

土壤湿度与气象因子的关系分析

房 鹏, 郑自君, 莫 芳, 马献菊, 马联敏

(四川省凉山州气象局, 四川 西昌 615000)

摘要:基于西昌旱地土壤湿度资料,以备选因子是否加入上一次实测值为前提,对土壤湿度和气象因子进行逐步回归分析,结果表明,在所提供的备选因子中,降水量、蒸发量、无雨日数与土壤湿度相关关系更密切;加入上一次实测值作为因子,所生成的回归方程拟合精度和预测精度均明显提高。

关键词:逐步回归;土壤重量含水率;气象因子

中图分类号:S152.71 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2019)02-0086-08

Analysis on the Relationship between Soil Moisture and Meteorological Factors

FANG Peng, ZHENG Zijun, MO Fang, MA Xianju, MA Lianmin

(Liangshan Prefectural Meteorological Bureau, Xichang, Sichuan 615000, China)

Abstract: The stepwise regression analysis of soil moisture and meteorological factors was carried out based on the soil moisture data of Xichang dry land and whether the last measured values was added to the selected factors. The results showed that the precipitation, evaporation and rainless days of the selected factors were more closely related to soil moisture, and after adding the last measured values as a factor, the fitting accuracy and prediction accuracy of the regression equation are obviously improved.

Keywords: stepwise regression; soil moisture content; meteorological factors

0 引言

罗晓玲等^[1-3]对凉山州或其所辖部份地区的土壤养分含量、重金属含量等进行过研究,但该地区土壤湿度变化规律及其与气象因子关系等方面未有研究。土壤湿度的大小与降水、蒸发、气温、地温、日照、风速、径流、下渗、侧渗、土壤质地等多种因子有或多或少的关系^[4-6],其具体与哪些因子关系更密切,需要通过一些数理统计方法来验证。由于各地区气候规律和土壤质地等存在不同程度的差异,因此需要推算出适合本地的土壤湿度预报方程。李涵茂等^[7]将土壤湿度分析到深度30 cm,本文则将土壤湿度深度分析到50 cm,同时由于西昌地区干季时间较长,若前期长时间无降水,土壤湿度后期会出现逐渐衰减的现象,因此加入前期无雨日数因子,以期生成的回归方程更符合客观实际。由于缺少非气象因子的资料,因此这里仅考虑气象因子对土壤湿度的影响,通过逐步回归来分析哪些气象因子与土壤湿度相关更密切。分析结果也可利用气象因子判断预测土壤干湿程度、确定农田灌

溉量等提供一定的参考依据。

1 资料和方法

本文所使用的程序为作者自行设计的逐步回归程序,经对比验证和实际业务工作应用,其可靠性好,分析结果可信。观测地段为西昌长期固定的周年土壤湿度观测地段,为旱地,靠自然降水,无人工灌溉的影响。按照《农业气象观测规范》土壤水分分册的规定要求进行人工观测。土壤湿度资料

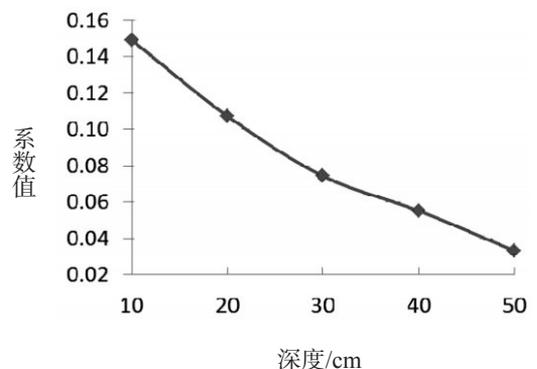


图1 当天降水量(X1)系数值随土壤深度的变化

表1 备选因子及其含义

因子	含义	因子	含义	因子	含义	因子	含义
X1	当天降水量(mm)	X37	前9天无雨日数(天)	X73	前30天5cm地温(℃)	X109	前6天20cm地温(℃)
X2	前1天降水量(mm)	X38	前10天无雨日数(天)	X74	前60天5cm地温(℃)	X110	前7天20cm地温(℃)
X3	前2天合计降水量(mm)	X39	前20天无雨日数(天)	X75	当天10cm地温(℃)	X111	前8天20cm地温(℃)
X4	前3天合计降水量(mm)	X40	前30天无雨日数(天)	X76	前1天10cm地温(℃)	X112	前9天20cm地温(℃)
X5	前4天合计降水量(mm)	X41	前60天无雨日数(天)	X77	前2天10cm地温(℃)	X113	前10天20cm地温(℃)
X6	前5天合计降水量(mm)	X42	前90天无雨日数(天)	X78	前3天10cm地温(℃)	X114	前20天20cm地温(℃)
X7	前6天合计降水量(mm)	X43	前120天无雨日数(天)	X79	前4天10cm地温(℃)	X115	前30天20cm地温(℃)
X8	前7天合计降水量(mm)	X44	前150天无雨日数(天)	X80	前5天10cm地温(℃)	X116	前60天20cm地温(℃)
X9	前8天合计降水量(mm)	X45	前180天无雨日数(天)	X81	前6天10cm地温(℃)	X117	当天40cm地温(℃)
X10	前9天合计降水量(mm)	X46	前210天无雨日数(天)	X82	前7天10cm地温(℃)	X118	前1天40cm地温(℃)
X11	前10天合计降水量(mm)	X47	当天平均气温(℃)	X83	前8天10cm地温(℃)	X119	前2天40cm地温(℃)
X12	前20天合计降水量(mm)	X48	前1天平均气温(℃)	X84	前9天10cm地温(℃)	X120	前3天40cm地温(℃)
X13	前30天合计降水量(mm)	X49	前2天平均气温(℃)	X85	前10天10cm地温(℃)	X121	前4天40cm地温(℃)
X14	前60天合计降水量(mm)	X50	前3天平均气温(℃)	X86	前20天10cm地温(℃)	X122	前5天40cm地温(℃)
X15	当天蒸发量(mm)	X51	前4天平均气温(℃)	X87	前30天10cm地温(℃)	X123	前6天40cm地温(℃)
X16	前1天蒸发量(mm)	X52	前5天平均气温(℃)	X88	前60天10cm地温(℃)	X124	前7天40cm地温(℃)
X17	前2天合计蒸发量(mm)	X53	前6天平均气温(℃)	X89	当天15cm地温(℃)	X125	前8天40cm地温(℃)
X18	前3天合计蒸发量(mm)	X54	前7天平均气温(℃)	X90	前1天15cm地温(℃)	X126	前9天40cm地温(℃)
X19	前4天合计蒸发量(mm)	X55	前8天平均气温(℃)	X91	前2天15cm地温(℃)	X127	前10天40cm地温(℃)
X20	前5天合计蒸发量(mm)	X56	前9天平均气温(℃)	X92	前3天15cm地温(℃)	X128	前20天40cm地温(℃)
X21	前6天合计蒸发量(mm)	X57	前10天平均气温(℃)	X93	前4天15cm地温(℃)	X129	前30天40cm地温(℃)
X22	前7天合计蒸发量(mm)	X58	前20天平均气温(℃)	X94	前5天15cm地温(℃)	X130	前60天40cm地温(℃)
X23	前8天合计蒸发量(mm)	X59	前30天平均气温(℃)	X95	前6天15cm地温(℃)	X131	当天80cm地温(℃)
X24	前9天合计蒸发量(mm)	X60	前60天平均气温(℃)	X96	前7天15cm地温(℃)	X132	前1天80cm地温(℃)
X25	前10天合计蒸发量(mm)	X61	当天5cm地温(℃)	X97	前8天15cm地温(℃)	X133	前2天80cm地温(℃)
X26	前20天合计蒸发量(mm)	X62	前1天5cm地温(℃)	X98	前9天15cm地温(℃)	X134	前3天80cm地温(℃)
X27	前30天合计蒸发量(mm)	X63	前2天5cm地温(℃)	X99	前10天15cm地温(℃)	X135	前4天80cm地温(℃)
X28	前60天合计蒸发量(mm)	X64	前3天5cm地温(℃)	X100	前20天15cm地温(℃)	X136	前5天80cm地温(℃)
X29	前1天无雨日数(天)	X65	前4天5cm地温(℃)	X101	前30天15cm地温(℃)	X137	前6天80cm地温(℃)
X30	前2天无雨日数(天)	X66	前5天5cm地温(℃)	X102	前60天15cm地温(℃)	X138	前7天80cm地温(℃)
X31	前3天无雨日数(天)	X67	前6天5cm地温(℃)	X103	当天20cm地温(℃)	X139	前8天80cm地温(℃)
X32	前4天无雨日数(天)	X68	前7天5cm地温(℃)	X104	前1天20cm地温(℃)	X140	前9天80cm地温(℃)
X33	前5天无雨日数(天)	X69	前8天5cm地温(℃)	X105	前2天20cm地温(℃)	X141	前10天80cm地温(℃)
X34	前6天无雨日数(天)	X70	前9天5cm地温(℃)	X106	前3天20cm地温(℃)	X142	前20天80cm地温(℃)
X35	前7天无雨日数(天)	X71	前10天5cm地温(℃)	X107	前4天20cm地温(℃)	X143	前30天80cm地温(℃)
X36	前8天无雨日数(天)	X72	前20天5cm地温(℃)	X108	前5天20cm地温(℃)	X144	前60天80cm地温(℃)

(土壤含水质量分数,下同)为2010—2017年0~50 cm每10 cm间隔(下文分别以10 cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm描述)五个深度层次的人工观测值;采用西昌市2009—2016年日平均气温和日降水量资料,通过逐步回归程序,对2010—2016年土壤含水质量分数与降水量、蒸发量、无雨日数、平均气温和地温等的各统计值进行回归模拟,生成的回归方程对2017年土壤湿度进行预测检验。某日无降水或日降水量<0.1 mm为无雨日。回归模拟和预测检验分成两种情况进行,情况一是未将上一次实测值作

为备选因子,情况二是将上一次实测值加入到备选因子(表1)。

用于回归模拟的数据时段为2010—2016年共7 a,其中作为因变量的土壤含水质量分数每一层次包括504个样本,五个层次共有2 520个样本;将降水量、蒸发量、无雨日数等按照下表中的含义的要求初步计算出144个因子的值用于筛选(情况二为145个因子,上一次实测值因子用X145表示,下同),因此因变量和自变量的回归模拟用到的数据量合计达到75 096个(表2)。

2 逐步回归分析

2.1 备选因子中未加入上一次实测值(情况一)

将各层次土壤含水质量分数数据与对应的 144

个待筛选的因子数据输入到程序,筛选出符合条件的因子后,得到回归方程及拟合图(图1)。

降水量、蒸发量、气温和地温等因子之间可能存在相关性,不是相互独立的,在筛选因子之前,并不

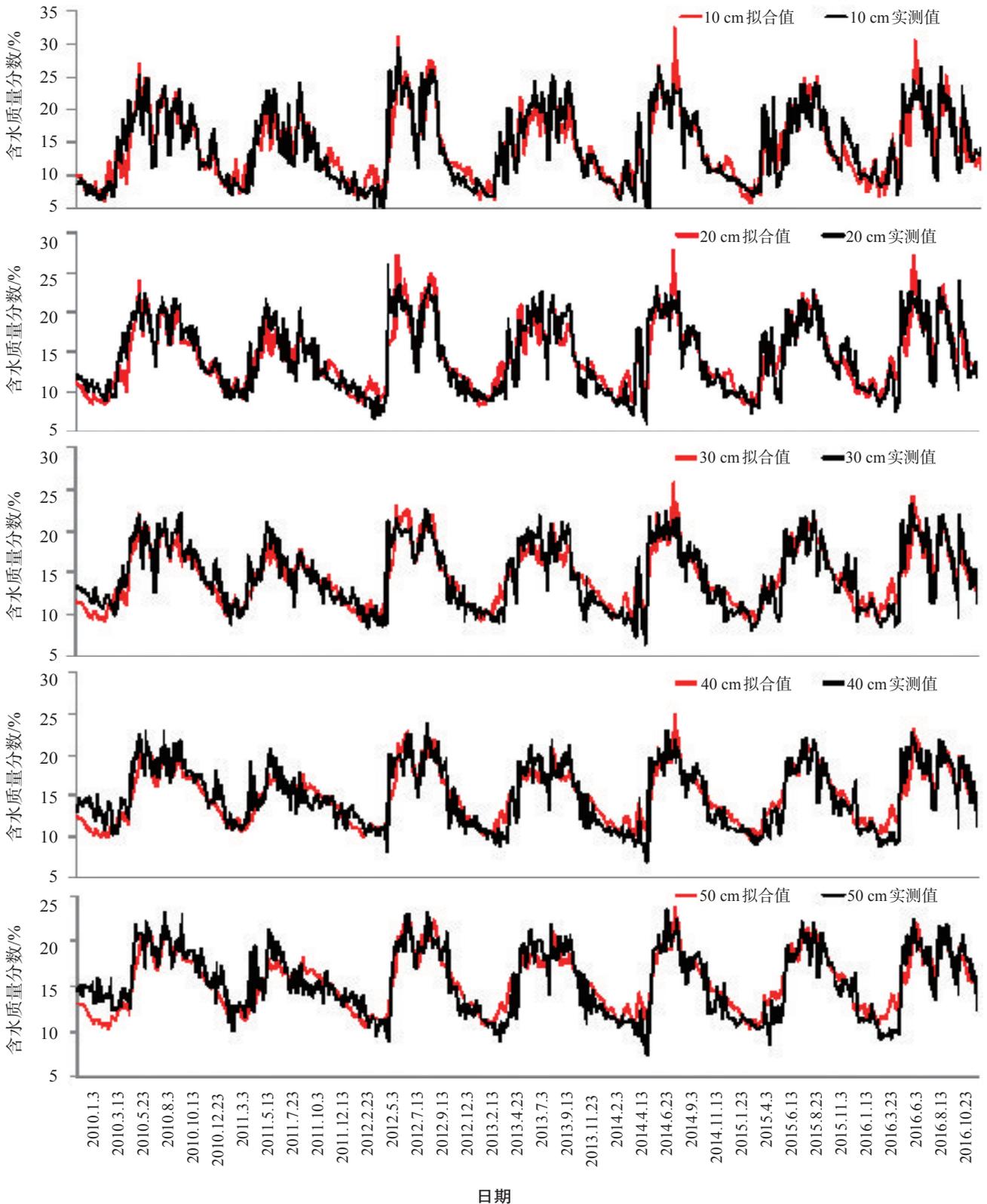


图2 2010—2016年各层深度土壤湿度拟合值与实测值比较图

知道哪些因子会被引入回归方程,这里通过逐步回归的筛选,引入了降水量、蒸发量等因子,而气温、地温因子没有被引入回归方程,从而反映出这些因子中,降水量、蒸发量等因子与土壤湿度的相关性

相对更密切、更直接。从土壤湿度回归方程可以看出:

降水方面,各深度土壤湿度回归方程均引入了两个降水因子,且因变量与之呈正相关,即降水量

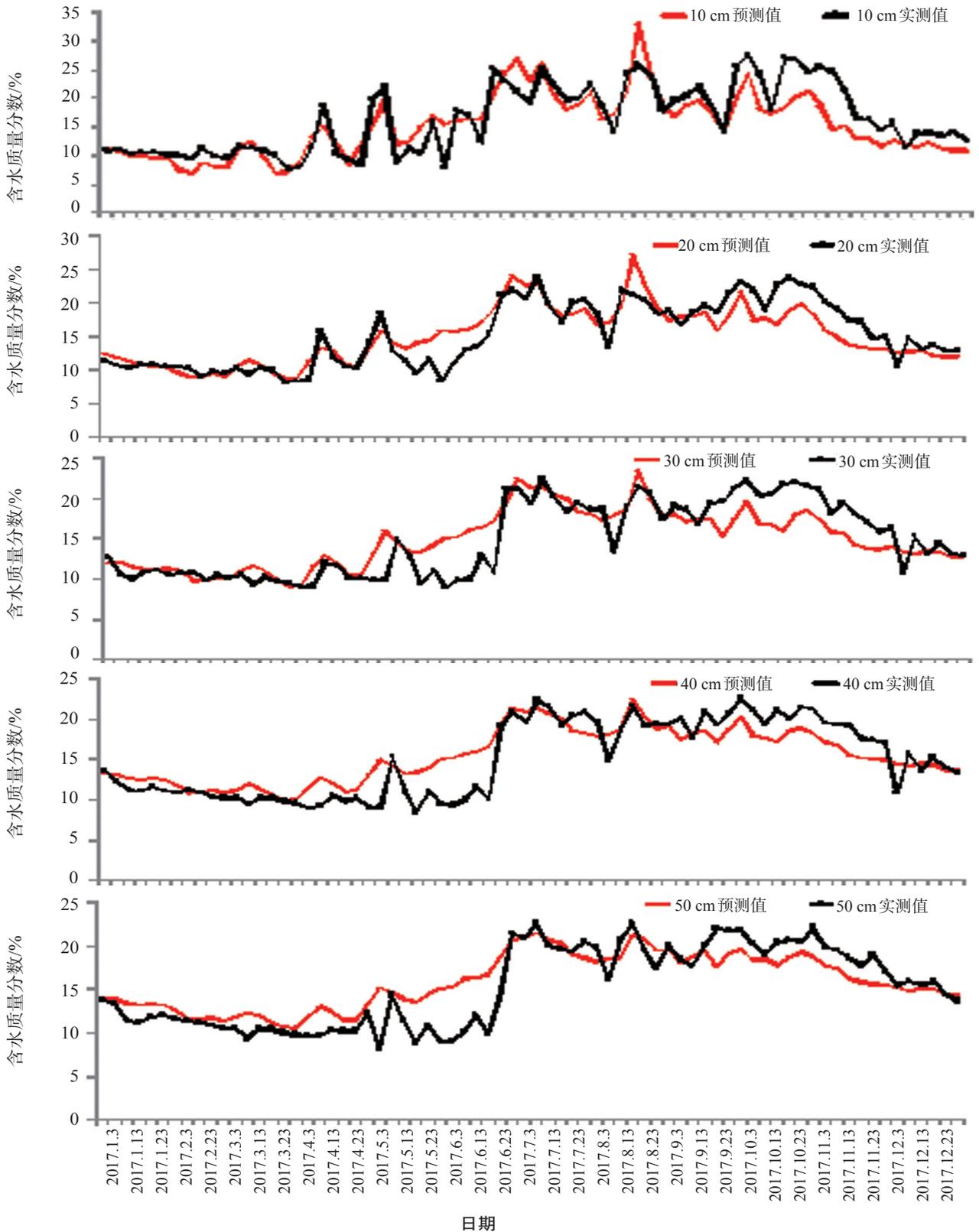


图3 2017年各层深度土壤湿度预测值与实测值比较图

越大,土壤湿度越大。其中,各深度方程均引入了当天降水量(X1)这个因子,且X1的系数值随深度的增加而减小,即当天降水量对土壤湿度的影响程度随深度的增加而减小,也即当天同样数量的降水量对土壤湿度增量的贡献浅层大于深层,如图2所示。10 cm和20 cm土壤湿度方程引入的另外一个降水因子是前10 d合计降水量,而30 cm、40 cm、50 cm土壤湿度方程引入的另外一个降水因子则是前20 d合计降水量,即除当天降水量因子外,10 cm、20 cm土壤湿度与前10 d合计降水量明显相关,30 cm、40 cm、50 cm土壤湿度与前20 d合计降水量明

显相关。

蒸发量方面,5个方程均引入了蒸发量因子,且因变量与之呈负相关,即蒸发量越大,土壤湿度越小。其中,10 cm和20 cm土壤湿度方程引入的因子分别是前1 d蒸发量和前7 d合计蒸发量,30 cm、40 cm、50 cm土壤湿度方程引入的因子是前8 d合计蒸发量和前10 d合计蒸发量。

各深度土壤湿度回归方程均引入了无雨日数因子,且湿度与无雨日数呈负相关,其中,10 cm土壤湿度回归方程引入了前8 d、前30 d和前120 d无雨日数三个因子;20 cm土壤湿度回归方程引入了

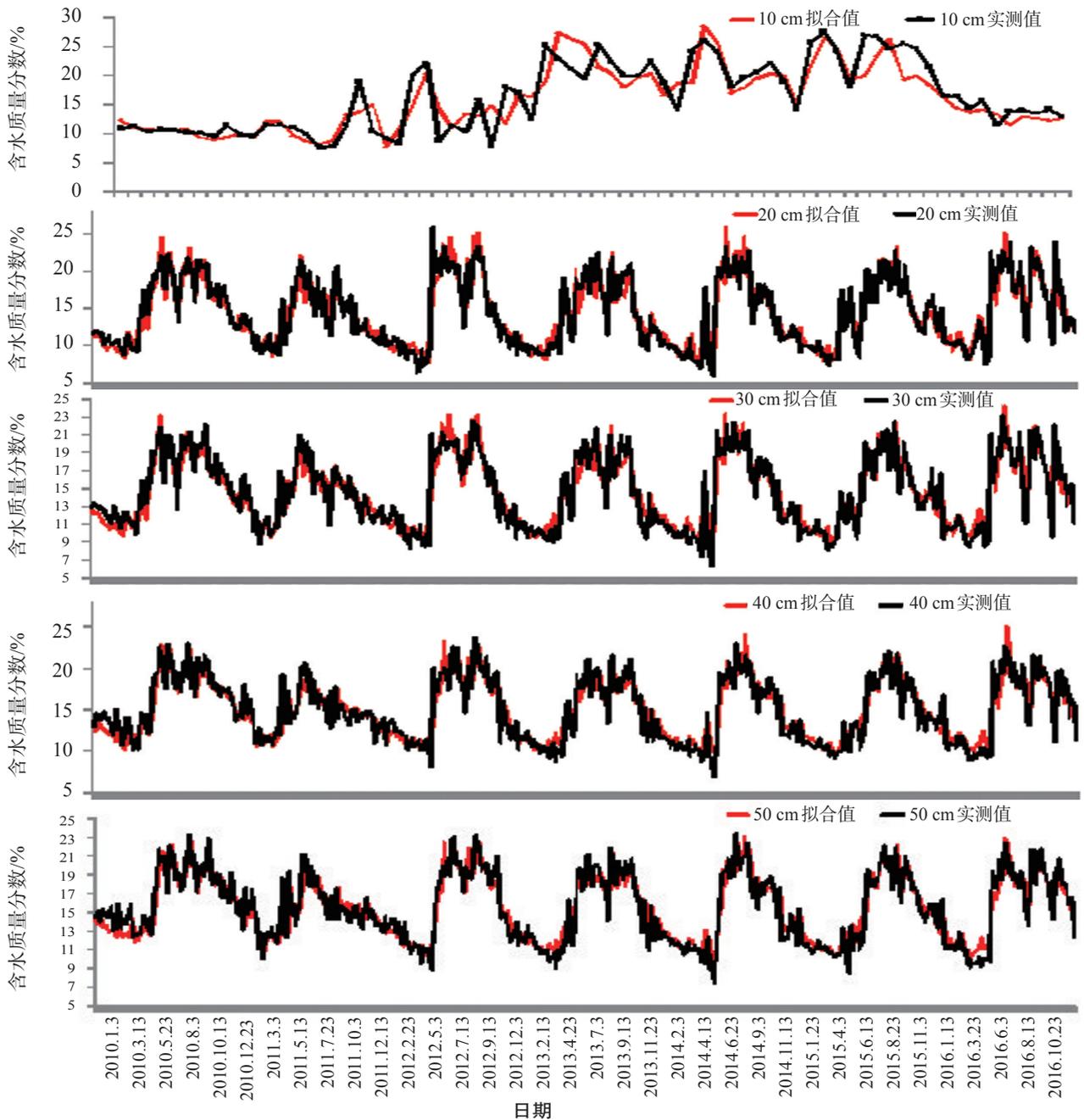


图4 2010—2016年各层深度土壤湿度拟合值与实测值比较图

前 20 d 和前 120 d 无雨日数两个因子;30 cm 土壤湿度回归方程引入了前 7 d 和前 90 d 无雨日数两个因子;40 cm 和 50 cm 土壤湿度回归方程均引入了前 90 d 和前 150 d 无雨日数两个因子。除了前 90 d 和前 120 d 较长时间的无雨日数外,前 7 d、前 8 d 和前 20 d 这样相对较短时间的无雨日数对 10 cm、20 cm 和 30 cm 土壤湿度影响也较大,而 40 cm 和 50 cm 土壤湿度受前 90 d 和前 150 d 较长时间的无雨日数影响较大。

各深度土壤湿度历史值与其相关因子的模拟,可形成以下拟合图(图 2)。

西昌市常年干雨季分明,旱地土壤湿度与气象因素有着非常密切的关系,从图 2 可以看出,各层深度土壤湿度的拟合值与实测值曲线比较吻合,拟合效果较好,同时,也反映出旱地土壤湿度与降水量、蒸发量、无雨日数等气象因子关系更密切和直接。得到各层深度土壤湿度的模拟回归方程后,利用这些方程对 2017 年各层深度土壤湿度进行了预测检

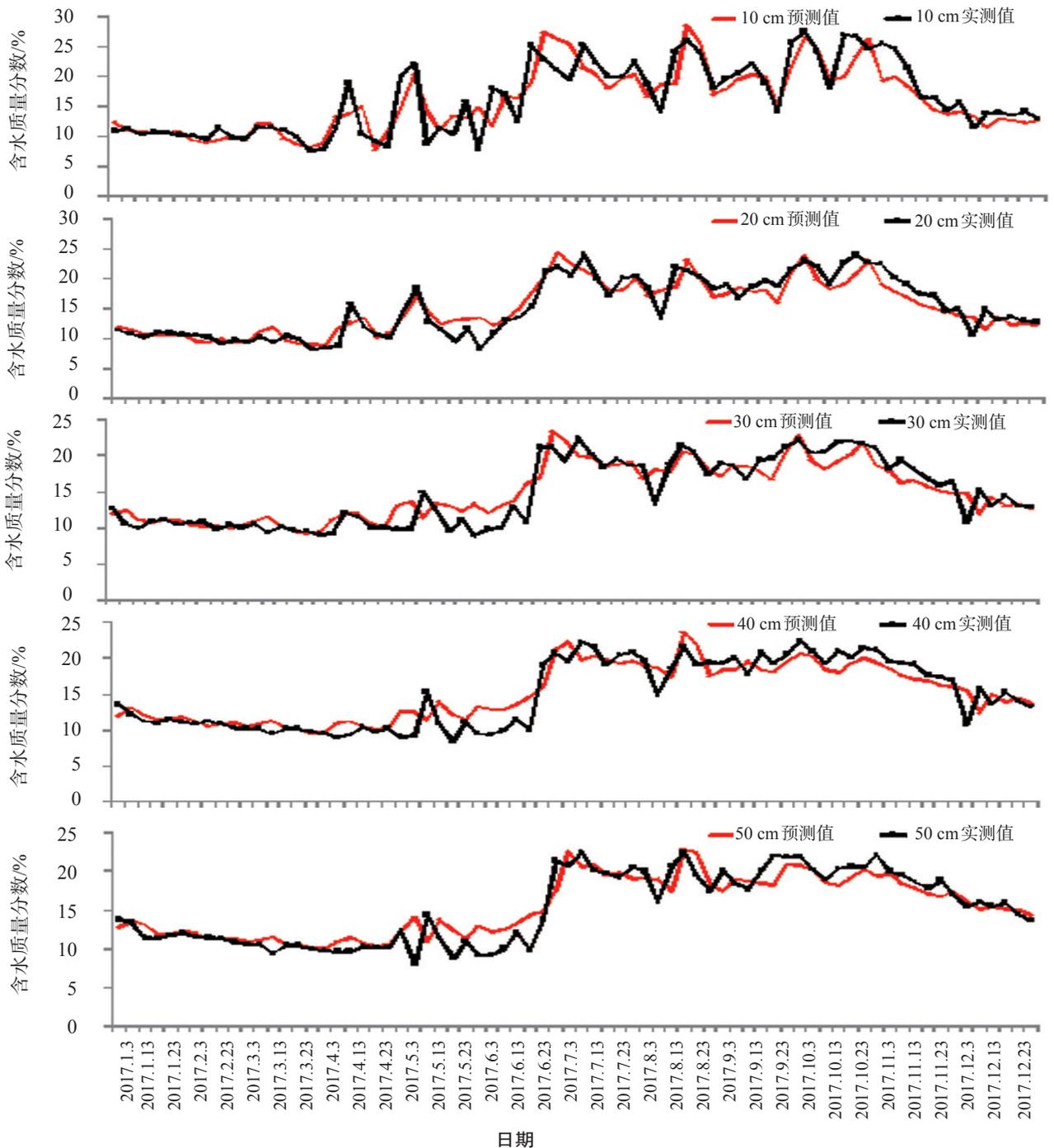


图 5 2017 年各层深度土壤湿度预测值与实测值比较图

表2 各深度回归方程

深度/cm	回归方程	复相关系数(R)	回归标准差(SE)
10	$Y=27.7137+0.1492*X1+0.0331*X11-0.5002*X16-0.5998*X36-0.1281*X40-0.0817*X43$	0.91	2.32
20	$Y=25.1297+0.1073*X1+0.0312*X11-0.0613*X22-0.2666*X39-0.0792*X43$	0.90	2.00
30	$Y=23.4907+0.0743*X1+0.0159*X12-0.0561*X25-0.1922*X35-0.1136*X42$	0.89	1.84
40	$Y=23.7510+0.0553*X1+0.0174*X12-0.0561*X23-0.0855*X42-0.0279*X44$	0.87	1.88
50	$Y=24.5254+0.0332*X1+0.0161*X12-0.0448*X25-0.0713*X42-0.0384*X44$	0.87	1.83

注:Y为相应深度层次的土壤含水质量分数;以上回归方程均通过了 $\alpha=0.01$ 水平的极显著性检验。

验,生成预测值与实测值的比较图,如图3。

从以上历史拟合图(图2)及对2017年湿度预测检验图(图3)来看,各深度土壤湿度以年为单位作周期性震荡,与陈少勇等^[8]的分析结果一致,且从多年来看,西昌地区1月到5月土壤偏旱(土壤相对湿度在60%以下)。拟合情况方面,其历史拟合的精度好于预测精度,同时也可以看到,在10 cm、20 cm、30 cm的历史拟合图及10 cm、20 cm的预测检验图中,若遇某日或某几日出现雨量很大的情形,拟合值和预测值将明显大于实测值,这是应该避免的失真情形,而40 cm、50 cm较深层的土层,其湿度受地面陡增雨量影响较小。但总体上看,回归拟合和预测检验都反映出了雨季和干季土壤湿度变化的基本趋势,方程拟合效果比较好。

2.2 备选因子中加入上一次实测值(情况二)

情况一是用降水量、蒸发量、无雨日数等因子来拟合土壤湿度,未加入上一次实测值作为备选因子,下面,在备选因子中加入上一次土壤湿度实测值(X145)来进行筛选。同时,对10 cm、20 cm、30 cm土壤湿度而言,如遇降水量很大的情形,考虑到径流或土壤持水能力等因素,其土壤湿度并不会随降水量的增加而无限制的增加,如不对过大降水量作限制处理,拟合或预测的土壤湿度会远大于实测值。但某次出现过大大降水量对较深层次的40 cm和50 cm影响不大,因此,这里仅对10 cm、20 cm和30 cm作降水过大时的限制处理。通过应用本逐步回归程序,得到以下经验阈值,即对于10 cm这一层次而言,当同时满足观测当天降水量大于20 mm和前5 d合计降水量(20 cm、30 cm这两个层次为前4 d合计降水量)大于60 mm时,按观测当天降水量等于20 mm和前5 d合计降水量等于60 mm计,或者只

表3 各深度回归方程

深度/cm	回归方程	复相关系数(R)	回归标准差(SE)
10	$Y=13.4349+0.1895*X1+0.0546*X6-0.2811*X16-1.0559*X31-0.0354*X44+0.4637*X145$	0.93	2.02
20	$Y=12.9477+0.1371*X1+0.0454*X5-0.2356*X16-0.3205*X36-0.0400*X43+0.4582*X145$	0.93	1.66
30	$Y=12.0366+0.1085*X1+0.0387*X5-0.0306*X22-0.1596*X38-0.0399*X43+0.4846*X145$	0.92	1.60
40	$Y=12.1306+0.0576*X1+0.0261*X6-0.0367*X23-0.0641*X42+0.4929*X145$	0.90	1.65
50	$Y=10.8665+0.0335*X1+0.0206*X6-0.0322*X24-0.0552*X42+0.5607*X145$	0.91	1.53

注:Y为相应深度层次的土壤重量含水率;以上回归方程均通过了 $\alpha=0.01$ 水平的极显著性检验。

要观测当天降水量大于70 mm,则当天降水量按20 mm计。作出以上处理并加入上一次实测值这一因子后,得到各层次的回归方程,见表3。

从表中可以看出,各层次的回归方程中,均引入了上一次实测值这个因子,且与因变量呈正相关,另外,各层次回归方程也均引入了降水量、蒸发量及无雨日数三个因子,且土壤湿度与降水量呈正相关,与蒸发量和无雨日数呈负相关。与未加入上一次实测值因子的情况一比较,此次各层次的回归方程其复相关系数(R)增大,回归标准差(SE)减小,表明回归效果相对较好。利用逐步回归程序生成拟合图4。

深度10~50 cm土壤湿度拟合值与实测值的平均相对误差分别为:11.18%、9.25%、8.70%、8.39%和7.77%;拟合值与实测值的绝对误差 ≤ 3 的样本数占总样本数的百分比分别为:88%、93%、92%、92%和94%,表明此次历史拟合效果较好。将2017年的自变量值代入回归方程中,计算得到2017年土壤湿度预测值,各层次预测值与实测值的比较如图5。

从以上回归方程的拟合和预测情况来看,情况二加入上一次实测值这一因子后所得回归方程,其对历史的拟合和对后期的预测,精度均较情况一有所提高。而情况二的历史拟合精度仍高于其预测精度,二者精度的差异表明仍有能精确解释因变量的自变量未被选入方程,即其未在备选因子中。总体来看,情况二的回归方程精度较高,有较好的参考和应用价值,但此回归方程也并非最终方程,随着时间的推移和观测样本量的增多,以及非线性因子的加入,所生成的回归方程将更能准确地表达土壤湿度和因子的关系,其拟合和预测精度也将进一

步增加。

3 分析和讨论

(1) 通过逐步回归的筛选结果可以看到,土壤重量含水率与降水量、蒸发量、无雨日数等气象方面的因子之间具有显著的相关性,而气温、地温等因子未被选入回归方程,显示出其与降水量、蒸发量等可能存在一定的共线性。比较两种情况的逐步回归可以看出,情况一是单纯用降水量、蒸发量、无雨日数等这些气象因子来拟合方程,其拟合精度和预测精度低于情况二;情况二虽然拟合、预测精度均明显增加,但其需要依赖上一次的土壤湿度实测值。

(2) 除了降水、蒸发量、无雨日数这些因子之外,可能还存在其它能够精确解释因变量的因子,如要提高拟合精度,需要更加准确地找出这些与因变量相关性最好的某个或某几个因子,或者找出其

所在的范围,通过逐步回归筛选出来。例如地表径流、地下渗透、侧渗等因子。

(3) 这里考虑的只是线性关系回归,而因变量和自变量之间有可能还存在非线性关系。非线性分析包括进行分段模拟,例如总体上分成雨季、干季和干雨季过渡期三个时段进行模拟等等。

(4) 由于土壤湿度的观测时间比较固定,但降水时间是不固定的,当天降水或当天的部份降水有时可能出现在观测之前,也有可能出现在观测之后,因此会对拟合造成一定的误差,对于这种情况,要增加拟合精度,备选的雨量资料可能要精确到小时雨量。

(5) 土壤质地不均匀会造成土壤持水或水分的侧渗、下渗的量或速度不一样,从而导致土壤含水量测定有一定误差,即使同一天同一时次观测,同一层次的几个重复之间的土壤湿度也会存在一定的误差,从而给拟合带来误差。

参考文献:

- [1] 罗晓玲,熊仿秋,钟林,等.凉山州荞麦燕麦产区土壤养分监测及施肥建议[J].西昌学院学报(自然科学版),2014(4):11-13.
- [2] 张鹏,易晓鑫,李桂霞,等.会理南阁乡植烟土壤中铅、镉、铬、砷含量测定及污染评价[J].西昌学院学报(自然科学版),2013(1):21-23,28.
- [3] 彭音,李静,巩发永.凉山州土壤和部分果蔬Cu、Cd含量关系及污染评价[J].西昌学院学报(自然科学版),2010(2):12-14.
- [4] 李凤霞,颜亮东,周秉荣,等.青海省降水与旱地土壤水分关系的研究[J].青海气象,2005(4):2-8,16.
- [5] 谷永利,刘学锋,杨贤,等.河北省土壤水分分布及变化特征[J].干旱区资源与环境,2011(3):118-121.
- [6] 王艳丹,张梦寅,范建成,等.金沙江干热河谷银合欢人工林的土壤水分变化特征[J].热带生物学报,2018(1):61-68.
- [7] 李涵茂,方丽,贺京,等.基于前期降水量和蒸发量的土壤湿度预测研究[J].中国农学通报,2012(14):252-257.
- [8] 陈少勇,郭玉珍,郑延祥,等.甘肃旱作农业区降水对土壤水分的影响[J].中国沙漠,2012(1):155-162.

(责任编辑:曲继鹏)