

比值统计法土壤墒情诊断模型

郑宏艳¹ 丁 健¹ 侯显达² 侯彦林^{1,2*} 米长虹¹ 黄治平¹ 刘书田^{1,2} 王铄今²

(¹农业部环境保护科研监测所, 天津 300191; ²北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室(广西师范学院), 广西地表过程与智能模拟重点实验室(广西师范学院), 南宁 530001)

摘 要 本文介绍了研发的基于时段降水量和土壤初始含水量的比值统计法土壤墒情诊断模型的原理和建模方法, 并应用 7 个省 23 个县 87 个监测点 2012—2014 年的数据建模, 应用 2015 年的数据进行了验证。结果表明: 比值统计法诊断模型的预测精度较高, 达到 80% 以上; 比值统计法诊断和预测合格率较高的主要原因是模型参数都是数据挖掘的结果而非人为确定; 逐日模型法可以实现逐日土壤墒情的预测。研究表明, 比值统计法模型可以单独作为墒情诊断模型使用。

关键词 土壤含水量; 降水量; 时段模型; 逐日模型; 验证

Ratio statistical diagnostic model of soil moisture. ZHENG Hong-yan¹, DING Jian¹, HOU Xian-da², HOU Yan-lin^{1,2*}, MI Chang-hong¹, HUANG Zhi-ping¹, LIU Shu-tian^{1,2}, WANG Shuo-jin² (¹Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China; Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf (Guangxi Teachers Education University); Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation (Guangxi Teachers Education University), Nanning 530001, China).

Abstract: The principle and modeling method of ratio statistical diagnostic model of soil moisture based on time-period precipitation and initial soil water content were introduced. Models were established by the data of 87 monitoring sites in 23 counties in 7 provinces during 2012–2014, and validated by the data of 2015. The results showed that the ratio statistical diagnostic model had high qualification rate (>80%) in diagnosis and prediction. The main reason for the high qualification rate of diagnosis and prediction was that the model parameters were the results of data mining, not determined by human. Daily time series model can predict daily soil water. The results indicated that the ratio statistical diagnostic model could be used alone as a soil moisture diagnosis model.

Key words: soil water content; precipitation; time interval model; daily time series model; verification.

土壤墒情是作物根系分布层土壤水分的分布状况, 即土壤含水量状况, 直接影响着作物的生长发育和产量、品质的形成, 它是确定灌溉的主要依据之一(张忠等, 2007)。土壤含水量与多种因素有关, 如降雨量(何其华等, 2003; 周景春等, 2007; 贾东于等,

2014; 杨开甲等, 2015)、地形(赵晓光等, 1999; 吴希媛等, 2006)、质地(李富翠, 2015)、有机质含量(Hudson *et al.*, 1994; 刘沛松, 2008; 张欢, 2012)等, 因此这些因素也影响土壤墒情监测。目前, 国内土壤墒情预报模型和方法大致有: 土壤水平衡模型(李明生等, 2005; 张雪飞, 2013)、土壤水分动力学模型(邵明安等, 1987; 康绍忠等, 1987; 罗毅等, 2000)、遥感监测法(李亚春, 2000)、神经网络模型(程殿龙等, 2002; 李文峰, 2013)及经验公式法(孙秀邦等, 2007; 孔凡忠等, 2008)等。

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(农业部环境保护科研监测所)资助项目(2015-szjj-zhy)、“中国农业科学院科技创新工程”项目(2016-cxgc-hyl)、广西科技开发项目(14125008-2-24)和天津市科技支撑计划项目(15ZCZDNC00700)资助。

收稿日期: 2017-03-15 接受日期: 2017-08-26

* 通讯作者 E-mail: 2483977138@qq.com

传统的经验法实质上是统计法,经验法原理是用影响土壤水分的因素(如降雨量、饱和差、日平均气温等)建立经验模型的方式来进行土壤墒情诊断和预报的方法。经验公式法具有建模简单、所需数据量少的特点;但其模型系数易受时空分布的影响,适用范围小,模型不利于推广应用,预报结果稳定性和可靠性差,一个地区建立的经验公式只能适用于这个特定的地区和特定的作物,模型不利于推广应用。

本文介绍所建立的比值统计法土壤墒情诊断模型的原理、建模方法及其应用。所建立的比值统计法诊断模型为 $P_{(i+1)}/P_i = a \cdot P_i + b \cdot P_w + c$, 它与前文所介绍的统计法不同的是因变量用土壤含水量的比值表示,自变量没有 $P_i \cdot P_w$ 的乘积即交互作用;本质上与传统的经验法的表达式基本一致(因变量使用比值表示),只是变量的含义不同,求解方法不同。

1 材料与方法

1.1 数据来源

土壤墒情监测数据是从农业部节水处全国土壤墒情监测网上获得的(<http://123.127.160.49:8080/mm/login/login.jsp>)。土壤墒情监测数据包括:日期,即监测年月日,一般每隔 15 d 测定 1 次土壤含水量;分 0~20 和 20~40 cm 两层(本次只使用 0~20 cm 数据)测定的含水量数据;部分监测点有初始时测定的土壤容重数据。降水量数据是从就近的国家标准气象站获得的历史上每天降水量的数据(<http://data.cma.cn/>)。

用于模型分析验证的监测点为 87 个,分布为:东北地区的吉林省 3 个县、市、区 6 个监测点;西北地区的甘肃省 2 县、市、区 13 个监测点;华北地区的内蒙古区 5 个旗、县、市、区 19 个监测点,山西省 2 个县、市、区 16 个测点,河北省 3 个县、市、区 14 个监测点;华中地区的河南省 3 个县、市、区 7 个监测点,湖南省 4 个县、市、区 12 个监测点(湖南省为南方唯一验证的省份)。为了节省篇幅,各监测点原始数据只以甘肃省平凉市辖区 620801J001 监测点为例,如表 1 所示。

本模型所采用的降水量为国家气象局气象台站数据,土壤墒情监测数据中没有灌溉时间和灌溉量的记录,其降水量数据与墒情监测点的实际降水量

表 1 甘肃省平凉市辖区 620801J001 监测点原始数据
Table 1 Original data of 620801J001 monitoring site in Pingliang, Gansu Province

日期	间隔天数 (days)	实测含水量 (P_i)(%)	实测含水量 (P_i)(mm)	时段降雨量 (P_w)(mm)
2012-04-09	—	13.34	30.68	—
2012-04-23	14	13.13	30.20	9.84
2012-05-07	14	14.50	33.35	31.34
2012-06-08	32	15.05	34.62	50.52
2012-06-23	15	12.04	27.69	13.15
2012-07-03	10	19.57	45.01	60.20
2012-07-23	20	19.92	45.82	35.30
2012-08-08	16	20.54	47.24	16.36
2012-08-22	14	20.05	46.12	75.04
2012-09-07	16	21.95	50.49	57.66
2012-09-23	16	21.92	50.42	29.06
2012-10-10	17	21.68	49.86	33.17
2012-10-23	13	15.22	35.01	9.93
2012-11-10	18	14.96	34.41	2.48
2013-03-10	—	12.68	29.16	—
2013-04-10	31	10.36	23.83	6.41
2013-04-25	15	12.91	29.69	24.95
2013-05-10	15	11.85	27.26	12.55
2013-05-24	14	12.89	29.65	48.84
2013-06-09	16	11.99	27.58	33.16
2013-06-25	16	23.38	53.77	89.46
2013-07-18	23	24.41	56.14	165.43
2013-07-25	7	24.44	56.21	13.97
2013-08-12	18	24.31	55.91	106.28
2013-08-26	14	24.00	55.20	37.24
2013-09-11	16	18.48	42.50	111.06
2013-09-22	11	17.88	41.12	22.71
2013-09-30	8	18.35	42.21	30.48
2013-10-09	9	14.10	32.43	0.39
2013-10-21	12	16.53	38.02	16.32
2013-10-29	8	14.58	33.53	0.08
2013-11-12	14	15.66	36.02	14.14
2014-03-18	—	13.41	30.84	—
2014-03-27	9	12.29	28.27	0.09
2014-04-07	11	14.31	32.91	9.21
2014-04-17	10	25.33	58.26	10.20
2014-04-28	11	23.70	54.51	57.91
2014-05-10	12	15.70	36.11	4.02
2014-05-20	10	13.93	32.04	0.50
2014-05-30	10	13.22	30.41	6.30
2014-06-11	12	12.13	27.90	3.92
2014-07-07	26	13.15	30.25	43.76
2014-07-23	16	12.85	29.56	24.46
2014-08-14	22	13.93	32.04	16.82
2014-08-29	15	15.10	34.73	64.65
2014-09-28	30	24.07	55.36	201.00
2014-10-09	11	22.35	51.41	47.31
2014-10-19	10	21.04	48.39	14.00
2014-10-27	8	19.38	44.57	0.38
2014-11-07	11	18.30	42.09	10.61
2014-11-21	14	17.91	41.19	1.54

在个别时间段内可能存在较大差距,使得个别监测时间的土壤含水量突然明显增加,而时段的降水量不足以满足土壤含水量增加之幅度,合理的解释就是灌溉造成了土壤含水量的跳跃式增加,需要在原始数据中将“灌水量”(水分来源项修正)增加到适当时间段内的供给水量之中。本案例(甘肃省平凉市辖区 620801J001 监测点)考虑 2014 年 4 月 7—17 日时间段内增加灌溉量,最终在时间上取大致时段中间点即将 2014 年 4 月 12 日作为灌溉日而增加灌水,考虑到普通灌溉方式确定为灌溉量为 100 mm。

1.2 诊断模型的原理和建模方法

经过对大量土壤含水量监测数据和相邻监测日之间累计降水量(即时段降水量)数据的研究发现,2 个相邻监测日期的($P_{(i+1)}/P_i$)比值与前一个监测日的土壤含水量(P_i)和时段降水量(P_w)之间存在较高的相关性。比值统计法土壤墒情诊断模型是根据以上规律,用前一个监测日的土壤含水量(P_i)和时段降水量(P_w)作为自变量,2 个相邻监测日期的比值($P_{(i+1)}/P_i$)作为因变量而建立的墒情诊断模型。

比值统计法土壤墒情诊断模型数学表达式为:

$$P_{(i+1)}/P_i = a \cdot P_i + b \cdot P_w + c \quad (1)$$

式中: $P_{(i+1)}$ 为后一次实测的土壤含水量(质量含水量); P_i 为前一次实测的土壤含水量(质量含水量); P_w 为相邻 2 个监测日之间的降水量(mm)。

比值统计法土壤墒情诊断模型分“时段模型”和“逐日模型”两类。

1.2.1 时段模型法 所谓时段模型法就是根据前一次观测日的土壤含水量和后一次观测日期间的降水量去诊断后一次土壤含水量的方法,其计算方法如下:

第一步:计算相邻 2 个监测日之间的降水量(P_w)。

第二步:以相邻两个检测日的实测含水量比值 $P_{(i+1)}/P_i$ 为因变量(y),以相邻上一次监测的含水量(P_i)和时段降水量(P_w)分别为自变量 x_1 和 x_2 ,得到甘肃省平凉市辖区 620801J001 站点的比值统计法相关性方程为 $K = -0.0275P_i + 0.0035P_w + 1.3817$, $r = 0.711^{**}$, $n = 48$ 。

第三步:根据所得方程求得 $P_{(i+1)}/P_i$,再求土壤含水量即 $P_{(i+1)} = K \cdot P_i$ 。

1.2.2 逐日模型法 所谓逐日模型法就是根据每年首个检测日土壤含水量(P_i)和次日前 15 天累计降水量(P_w)诊断下一日土壤含水量,直到间隔多日

的后一次观测日土壤含水量测定结果出来后再进行校验为止的方法,即利用时段方法及参数对土壤墒情进行了逐日诊断, P_w 取预测日前 15 d 累计降水量。

当间隔天数 ≤ 15 d 时(一般监测点时间间隔为 15 d 测定一次),每个预测值均以上一个实测值为准进行计算;当间隔天数 > 15 d 时,需要计算出一个第 15 天的预测值即 $P_{\text{逐日预测}}$,用该值取代 P_i 进行后面日期的预测,直到下一个有实测值的日期。

1.3 软件

本文所使用的软件为 Excel 和自编的墒情算法软件,前期探讨算法时使用 Excel,当算法确定后自编软件并使用。

1.4 结果评价方法

87 个监测点的最大质量含水量平均值为 21.46%,最小质量含水量平均值为 9.49%,平均质量含水量为 15.64%。在 5 级土壤墒情等级划分中,一个墒情等级大概为 5~6 个质量含水量范围(即 5%~6% 质量含水量范围),根据土壤质量含水量与墒情等级的关系,以及基于异地气象站降水量预测土壤含水量可能产生的误差大小,以含水量作为判断标准可以直接与生产实际相结合,比较直观地反映土壤墒情状况。根据土壤质量含水量与墒情等级的关系以及基于异地气象站降水量预测土壤含水量的实际误差,将以百分数表示的 3% 质量含水量以内作为土壤墒情诊断误差的合格标准,即若预测值与实测值的差值在 3% 质量含水量范围内,则为合格。

2 结果与分析

2.1 时段模型

由表 2 可见,时段模型法预测的质量含水量与实测质量含水量相比误差大于 $\pm 3\%$ 质量含水量的监测日有 10 个,为 20.83%,其中大于 5% 质量含水量的监测日有 4 个,为 8.33%;如果将预测误差小于 3% 质量含水量作为合格预测标准,则比值统计法时段模型自回归预测的合格率为 79.17%,平均误差为 2.21%,最大误差为 10.37%,最小误差为 0.01%。增加灌溉修正后比值统计法时段模型验证结果自回归预测的合格率为 81.25%(其中大于 3% 质量含水量的减少 1 个,大于 5% 质量含水量增加 1 个),平均误差为 2.18%,最大误差为 8.06%,最小误差为 0.04%。可见,增加灌溉事件调整后的最大预测误差有所减小,自回归合格率得到提高。

表 2 甘肃省平凉市辖区 620801J001 监测点 2012—2014 年灌溉前后比值统计法时段模型预测结果(%)

Table 2 Interval results of ratio statistical diagnostic model before and after irrigation for 620801J001 monitoring site in Pingliang of Gansu Province during the period of 2012–2014 (%)

监测日	实测值	原数据预 测值	原数据误 差值	加灌溉后 预测值	加灌溉后 误差值	监测日	实测值	原数据预 测值	原数据误 差值	加灌溉后 预测值	加灌溉后 误差值
2012-04-09	13.34	–	–	–	–	2013-09-22	17.88	17.87	–0.01	17.60	–0.28
2012-04-23	13.13	14.29	1.16	14.00	0.87	2013-09-30	18.35	17.98	–0.37	17.81	–0.54
2012-05-07	14.50	14.95	0.45	14.83	0.33	2013-10-09	14.10	16.64	2.54	16.13	2.03
2012-06-08	15.05	16.76	1.71	16.79	1.74	2013-10-21	16.53	15.07	–1.46	14.82	–1.71
2012-06-23	12.04	15.56	3.52	15.26	3.22	2013-10-29	14.58	15.80	1.22	15.34	0.76
2012-07-03	19.57	15.06	–4.51	15.16	–4.41	2013-11-12	15.66	15.30	–0.36	15.02	–0.64
2012-07-23	19.92	19.05	–0.87	18.91	–1.01	2014-03-18	13.41	–	–	–	–
2012-08-08	20.54	18.12	–2.42	17.75	–2.79	2014-03-27	12.29	13.96	1.67	13.59	1.30
2012-08-22	20.05	21.78	1.73	22.11	2.06	2014-04-07	14.31	13.50	–0.81	13.22	–1.09
2012-09-07	21.95	20.53	–1.42	20.65	–1.30	2014-04-17	25.33	14.96	–10.37	19.59	–5.74
2012-09-23	21.92	19.54	–2.38	19.30	–2.62	2014-04-28	23.70	22.29	–1.41	22.44	–1.26
2012-10-10	21.68	19.79	–1.89	19.60	–2.08	2014-05-10	15.70	18.27	2.57	17.65	1.95
2012-10-23	15.22	18.27	3.05	17.79	2.57	2014-05-20	13.93	15.38	1.45	14.95	1.02
2012-11-10	14.96	15.20	0.24	14.80	–0.16	2014-05-30	13.22	14.55	1.33	14.22	1.00
2013-03-10	12.68	–	–	–	–	2014-06-11	12.13	13.98	1.85	13.65	1.52
2013-04-10	10.36	13.69	3.33	13.38	3.02	2014-07-07	13.15	14.57	1.42	14.55	1.40
2013-04-25	12.91	12.39	–0.52	12.26	–0.65	2014-07-23	12.85	14.70	1.85	14.53	1.68
2013-05-10	11.85	14.08	2.23	13.82	1.97	2014-08-14	13.93	14.19	0.26	13.97	0.04
2013-05-24	12.89	14.50	1.61	14.51	1.62	2014-08-29	15.10	16.88	1.78	17.03	1.93
2013-06-09	11.99	14.82	2.83	14.72	2.73	2014-09-28	24.07	23.69	–0.38	25.08	1.01
2013-06-25	23.88	16.01	–7.87	16.32	–7.56	2014-10-09	22.35	21.28	–1.07	21.28	–1.07
2013-07-18	24.41	29.30	4.89	30.97	6.56	2014-10-19	21.04	18.69	–2.35	18.24	–2.80
2013-07-25	24.44	19.03	–5.41	18.54	–5.90	2014-10-27	19.38	17.53	–1.85	16.94	–2.44
2013-08-12	24.31	25.48	1.17	26.33	2.02	2014-11-07	18.30	17.59	–0.71	17.17	–1.13
2013-08-26	24.00	20.64	–3.36	20.48	–3.52	2014-11-21	17.91	16.68	–1.23	16.18	–1.73
2013-09-11	18.48	25.64	7.16	26.54	8.06	–	–	–	–	–	–

2.2 逐日模型

由表 3 可见,从逐日模型法预测结果中筛选出所有监测日所对应的预测结果,将有监测记录的预测结果与实测结果相比,预测误差超过±3%质量含水量的监测日有 12 个,为 25.00%,其中大于 5%质量含水量的监测日有 2 个,为 4.17%;如果将预测误差小于 3%质量含水量作为合格预测标准,则比值统计法逐日模型自回归预测的合格率为 75.00%,平均误差为 2.29%,最大误差为 10.30%,最小误差为 0.11%。加灌溉后的逐日模型自回归预测结果的合格率为 75.00%(其中大于 3%质量含水量的减少 1 个,大于 5%质量含水量的增加 1 个),平均误差为 2.18%,最大误差 8.74%,最小误差 0.25%,可见加灌溉后的最大预测误差有所减小。

2.3 2015 年预测结果分析

自回归预测是指将建模数据代入模型中预测的结果,每一次预测的结果都称之为土壤墒情的诊断结果;预测是指基于所建立的模型,使用未建模的数

据预测的土壤墒情结果。本文中采用 2014 年之前的历史数据建模,2015 年数据不参与建模,用于模型验证。表 4 为甘肃省平凉市辖区 620801J001 监测点比值统计法模型 2015 年预测结果。

由表 4 可见,对 2012—2014 年原始数据进行加灌溉数据处理后建模得到 2015 年比值统计法时段模型预测和逐日模型预测结果中,预测误差大于 3%质量含水量的监测日有 1 个,为 5.88%,其中大于 5%质量含水量的监测日有 0 个,如果将预测误差小于 3%质量含水量作为合格预测标准,则比值统计法时段模型和逐日模型验证的合格率均为 94.12%。2015 年没有出现土壤含水量突然明显增加的情况,所以 2015 年未作灌溉处理。

2.4 模型验证

以单个监测点诊断合格率 75%以上的点为模型适用性标准,7 省 23 县 87 个监测站点的验证结果见表 5。时段诊断结果表明,自回归和 2015 年数据验证合格的监测点数分别为 76 个和 78 个,合格

表 3 甘肃省平凉市辖区 620801J001 监测点 2012—2014 年灌溉前后比值统计法逐日模型预测结果(%)

Table 3 Daily results of ratio statistical diagnostic model before and after irrigation for 620801J001 monitoring site in Pingliang of Gansu Province during the period of 2012–2014 (%)

监测日	实测值	原数据预 测值	原数据误 差值	加灌溉后 预测值	加灌溉后 误差值	监测日	实测值	原数据预 测值	原数据误 差值	加灌溉后 预测值	加灌溉后 误差值
2012-04-09	13.34	—	—	—	—	2013-09-22	17.88	19.03	1.15	19.03	1.15
2012-04-23	13.13	14.27	1.14	14.01	0.88	2013-09-30	18.35	19.13	0.78	19.13	0.78
2012-05-07	14.50	14.97	0.47	14.84	0.34	2013-10-09	14.10	16.70	2.60	16.15	2.05
2012-06-08	15.05	16.76	1.71	16.29	1.24	2013-10-21	16.53	15.09	−1.44	14.81	−1.73
2012-06-23	12.04	15.50	3.46	15.20	3.16	2013-10-29	14.58	16.53	1.95	16.20	1.62
2012-07-03	19.57	15.53	−4.04	15.65	−3.92	2013-11-12	15.66	15.31	−0.35	15.02	−0.64
2012-07-23	19.92	18.20	−1.72	18.00	−1.92	2014-03-18	13.41	—	—	—	—
2012-08-08	20.54	17.40	−3.14	16.84	−3.70	2014-03-27	12.29	13.95	1.66	13.54	1.25
2012-08-22	20.05	21.77	1.72	22.18	2.13	2014-04-07	14.31	13.52	−0.79	13.27	−1.04
2012-09-07	21.95	20.66	−1.29	20.86	−1.09	2014-04-17	25.33	15.03	−10.30	19.75	−5.58
2012-09-23	21.92	18.36	−3.56	17.96	−3.96	2014-04-28	23.70	22.54	−1.16	22.80	−0.90
2012-10-10	21.68	18.35	−3.33	17.95	−3.73	2014-05-10	15.70	19.43	3.73	19.20	3.50
2012-10-23	15.22	18.21	2.99	17.78	2.56	2014-05-20	13.93	15.54	1.61	15.07	1.14
2012-11-10	14.96	15.07	0.11	14.47	−0.49	2014-05-30	13.22	14.63	1.41	14.21	0.99
2013-03-10	12.68	—	—	—	—	2014-06-11	12.13	14.01	1.88	13.62	1.49
2013-04-10	10.36	14.53	4.17	13.85	3.49	2014-07-07	13.15	15.48	2.33	15.21	2.06
2013-04-25	12.91	12.43	−0.48	12.22	−0.69	2014-07-23	12.85	15.76	2.91	15.48	2.63
2013-05-10	11.85	14.07	2.22	13.81	1.96	2014-08-14	13.93	14.99	1.06	14.57	0.64
2013-05-24	12.89	14.46	1.57	14.46	1.57	2014-08-29	15.10	16.86	1.76	16.99	1.89
2013-06-09	11.99	15.87	3.88	15.73	3.74	2014-09-28	24.07	23.19	−0.88	24.32	0.25
2013-06-25	23.88	19.44	−4.44	20.06	−3.82	2014-10-09	22.35	21.66	−0.69	21.66	−0.69
2013-07-18	24.41	28.58	4.17	30.45	6.04	2014-10-19	21.04	18.77	−2.27	18.33	−2.71
2013-07-25	24.44	23.19	−1.25	23.68	−0.76	2014-10-27	19.38	17.88	−1.50	17.46	−1.92
2013-08-12	24.31	21.48	−2.83	21.65	−2.66	2014-11-07	18.30	17.64	−0.66	17.25	−1.05
2013-08-26	24.00	21.39	−2.61	21.64	−2.36	2014-11-21	17.91	16.65	−1.26	16.29	−1.62
2013-09-11	18.48	25.96	7.48	27.22	8.74	—	—	—	—	—	—

表 4 甘肃省平凉市辖区 620801J001 监测点 2015 年比值统计法预测结果(%)

Table 4 Prediction results of ratio statistical diagnostic model of 620801J001 monitoring site in Pingliang of Gansu Province in 2015(%)

监测日	实测值	时段预 测值	时段误 差值	逐日预 测值	逐日误 差值
2015-03-10	17.59	—	—	—	—
2015-03-18	17.89	16.01	−1.88	16.18	−1.71
2015-03-29	16.14	16.38	0.24	16.46	0.32
2015-04-08	16.85	17.38	0.53	17.43	0.58
2015-04-26	16.72	17.43	0.71	17.70	0.98
2015-05-06	16.71	16.16	−0.55	16.22	−0.49
2015-05-26	14.92	17.23	2.31	16.35	1.43
2015-06-12	15.91	17.59	1.68	19.37	3.46
2015-07-10	14.75	17.93	3.18	16.68	1.93
2015-07-27	12.26	14.98	2.72	15.05	2.79
2015-08-07	12.41	14.08	1.67	14.10	1.69
2015-08-24	15.27	14.39	−0.88	15.26	−0.01
2015-09-12	18.24	17.73	−0.51	18.81	0.57
2015-09-24	19.63	18.06	−1.57	18.42	−1.21
2015-10-07	20.09	17.47	−2.62	18.26	−1.83
2015-10-29	19.73	19.35	−0.38	17.42	−2.31
2015-11-09	19.87	17.17	−2.7	17.36	−2.51
2015-11-22	19.89	17.13	−2.76	17.09	−2.80

表 5 比值统计法模型诊断结果

Table 5 Diagnostic results of ratio statistical diagnostic model

诊断方法		诊断合格的 监测点数	合格点数占 总监测点 比例(%)
时段诊断模型	自回归验证	76	87.36
	2015 年数据验证	78	89.66
逐日诊断模型	自回归验证	72	82.76
	2015 年数据验证	80	91.95

率分别为 87.36%和89.66%;逐日诊断,相应合格的监测点数分别为 72 个和 80 个,合格率分别为 82.76%和 91.95%。

3 讨 论

3.1 适用性评价

适用性主要评价模型单独使用情况下对全部 7 个省 23 个县 87 个监测点的诊断结果,以单个监测点诊断合格率 75%以上为模型适用性标准。诊断结果表明,时段模型和逐日模型诊断合格点数占监

测点总数比例均在90%左右。从适用性角度看,比值统计法模型适用性好。

3.2 比值法优缺点分析

比值统计法诊断模型基于相邻2个监测日的含水量比值与前一个实测含水量和累计降水量间的相关性而建立,是基于统计学原理建立的墒情诊断模型。从各项验证结果分析来看,预测准确率相对较高,适用性较好。比值统计法诊断模型具备以下2个特点:第一是从历史数据中挖掘出实际的土壤含水量比值变化量,变化量是客观和真实的;第二是根据大量历史数据挖掘出土壤含水量变化比值与实测含水量和累计降水量之间的相关性。基于以上两点该模型既获取了相对科学的模型参数,又用统计学方法克服了因导致土壤含水量变化的因子众多且变化不易确定的问题,因此该模型的预测准确率较高。

比值统计法预测过程中导致误差产生的主要原因有如下4个方面:其一是土壤水分来源项为异地气象站的降水数据;二是监测点没有灌溉记录;三是土壤含水量从低到高和从高到低过程中土壤孔隙所发生的变化对土壤水运动的直接影响并未予以考虑;四是不同监测点和同一监测点不同时间的土壤容重采用同一假定数值带来含水量的计算误差。

基于上述分析,比值统计法模型预测精度的提高有赖于两方面措施的改进:利用物联网技术的降水量实时监测数据使用;灌溉事件数据的完善及应用。

时段法就是利用2次监测时段的降水量对土壤墒情进行诊断和预测,随着监测数量的增多和措施的改进,诊断和预测合格率会明显提高。逐日诊断和预报可以实现土壤墒情的实时监控和预报,使得现阶段不具备自动墒情监测条件的地区也能够及时获得当地实时的墒情状况,可见逐日法是实现土壤墒情信息化管理的潜力方法。对于特定监测点而言,时段法建模并不断得到修正后,再采用逐日法即可实现实时动态土壤墒情的预测,这就为县级和省级乃至国家级的土壤墒情监测网的建立提供了模型方法,还可以就某一气候区域或其他特殊区域的需要建立在线墒情诊断与预测网。

4 结 论

比值统计法预测合格率较高,为80%以上。预测合格率高的主要原因是模型参数都是数据挖掘的结果而非人为确定。

参考文献

- 程殿龙, 马宏志, 许晓春. 2002. 神经网络方法在土壤墒情预测中的应用. 中国农村水利水电, (7): 6-8.
- 何其华, 何永华, 包维楷, 等. 2003. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化. 山地学报, 21(2): 149-156.
- 贾东于, 文 军, 张堂堂, 等. 2014. 黄土高原降水对土壤含水量和导热率的影响. 高原气象, 33(3): 712-720.
- 康绍忠. 1987. 旱地土壤水分动态模拟的初步研究. 农业气象, 8(2): 38-41.
- 孔凡忠, 刘继敏, 张翠英, 等. 2008. 鲁西南地区土壤墒情变化规律分析. 中国农业气象, 29(2): 162-165.
- 李富翠. 2015. 旱地夏闲期覆盖秸秆和种植绿肥协调土壤水肥供应的效应与机制(博士学位论文). 陕西杨陵: 西北农林科技大学.
- 李明生, 刘 震. 2005. 土层水量平衡模型在土壤墒情预报中的应用. 东北水利水电, 23(1): 49-51.
- 李文峰. 2013. BP神经网络在许昌土壤墒情预测模型的应用. 中国农学通报, (32): 238-241.
- 李亚春, 徐 萌, 唐 勇. 2000. 我国土壤水分遥感监测中热惯量模式的研究现状与进展. 中国农业气象, 21(2): 40-43.
- 刘沛松. 2008. 宁南苜蓿草田轮作土壤环境效应研究(博士学位论文). 陕西杨陵: 西北农林科技大学.
- 罗 毅, 雷志栋, 杨诗秀. 2000. 一个预测作物根系层储水量动态变化的概念性随机模型. 水利学报, 31(8): 80-83.
- 邵明安, 杨文治, 李玉山. 1987. 植物根系吸收土壤水分的数学模型. 土壤学报, 24(4): 295-304.
- 孙秀邦, 严 平, 黄 勇, 等. 2007. 淮北地区土壤墒情动态预测. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 30(9): 1144-1147.
- 吴希媛, 张丽萍. 2006. 降水再分配受雨强、坡度、覆盖度影响的机理研究. 水土保持学报, 20(4): 28-30.
- 杨开甲, 林瑞坤, 曾昊川, 等. 2015. 2013年福州市土壤水分变化规律及降雨量对其的影响. 农业与技术, (4): 199-200.
- 张 欢. 2012. 秸秆残茬覆盖对土壤水热效应和玉米产量的影响研究(硕士学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学.
- 张 忠, 蒲胜海, 何春燕, 等. 2007. 我国土壤墒情预报模型的研究进程及发展方向. 新疆农业科学, 44(5): 720-723.
- 张雪飞. 2013. 水量平衡模型在德国奥斯纳布吕克地区和安徽淮北市对墒情预测的应用研究(硕士学位论文). 安徽合肥: 安徽农业大学.
- 赵晓光, 吴发启, 刘秉正, 等. 1999. 黄土高原坡耕地土壤水分主要受控因子研究. 水土保持通报, 19(1): 10-14.
- 周景春, 苏玉杰, 张怀念, 等. 2007. 0~50 cm 土壤含水量与降水和蒸发的关系分析. 中国土壤与肥料, (6): 23-27.
- Hudson BD. 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49: 189-194.

作者简介 郑宏艳,女,1986年生,硕士,助理研究员,主要从事农业资源环境数据挖掘与GIS应用研究。E-mail: 2524100281@qq.com
责任编辑 张 敏