水库 Wanghua reservoir of Fangcheng County	113°03'	33°12'		
6	平氏 Pingshi	桐柏县埠江镇前埠村 Qianbu village of Tongbai County	113°03'	32°33'		
7	西峡 Xixia	西峡县五里桥乡黄湾村 Huangwan village of Xixia County	111°29'	33°16'		休闲 Fallow
8	白土岗 Baitugang	南召县白土岗乡白河店村 Baihedian village of Nanzhao County	112°24'	33°26'	粘壤 Clay	
9	社旗 Sheqi	社旗县城郊乡大朱营村 Dazhuying village of Sheqi County	112°58'	33°01'		小麦 Wheat
10	唐河 Tanghe	唐河县城关镇西关村 Xiguan village of Tanghe County	112°49'	32°42'		
11	南阳 Nanyang	南阳市宛城区白河镇盆窑村 Penyao village of Nanyang city	112°37'	33°01'	沙壤 Sandy soil	小麦 Wheat
12	淅滩 Jitan	邓州市淅滩镇廖寨村 Liaozhai village of Dengzhou city	112°16'	32°41'		休闲 Fallow

1.2 材料及来源

1.2.1 土壤含水量 自2011年1月1日起,每月上、中、下旬的第1日分别在12个墒情站采集0~10 cm、10~20 cm与20~40 cm土层样品,采用105℃烘干法测定土壤含水量,其计算公式为:

$$\omega = w_{\omega} / w_s \times 100 \quad (1)$$

式中, ω 为土壤重量含水量(%); w_{ω} 与 w_s 分别为土壤样品中水分重量与干土重量。

采用加权法计算土壤0~40 cm平均含水量,0~10 cm、10~20 cm与20~40 cm对应权重分别为3/8、3/8与1/4。

1.2.2 降雨资料 降雨资料取自12个墒情监测站,各监测站自2011年开始执行规范监测,保存有2011年1月1日至今的完整降雨资料。

1.3 研究方法

1.3.1 模型选择 本研究选用土壤退墒模型^[16-17],该模型基于蒸发原理,在无雨天气下0~40 cm耕层土壤含水量随土壤水分蒸散而逐渐降低,土壤水分蒸散量与土壤含水量呈正比,可利用API模型的前期影响雨量计算方法算出土壤耕层含水量消退量,计算公式为:

$$\omega_{t+n} = (\alpha_{t+1} \alpha_{t+2} \cdots \alpha_{t+n}) \omega_t \quad (2)$$

式中, ω_{t+n} 为第 $t+n$ 日土壤含水量; ω_t 为第 t 日土壤含水量; $\alpha_{t+1} \sim \alpha_{t+n}$ 为 $t+1 \sim t+n$ 日的衰减系数。理论上受土壤含水量及气象条件的影响,每日的衰减系数均不相同,但现实中很少通过人工法对每日的土壤含水量进行测定。由于土壤含水量具有时间相关性,分析时可以假设连续两次监测土壤含水量间隔时段内每日的衰减系数相同,故式(2)可简化为:

$$\omega_{t+n} = \alpha^n \omega_t \quad (3)$$

式中, α 为 $t+1 \sim t+n$ 日的平均衰减系数, α 值与土壤初始含水量间呈负相关关系,初始含水量越高,土壤水分蒸散速率越大,而土壤含水量衰减越快,衰减系数越小,反之亦然。当土壤初始含水量接近或达到凋萎系数时,土壤含水量变化基本处于稳定状态,此时,衰减系数趋近甚至等于1。

1.3.2 模型建立与参数率定

(1) 计算衰减系数。选取南阳市12个墒情监测站2011年1月1日至2015年12月21日期间的干旱连续无降水时段,根据人工取样实测土壤含水量的日期,计算出相邻两次监测的间隔天数,根据式(3),计算间隔 n 天内的衰减系数为:

$$\alpha = (\omega_{t+n} / \omega_t)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

(2) 退墒模型建立。利用公式4计算出2011年1月1日至2015年12月21日期间不同监测时段的

衰减系数。由于衰减系数受气温因素影响最为严重,为了避免干扰、提高预测的准确性,根据气象条件将一年划分成夏季、春秋与冬季3个时段,将计算所得衰减系数分为春秋(3—5月,9—11月)、夏季(6—8月)、冬季(12—2月)3组,分别与对应的含水量进行回归分析,建立衰减系数与土壤含水量间的相关关系——土壤退墒模型。

衰减系数与土壤含水量呈椭圆型函数关系,其表达式为:

$$\alpha = a(1 - \omega^2/b)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

式中, a 与 b 均为常数。

(3) 退墒模型验证。由于2018年一些监测点数据不完整,本研究利用2016—2017年数据对模型进行验证。即利用土壤退墒模型计算出南阳市不同墒情监测站2016—2017年夏季、春秋与冬季不同时段土壤含水量,并与同时段同一站点实测值进行比较,根据差值对所建立的土壤退墒模型的可靠性进行验证与评价。

2 结果与讨论

2.1 模型建立

为了避免气候对退墒模型的影响,通常对不同季节分别建模。将12个墒情站数据不分地点、土壤类型及作物种类混合在一起,按照夏、春秋与冬季进行分类,利用土壤退墒模型(公式(5))分别对夏季、春秋及冬季土壤含水量与衰减系数进行回归分析,拟合出南阳市不同季节土壤退墒模型中常数 a 与 b 值,结果如表2所示。

由表2可知,所有季节退墒曲线 R^2 均大于0.65($P < 0.01$),说明土壤退墒模型可以描述南阳市监测点土壤水分损失。夏季 R^2 小于春秋与冬季,可能是由于夏季气温高,土壤水分蒸发与作物蒸腾作用强烈使得衰减系数与土壤水分间的关系产生较大波动。比较不同季节 a 、 b 值可知,夏季 a 值最高,冬季最低; b 值规律则正好相反,冬季最高,夏季最低。

表2 南阳市不同季节退墒曲线参数拟合值

Table 2 The fitting parameter of soil moisture recession curve in Nanyang

季节 Season	模型参数 Parameters of the model		R^2
	a	b	
夏 Summer($n=38$)	1.023	4353	0.6842
春秋 Spring and autumn($n=79$)	1.013	7005	0.7332
冬 Winter($n=44$)	1.008	9303	0.9013

说明 a 值与 b 值均受季节影响,可能是由于不同季节土壤水分损失强度不同所致, a 值与气温呈正相关,而 b 值与气温呈负相关关系。

最终所得不同季节土壤水分衰竭系数模型分别为:

$$\text{夏季: } \alpha = 1.023(1 - \omega^2/4353)^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{春秋季节: } \alpha = 1.013(1 - \omega^2/7005)^{1/2} \quad (7)$$

$$\text{冬季: } \alpha = 1.008(1 - \omega^2/9303)^{1/2} \quad (8)$$

模型显示衰减系数 α 与土壤含水量 ω 呈负相关关系,根据土壤水分衰竭系数 α 及土壤初始含水量 ω_0 ,即可利用式(3)对未来某时间点的土壤含水量进行预测。

2.2 土壤含水量预测

将 12 个墒情站 2016—2017 年夏季、春秋季节与冬季土壤含水量分别带入到模型(6)、(7)与(8)中,计算出相应的衰减系数,利用公式(3)预测出各墒情站不同季节连续无降雨时间土壤水分状况,并与同期实测土壤含水量进行比较,对模型预测的准确性进行验证。由于所有监测站每 10~11 d 测定一次土壤含水量,符合连续 10~11 d 无降水条件的

数据并不多,2016—2017 年符合条件的数据仅 75 组,夏季、春秋季节与冬季分别为 23、29 与 23 组。对所有不同季节土壤含水量预测值及与实测值的差异如表 3~5 所示。

由表 3 可知,利用模型(6)及公式(3)对 2016—2017 年夏季所有质地为壤土与粘土的墒情站土壤含水量预测结果显示,与实测值误差最大为 2017 年 7 月 1 日的唐河站(绝对误差为 1.7%),所有结果均符合我国土壤墒情监测规范(绝对误差 < 2%)的精度范围,说明该模型适用于南阳市夏季壤土与粘土质地,且不受种植类型的影响,可以对南阳市夏季壤土与粘土质地小麦田、水稻田(旱稻)及休闲地(有杂草生长)土壤墒情进行预测。

然而,对两个土壤质地为砂土的墒情站(南阳与谯滩)土壤墒情预测显示,砂土质地种植小麦的南阳站土壤水分预测结果与实测值差异在我国土壤墒情监测规范范围内;谯滩站休闲地 3 次预测结果与实测值误差均大于 3.0%,最高可达 5.3%。说明模型(6)会高估砂质休闲地土壤含水量,不适合用于预测夏季砂质休闲地土壤墒情。

表 3 南阳市夏季土壤含水量预测及验证

Table 3 Prediction and verification for soil water content of summer in Nanyang

站点 Site	土壤 Type of soil	作物 Crop	初始日期 Initial date (y-m-d)	含水率 Water content /%	衰减系数 Attenuation factor	预测日期 Forecast date (y-m-d)	预测值 Forecast value/%	实测值 Actual value/%	绝对误差 Absolute value/%
荆紫关 Jingziguan		小麦	2016-06-11	19.7	0.9763	2016-06-21	15.5	16.1	-0.6
		Wheat	2017-06-11	19.3	0.9783	2017-06-21	15.5	15.0	0.5
		水稻	2017-08-01	22.1	0.9639	2017-08-11	15.3	16.0	-0.7
赵湾 Zhaowan		Rice	2016-07-01	21.0	0.9698	2016-07-11	15.5	16.7	-1.2
			2016-08-11	21.5	0.9672	2016-08-21	15.4	14.5	0.9
内乡 Neixiang	壤土 Loam		2016-06-11	17.9	0.9846	2016-06-21	15.3	13.8	1.5
			2017-06-11	21.2	0.9688	2017-06-21	15.4	15.0	0.4
新野 Xinye		小麦	2017-06-11	23.0	0.9588	2017-06-21	14.5	14.8	-0.3
		Wheat	2017-07-21	20.8	0.9708	2017-08-01	15.5	16.2	-0.7
			2017-08-11	22.6	0.9611	2017-08-21	14.6	14.6	0.0
望花亭 Wanghuating			2016-07-21	23.2	0.9577	2016-08-01	15.1	14.9	0.2
			2017-06-11	22.6	0.9611	2017-06-21	15.2	15.1	0.1
西峡 Xixia		休闲	2017-06-11	22.5	0.9617	2017-06-21	14.6	14.5	0.1
		Fallow	2016-08-11	23.7	0.9547	2016-08-21	14.9	16.2	-1.3
唐河 Tanghe	粘土 Clay		2017-06-21	16.5	0.9905	2017-07-01	15.0	13.3	1.7
		小麦	2016-06-01	19.1	0.9792	2016-06-11	15.5	14.6	0.9
白土岗 Baitugang		Wheat	2016-08-11	20.0	0.9749	2016-08-21	15.5	14.3	1.2
			2016-06-11	19.4	0.9778	2016-06-21	15.5	15.8	-0.3
社旗 Sheqi			2016-07-21	21.1	0.9693	2016-08-01	15.0	15.7	-0.7
			2017-06-11	21.7	0.9661	2017-06-21	15.4	16.5	-1.1
南阳 Nanyang	砂土 Sandy soil	小麦	2016-06-11	21.2	0.9688	2016-06-21	15.4	11.8	3.6
		Wheat	2016-07-21	20.4	0.9729	2016-08-01	15.1	9.8	5.3
谯滩 Jitan		休闲	2016-07-21	20.4	0.9729	2016-08-01	15.1	9.8	5.3
		Fallow	2017-08-11	17.3	0.9872	2017-08-21	15.2	11.9	3.3

表 4 南阳市春秋季土壤含水量预测及验证

Table 4 Prediction and verification for soil water content of spring and autumn in Nanyang

站点 Site	土壤 Type of soil	作物 Crop	初始日期 Initialdate (y-m-d)	含水率 Water content /%	衰减系数 Attenuation factor	预测日期 Forecast date (y-m-d)	预测值 Forecast value/%	实测值 Actual value/%	绝对误差 Absolute value/%	
荆紫关 Jingziguan		小麦	2017-03-01	15.5	0.9955	2017-03-11	14.8	13.3	1.5	
		Wheat	2017-09-11	23.6	0.9719	2017-09-21	17.7	17.4	0.3	
赵湾 Zhaowan		水稻	2016-03-11	19.1	0.9863	2016-03-21	16.6	16.2	0.4	
		Rice	2016-10-01	25.5	0.9648	2016-10-11	17.8	17.7	0.1	
内乡 Neixiang			2017-04-21	20.4	0.9824	2017-05-01	17.1	17.8	-0.7	
			2017-09-11	21.6	0.9787	2017-09-21	17.4	17.4	0.0	
新野 Xinye	壤土 Loam		2016-10-01	27.4	0.9572	2016-10-11	17.7	18.6	-0.9	
			2017-05-11	22.8	0.9747	2017-05-21	17.6	18.7	-1.1	
望花亭 Wanghuating		小麦	2016-03-11	24.7	0.9679	2016-03-21	17.8	18.6	-0.8	
		Wheat	2017-03-01	24.0	0.9705	2017-03-11	17.8	18.3	-0.5	
			2017-04-21	21.0	0.9806	2017-05-01	17.3	17.4	-0.1	
平氏 Pingshi			2016-04-21	23.9	0.9708	2016-05-01	17.8	19.2	-1.4	
			2017-04-11	23.4	0.9726	2017-04-21	17.7	17.8	-0.1	
西峡 Xixia		休闲 Fallow	2016-04-11	17.8	0.9898	2016-04-21	16.1	14.4	1.7	
			2017-05-11	16.1	0.9941	2017-05-21	15.2	13.8	1.4	
			2017-09-01	22.2	0.9767	2017-09-11	17.5	16.4	1.1	
唐河 Tanghe		粘土 Clay	2016-03-11	19.0	0.9866	2016-03-21	16.6	16.6	0.0	
				2017-10-21	21.6	0.9787	2017-11-01	17.0	17.2	-0.2
白土岗 Baitugang		小麦 Wheat	2017-05-01	20.9	0.9809	2017-05-11	17.2	17.6	-0.4	
				2017-10-01	23.2	0.9733	2017-10-11	17.7	19.6	-1.9
社旗 Sheqi			2016-03-11	21.9	0.9777	2016-03-21	17.5	17.4	0.1	
			2016-09-01	16.4	0.9934	2016-09-11	15.3	13.5	1.8	
			2017-03-01	21.8	0.9780	2017-03-11	17.5	18.4	-0.9	
南阳 Nanyang		小麦 Wheat	2016-04-01	21.7	0.9784	2016-04-11	17.4	17.1	0.3	
				2017-10-21	24.1	0.9701	2017-11-01	17.3	17.6	-0.3
				2016-03-11	19.3	0.9857	2016-03-21	16.7	15.9	0.8
淅滩 Jitan	砂土 Sandy soil	休闲 Fallow	2016-10-01	15.1	0.9964	2016-10-11	14.6	11.3	3.3	
				2017-03-01	15.3	0.9959	2017-03-11	14.7	10.7	4.0
				2017-05-01	16.0	0.9943	2017-05-11	15.1	10.8	4.3

表 4 显示,利用模型(7)及公式(3)对 2016—2017 年春秋季所有质地为壤土与粘土的墒情站土壤含水量预测结果显示,所有 23 个预测值与实测值间的绝对差异均在我国土壤墒情监测规范 2% 的精度范围,只是有 3 个预测值(西峡站 2016 年 4 月 21 日、白土岗站 2017 年 10 月 11 日与社旗站 2016 年 9 月 11 日)与实测值差值大于 1.5%。与夏季结果相似,模型(7)适用于南阳市春秋季壤土与粘土质地,且不受作物种植类型的影响,可以对南阳市春秋季壤土与粘土质地小麦田、水稻田(旱稻)及休闲地(有杂草生长)土壤墒情进行预测。

同样,淅滩站休闲地 4 次预测结果中有 3 次与实测值误差大于 3.0%,最高为 4.3%,而砂土质地小麦植被的南阳站土壤水分预测结果与实测值差异在我国土壤墒情监测规范范围内。说明模型(7)会高估休闲砂质土壤含水量,不适合用于预测春秋季砂土质地的休闲地土壤墒情。

表 5 显示,利用模型(8)及公式(3)对 2016—2017 年冬季 3 种质地、3 种植类型土壤含水量 23

次预测结果与实测值差值均小于 2.0%,符合我国土壤墒情监测规范精度范围,说明土壤退墒模型对冬季土壤墒情预测时实用范围较广,受土壤质地、作物种植类型的影响较小。

土壤退墒模型仅可对未来连续无降水土壤墒情的预测,但土壤墒情预测的初衷本是针对连续无降水土壤旱情的预警。土壤水分蒸发受气温、大气相对湿度、土壤类型及作物种类等因素的控制,因此土壤退墒模型参数可能会受季节气温、大气相对湿度、土壤类型及作物种类影响。气温及大气相对湿度的影响可以通过分季节建模加以消除^[16],而土壤类型及作物种类对土壤退墒模型参数的影响尚未见报道。可以确定的是,我国大多数地区非单一土质且同时生产多种作物,若对土壤与作物进行分类建模,势必使得建模工作变得庞杂而影响应用,从而背离了方便工作的建模初衷。但根据土壤退墒模型在南阳市 12 个监测点 3 种土壤类型及 3 种植类型的应用情况来看,除夏季与春秋季淅滩监测站砂土休闲地,其他条件站点利用土壤退墒模型

表 5 南阳市冬季土壤含水量预测及验证

Table 5 Prediction and verification for soil water content of winter in Nanyang

站点 Site	土壤 Type of soil	作物 Crop	初始日期 Initialdate (y-m-d)	含水率 Water content /%	衰减系数 Attenuation factor	预测日期 Forecast date (y-m-d)	预测值 Forecast value/%	实测值 Actual value/%	绝对误差 Absolute value/%
荆紫关 Jingziguan		小麦 Wheat	2016-01-21 2016-12-21	17.5 21.1	0.9913 0.9836	2016-02-01 2017-01-01	16.0 17.6	16.8 19.0	-0.8 -1.4
赵湾 Zhaowan		水稻 Rice	2016-01-11 2016-12-01	17.3 22.5	0.9917 0.9802	2016-01-21 2016-12-11	15.9 18.4	15.5 20.3	0.4 -1.9
内乡 Neixiang	壤土 Loam		2016-12-01 2017-12-01	19.5 19.0	0.9872 0.9882	2016-12-11 2017-12-11	17.1 16.9	17.8 17.6	-0.7 -0.7
望花亭 Wanghuating		小麦 Wheat	2016-01-21 2017-12-01	19.9 23.8	0.9863 0.9768	2016-02-01 2017-12-11	17.1 18.8	17.8 20.6	-0.7 -1.8
平氏 Pingshi			2016-01-11 2017-12-01	18.0 18.9	0.9903 0.9885	2016-01-21 2017-12-11	16.3 16.8	15.9 17.9	0.4 -1.1
西峡 Xixia		休闲 Fallow	2017-01-21 2017-12-01	19.3 16.8	0.9876 0.9926	2017-02-01 2017-12-11	17.0 15.6	17.7 15.6	-0.7 0.0
唐河 Tanghe	粘土 Clay		2016-01-11 2017-01-11	20.4 19.3	0.9852 0.9876	2016-01-21 2017-01-21	17.6 17.0	17.6 17.8	0.0 -0.8
白土岗 Baitugang		小麦 Wheat	2016-12-21 2017-02-01	18.9 18.4	0.9885 0.9895	2017-01-01 2017-02-11	16.6 16.6	16.1 17.6	0.5 -1.0
社旗 Sheqi			2016-01-11 2017-01-11	18.7 23.8	0.9889 0.9768	2016-01-21 2017-01-21	16.7 18.8	16.4 20.1	0.3 -1.3
南阳 Nanyang	砂土 Sandy soil	小麦 Wheat	2016-02-01 2016-12-11 2017-02-01	22.1 23.3 12.7	0.9812 0.9781 0.9992	2016-02-11 2016-12-21 2017-02-11	18.3 18.7 12.6	19.7 19.8 11.9	-1.4 -1.1 0.7
淅滩 Jitan		休闲 Fallow	2016-01-11 2017-02-01	15.9 17.5	0.9942 0.9913	2016-01-21 2017-02-11	15.0 16.0	14.0 16.8	1.0 -0.8

对土壤含水量预测均可获得可靠的结果。夏季与春秋土壤退墒模型无法准确预测淅滩站砂质休闲地土壤墒情可能由于在进行模型拟合时,仅有 2 个站点为砂土,模型涵盖了较少的砂土信息;另外,夏季及春秋季节气温较高,一方面砂土水分蒸发量远远高于壤土与粘土,另一方面砂土毛管孔隙少,40 cm 以下土壤水分不易上移,致使利用退墒模型预测含水量高于实际含水量,说明砂土实际蒸发量远高于模型预测蒸发量。但同为砂土质地,种植小麦后(南阳市)一方面小麦的遮阴及小麦秸秆的保水作用降低了砂土裸地的水分的强烈蒸发作用,另一方面小麦根系可将 40 cm 以下土壤水分带至 0~40 cm 土层,一定程度上弥补了该层土壤蒸发损失,从而减少了土壤水分的蒸发损失。

模型的可靠性与数据量有关,数据量越多,模型越可靠。作为水利部土壤墒情监测站点,南阳市 12 个站已积累了 8 年多的数据,是准确建立退墒模型的基础。因此,相比其他干旱预测模型,退墒模型参数少、各项参数获取方法简单,仅仅利用长期土壤水分监测资料即可计算模型参数,适合地方农业工作者使用。2007 年水利部在全国各地开展的

墒情监测站点建设,积累了丰富的土壤水分与气象资料,为土壤退墒模型的建立提供了方便。

3 结 论

土壤退墒模型是一种适合用于对未来连续无雨条件下的墒情预测方法,其建模简单,通过回归分析拟合出土壤水分衰竭系数 $\alpha = a(1 - \omega^2/b)^{1/2}$ 中的参数 a 、 b 值后,测定某一时间的土壤含水量,即可对未来连续无雨条件下任意时刻的土壤墒情进行预测。本文利用南阳市 12 个墒情监测站 2011 年至 2016 年的土壤含水量数据拟合出的不同季节土壤水分衰竭系数模型分别为 $\alpha = 1.023(1 - \omega^2/4353)^{1/2}$ (夏季)、 $\alpha = 1.013(1 - \omega^2/7005)^{1/2}$ (春秋季节)与 $\alpha = 1.008(1 - \omega^2/9303)^{1/2}$ (冬季),其 R^2 均大于 0.65 ($P < 0.01$)。利用 2016—2017 年土壤含水量数据对 12 个监测站不同季节退墒模型预测结果验证后发现,除淅滩站砂质休闲地,其他站点土壤含水量预测值与实测值差值均低于我国土壤墒情监测规范 2% 的精度范围,说明土壤退墒模型可以对南阳市粘质与壤质农田不同植被土壤墒情进行预测。