

秸秆与地膜覆盖玉米农田土壤水分时空动态变化 ——兼评回归等值线法的应用*

卜玉山¹ 苗果园² 周乃健² 王建程¹ 邵海林¹

(1 山西农业大学资源环境学院; 2 山西农业大学农学院, 山西太谷 030801)

摘要 利用回归等值线法对秸秆和地膜覆盖玉米农田土壤水分时空动态变化进行了分析比较。结果表明:从2002年4月29日(玉米出苗期)至2003年1月4日的250 d内,对照秸秆和地膜覆盖处理下,在0~150 cm土层内的土壤含水量随时间变化都呈“降低—增加”的趋势,随土层深度变化呈“降低—增加—降低”的趋势。土壤含水量随时间而降低阶段与玉米生育期耗水量增加阶段相吻合。对照处理最低水分区域出现提前,位置上升;地膜覆盖处理土壤含水量下降幅度最大,最低水分区域有明显向底层延伸的趋势;而秸秆覆盖处理最低水分区域土壤含水量相对最高。从玉米生育后期一直到测定结束时的翌年1月份,3种覆盖处理土壤含水量都呈上升趋势,且以上层土壤水分增加幅度大于中、下层土壤。回归等值线法反映了土壤水分时空动态变化的基本趋势和规律,具有简单省时、图形简洁明了、信息量大、便于分析等特点,可用于土壤水分测定数据的整理和分析。

关键词 地膜; 秸秆; 土壤水分; 时空分布; 回归等值线图

中图分类号 S152.7 文献标识码 A

农田覆盖具有降低土面蒸发和保持土壤水分的作用,能够促进作物植株蒸腾和提高水分利用率,因而成为干旱、半干旱地区旱作农业生产中重要的栽培技术措施之一^[1]。目前在农业生产中广泛应用的覆盖材料为秸秆和地膜,关于二者覆盖的保水效应已有大量的研究报道,但都是以一定时间一定土层或深度的土壤含水量^[2~5],或一定深度土层的储水量^[6~8],或一定土层或深度土壤水分含量随时间的变化^[9~11],或一定时间土壤水分含量随土壤深度的变化^[12,13]来评价它们的保水作用,没有将土壤水分含量随时间的变化与随土层深度的变化联系起来。而实际情况是,在降水、温度、灌水(如有灌溉条件)、作物蒸腾、土面蒸发、地下水水位和土壤剖面性状等多方面因素的综合作用下,农田土壤水分具有随时间和深度而连续变化的特点。因此,采用土壤水分时空分布等值线图来分析秸秆与地膜覆盖的保水效应能够更全面地符合土壤水分的实际状况及变化特点,信息量也更多,既可反映土壤水分随时间和土层深度的动态变化状况,又可以进一步分析土壤水分动态变化与降水、温度、作物生长等主要影响因素之间的关系^[14,15]。

根据一定时段内多次测定的不同深度土壤含水量的数值绘制土壤水分时空分布等值线图的传统方法是Γ. H. 维索茨基提出的时间等值线法^[16],该法采用内插法手工绘制土壤水分等值线,费工劳神,人为主观因素干扰也较大,而且等值线弯曲变化过多,图形杂乱,规律性差,不利于分析,影响了该法的广泛应用。针对时间等值线法的不足之处,周乃健等提出了利用数学模型描述土壤水分时空动态变化和计算机绘制土壤水分等值线图的回归等值线法^[15,17]。该法简单省时、图形整洁、等值线变化规律性强,便于分析。但该法也存在一些不足之处,还没有得到广泛的应用,更缺少全面的实用性评价。本文利用回归等值线法对秸秆和地膜覆盖下的土壤水分时空动态变化进行了较为深入和全面的分析比较,并对该法的应用条件和优缺点进行了综合分析评价,以期推动该法的应用和完善。

1 材料与方法

1.1 试验材料

覆盖材料为普通地膜和小麦秸秆;试验地土层

* 山西省归国留学人员基金(99045)、山西省攻关基金(011053)资助

作者简介:卜玉山(1957~),男,博士,主要从事植物营养及土壤肥力与肥料等方面的研究。E-mail: yushanbu@scau.edu.cn

收稿日期:2003-10-13;收到修改稿日期:2004-04-22

深厚,地下水埋深在5 m以下,2 m深度内土壤质地均匀,为粘壤土;土壤容重在 $1.20\sim 1.48\text{ g cm}^{-3}$ 之间,土壤类型为碳酸盐褐土;0~20 cm土壤pH为7.9,有机质为 10.1 g kg^{-1} ,碱解氮、速效磷、速效钾分别为 26.4 mg kg^{-1} 、 12.1 mg kg^{-1} 、 174.2 mg kg^{-1} ;玉米品种为农大108。

1.2 试验方法

1.2.1 覆盖试验方法与实施

试验时间2002年4月18日至2003年1月9日,历时266 d。试验前浇足底墒水,而后结合耕地按每 hm^2 375 kg尿素和750 kg过磷酸钙施足底肥,并按设定的间隔埋设与中子仪配套的铝质管,埋深为160 cm。4月18日播种玉米,行距为50 cm,同时按随机区组设计进行覆盖处理,设对照、秸秆覆盖和地膜覆盖3个处理,4次重复,共12个小区,小区面积 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$,秸秆覆盖处理每小区覆盖10 kg小麦秸秆,已埋设好的铝质管处于2个重复中各小区的中央。玉米出苗后每小区留苗 45 ± 1 株,9月15日收获,玉米生长期不浇水,不追肥。在玉米生长期期间的2002年4月29日(首次测定时间,为0 d)开始每隔15 d~20 d用中子仪(L520型智能中子土壤水分仪,江苏省农业科学院原子能所)测定不同覆盖处理下10 cm、30 cm、60 cm、90 cm、120 cm和150 cm深度的土壤水分,玉米收获后在无作物生长情况下和不灌溉条件下,继续测定土壤水分到2003年1月9日(最后一次测定时间,为255 d)为止,共测定14次。

1.2.2 土壤水分时空分布回归方程的确定和土壤水分时空分布图的绘制

采用周乃健等提出的回归等值线法^[15],首先将在不同时间测定的不同深度土壤水分含量(%)根据土壤容重转换为20 cm土层水分毫米数(以mm表示,下同),而后以土壤深度(X_1 , cm)和时间(X_2 , d)为自变量,以土壤水分测定值(Y , mm)为因变量,利用回归方法求出每一个覆盖处理的包括一次交互项的二元二次、二元三次和二元四次3个回归方程,然后根据3个回归方程的复相关系数 R 值随着方程幂次增加而增加的幅度大小以及由回归方程所得值绘制出的土壤水分等值线图的代表性,为每一个覆盖处理选择1个比较适合的回归方程,选择原则为当复相关系数 R 值增加不大时,尽量选择幂次较低的回归方程。而后根据各个方程的回归系数,并设定时空范围(土壤深度和时间范围)和土壤水分间隔步长等参数,利用计算机绘制各覆盖处理的土壤水分时空动态分布图。

2 结果与分析

2.1 回归方程的选择

利用回归法求得不同覆盖处理下土壤水分时空分布的二次、三次和四次回归方程,对照和秸秆覆盖处理的四次回归方程复相关系数($R_{\text{CK,四次}}=0.804$ 和 $R_{\text{秸秆,四次}}=0.709$)都明显大于二次和三次回归方程复相关系数($R_{\text{CK,二次}}=0.641$ 、 $R_{\text{CK,三次}}=0.694$ 、 $R_{\text{秸秆,二次}}=0.514$ 、 $R_{\text{秸秆,三次}}=0.600$),但地膜覆盖处理的回归方程复相关系数($R_{\text{地膜,二次}}=0.732$ 、 $R_{\text{地膜,三次}}=0.768$ 、 $R_{\text{地膜,四次}}=0.823$)随幂次增加而增加的幅度较小,为兼顾3种覆盖处理以及回归方程的一致性和简单性,都选择三次回归方程,所选回归方程如下:

$$\hat{Y}_{\text{对照}} = 47.84 - 0.1431X_1 - 0.1998X_2 + 0.005398X_1^2 + 0.001647X_2^2 - 0.00002768X_1^3 - 0.000002589X_2^3 - 0.0007502X_1X_2 \quad (F = 10.09, F_{0.01} = 2.89, R = 0.694)$$

$$\hat{Y}_{\text{秸秆}} = 65.27 - 0.4528X_1 - 0.1901X_2 + 0.007388X_1^2 + 0.001106X_2^2 - 0.00003040X_1^3 - 0.000001363X_2^3 - 0.0003274X_1X_2 \quad (F = 6.08, F_{0.01} = 2.89, R = 0.600)$$

$$\hat{Y}_{\text{地膜}} = 62.85 - 0.4772X_1 - 0.2876X_2 + 0.006997X_1^2 + 0.002201X_2^2 - 0.00003051X_1^3 - 0.000003771X_2^3 - 0.0005759X_1X_2 \quad (F = 15.66, F_{0.01} = 2.89, R = 0.768)$$

3种覆盖处理所选回归方程的 F 检验结果都达到0.01的显著水平,表明每一个回归方程都较好地反映了相应覆盖处理土壤水分时空分布的状况和特点。另外,在每一个回归方程中都含有不显著的项,但这里为了信息的全面和便于比较,没有将这些不显著的项剔除掉。

各覆盖处理的回归方程常数项理论上为地表($X_1 = 0\text{ cm}$)在起始时间($X_2 = 0\text{ d}$)的土壤含水量(mm),秸秆和地膜覆盖的回归方程常数项明显大于对照处理的回归方程常数项,表明秸秆和地膜覆盖在播种覆盖11 d后第一次测定时($X_2 = 0$),表层土壤含水量就高于对照处理,反映了秸秆和地膜覆盖都具有明显的保水能力,而且秸秆覆盖又略强于地膜覆盖。

回归方程中自变量(X_1 , X_2)的一次项、二次项和一次交互项系数决定着土壤水分随土层深度增加和时间延长而变化的趋势和剧烈程度,在3种覆盖处理的回归方程中,自变量的一次项系数、三次项系数和一次交互项系数都为负值,二次项系数都为正值,而

且自变量一次项系数的绝对值都比二次项系数的绝对值大 2 个数量级, 二次项系数的绝对值又都比三次项系数的绝对值大 2 个 (X_1) 或 3 个 (X_2) 数量级, 表明 3 种覆盖处理土壤水分时空动态变化的趋势相一致, 随时间的延长和土层深度的增加都呈“减少—增加—减少”的变化趋势。对于不同覆盖处理之间土壤水分随时间和土层深度而变化的差异或剧烈程度可通过比较自变量同次项系数的差异进行分析, 但较为繁

杂, 也不易描述, 而利用土壤水分时空分布图来进行分析比较就相对简单, 且具有直观明晰的特点。

2.2 利用回归等值线图分析比较秸秆和地膜覆盖下土壤水分时空分布的差异

根据上面各回归方程的回归系数, 时间范围设定为 0~250 d, 空间范围为 0~150 cm, 土壤水分含量间隔步长为 2 mm, 用计算机绘制出 3 种覆盖处理下的土壤水分时空分布等值线图(见图 1~图 3)。

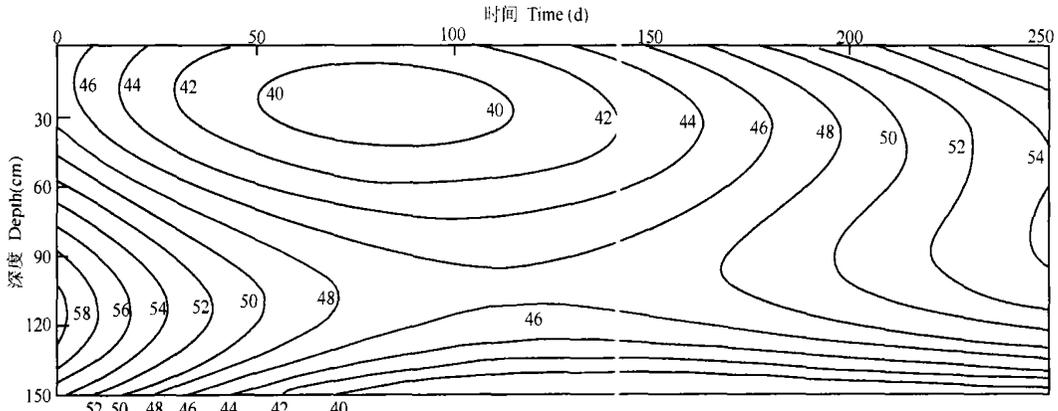


图 1 对照处理土壤水分 (mm) 时空分布

Fig. 1 Soil moisture (mm) distribution with time and space in CK

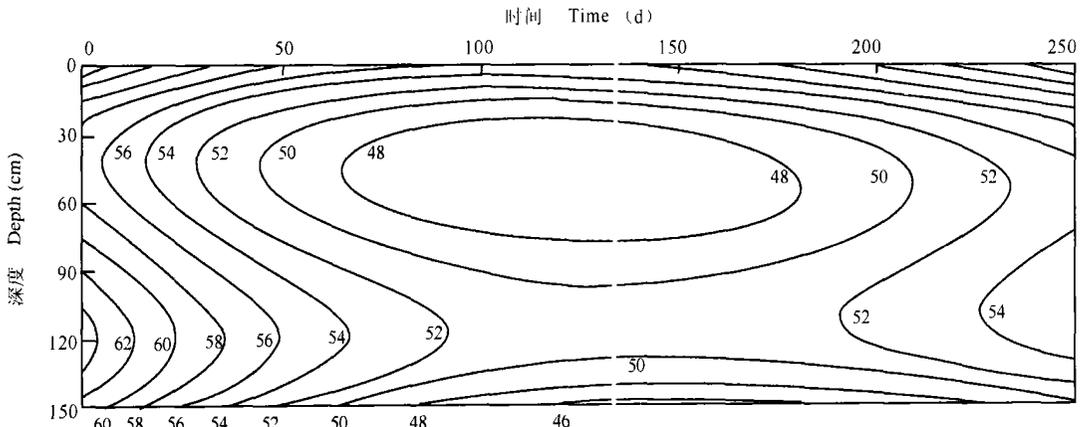


图 2 秸秆覆盖处理土壤水分 (mm) 时空分布

Fig. 2 Soil moisture (mm) distribution with time and space in Treatment SM

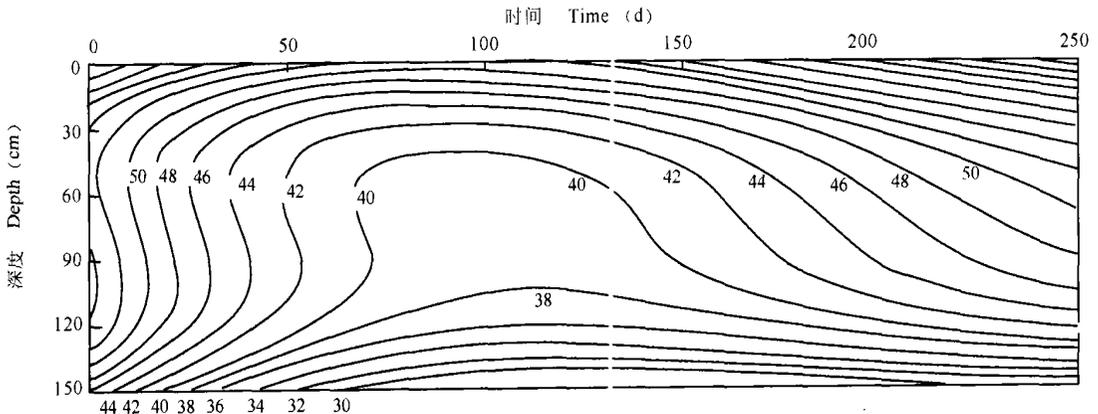


图 3 地膜覆盖处理土壤水分 (mm) 时空分布

Fig. 3 Soil moisture (mm) distribution with time and space in Treatment PM

从图 1~ 图 3 中的左边向右, 土壤水分等值线都呈递减趋势, 而且等值线密度都比较大, 表明从首次土壤水分测定(0 d, 为玉米出苗期)起始, 不同覆盖处理土壤含水量随着时间的推移都急剧下降, 一直到各图的中部, 不同深度土壤水分都降到相对最低, 而且从表层到底层最低水分出现的时间都不同程度地推迟。同时在各图的中部都出现一个最低水分区域, 虽然图 3 中所绘水分等值线没有闭合, 但 3 种覆盖处理的回归方程为同一类型, 只要减小土壤水分含量间隔步长, 在 38 mm~ 40 mm 之间的一些水分等值线在图 3 中就会出现闭合, 因此, 不同覆盖处理的最低水分区域土壤含水量范围分别为: 46 mm < 秸秆覆盖处理 \leq 48 mm、38 mm < 对照处理 \leq 40 mm、38 mm < 地膜覆盖处理 < 40 mm, 而且对照处理最低水分区域的出现比秸秆和地膜覆盖下在时间上明显提前和在土层部位上明显提升。参照表 1 可见, 不同覆盖处理土壤水分含量下降的阶段与玉米生长量以及耗水量增加的阶段相吻合, 一直到玉米生长中后期, 土壤水分含量下降到相对最低点。

不同覆盖处理之间, 最低水分区域的土壤含水量以及出现时间和位置的差异主要是由于降水入渗量、地面蒸发量和玉米耗水量等的不同而造成的, 进而与同一时期的气候因素降水和温度(见表 2)有着密切的关系。对照处理虽然降水入渗量比较大, 但由于强烈的地面蒸发, 最低水分区域出现提前, 位置上升, 土壤含水量也较低; 秸秆覆盖既显著地降低了土面蒸发, 又促进了降水的下渗, 虽然随着玉米生长耗水量增加, 土壤水分也剧烈下降, 但最低水分区域

表 1 玉米生育时期与土壤水分测定时间对比表

Table 1 Matching growing stage of corn with measuring date of soil moisture

玉米生育期 Growing and development stage (mm-dd)	土壤水分测定 Determination of soil moisture	
	日期 Date(mm-dd)	累计时间 Total time(d)
播种覆盖 Sowing and mulching 04-18		
出苗 Emerging 04-28~ 05-08	04-29	0
拔节 Jointing 06-11~ 06-17	06-18	50
抽雄 Heading 07-09~ 07-15	08-07	100
成熟 Maturing 09-05~ 09-12	09-26	150

出现推迟, 土壤含水量也较高; 地膜覆盖虽然显著降低了土面蒸发, 保水性强, 但渗水性差, 减少了降水的入渗量, 而且玉米生长量较大, 耗水量也较多, 因此, 地膜覆盖玉米对土壤水分耗竭最为严重。最低水分区域土壤含水量明显低于秸秆覆盖, 甚至低于对照处理, 而且具有向底层土壤延伸的趋势。

表 2 2002 年 1 月至 2003 年 1 月月降水量和月平均温度

Table 2 Monthly precipitation and monthly average temperature from January, 2002 to January, 2003

时间 Time (yyy-mm)	月降水量 Monthly precipitation (mm)	月平均温度 Monthly average <i>t</i> ($^{\circ}$ C)	时间 Time (yyy-mm)	月降水量 Monthly precipitation (mm)	月平均温度 Monthly average <i>t</i> ($^{\circ}$ C)
2002-01	1	- 0.9	2002-08	31	24.1
2002-02	0	2.2	2002-09	77	16.4
2002-03	4	7.9	2002-10	50	10.2
2002-04	18	12.8	2002-11	0	5.1
2002-05	39	17.6	2002-12	14	- 4.9
2002-06	112	21.9	2003-01	4	- 5.0
2002-07	5	25.1			

土壤水分降低到相对最低后, 随着时间的推移水分等值线又呈递增。表明玉米生育后期耗水量逐

渐下降, 土壤水分开始回升, 从玉米收获后到翌年 1 月(当地最冷月)土壤含水量都呈增加趋势。根据水

分等值线密度的大小, 3 种覆盖处理上层土壤水分增加幅度都明显高于中层土壤, 而下层土壤 3 种覆盖处理水分等值线分布密度又有所增大, 但水分等值线基本都呈左右走向, 表明下层土壤水分的垂直变化较大, 随时间而增加的幅度较小。这是由于玉米收获后, 气温逐渐降低(见表 2), 在没有作物消耗和土面蒸发逐渐降低的情况下, 3 种覆盖处理通体土壤水分都表现为上升, 但这一时期有限的降水量(见表 2)主要使上层土壤水分明显增加, 中、下层土壤水分由于下渗水分数量有限而增加不大。到土壤进入冻结期, 由于上层土壤水分的结冰, 中、下层土壤水分通过毛细管向上层结冰处的聚集更加强了这种趋势。秸秆和地膜覆盖虽然会进一步降低土面蒸发, 但在这一时期二者覆盖下土壤水分的增加幅度并不比对照大。

图 2 和图 3 中的上部水分等值线分布都呈由上向下递减的趋势, 而且水分等值线的密度都比较大, 表明秸秆和地膜覆盖下, 由地表向下土壤水分的下降比较剧烈, 这是由于秸秆和地膜覆盖都具有显著的保水作用, 下层水分沿土壤毛细管上升后相对聚集在表层土壤中, 在玉米生育期间还由于玉米主要消耗中下层土壤水分也使土壤水分由地表向下递减。图 1 的上部水分等值线分布也有此种趋势, 但区域狭窄, 水分等值线也比较稀疏, 而且更倾向于上下走向, 表明对照处理土壤水分由地表向下的递减幅度不大, 但在冬季, 由于表层土壤水分结冰聚水的作用, 这种趋势有所增强。

图 1~ 图 3 中的下部土壤水分等值线分布由底部向上都呈递增趋势, 表明在测定深度范围内(0~ 150 cm), 本试验地土壤水分动态变化不受地下水的影响, 而主要受降水及其入渗量、地面蒸发、土壤水

下渗、玉米生长期耗水等因素的影响。但底部水分等值线数值的大小、疏密程度以及向上延伸程度不同覆盖处理有所不同。图 3 中的下部各水分等值线数值相对最小, 而且密度大, 表明地膜覆盖下的下层土壤得到来自上层土壤的水分补充量少, 再加地膜覆盖玉米生长量相对较大, 对下层土壤水分的消耗量也较大, 造成下层土壤水分的剧烈下降。秸秆覆盖的下层土壤水分来自上层土壤的补充量较大, 所以下层土壤水分等值线数值都普遍相对较大。对照处理下层土壤水分等值线数值都处于地膜覆盖与秸秆覆盖之间, 表明对照虽然降水入渗量也较大, 但蒸发量也较大, 下层土壤水分来自上层土壤的补充较秸秆覆盖少, 但多于地膜覆盖。

图 1 和图 2 中土壤含水量随土层深度的变化在整个时段(0~ 250 d)内都为“下降—增加—下降”的趋势, 但图 3 中仅大约在 0~ 150 d 之间呈“下降—增加—下降”的趋势, 且增加部分的范围和幅度都较小, 而在 150 d~ 250 d 之间呈单向下下降趋势。在图 1~ 图 3 中土壤含水量随时间的变化总体上都呈“降低—增加”趋势。由此可见, 等值线图分析所得土壤水分变化总体规律与回归方程分析结果有所差异, 这一方面是由于图中所显示的土壤水分随土层深度和时间的变化趋势是自变量(X_1, X_2)各次项综合作用的反映; 另一方面等值线图反映的是实测土层深度(0~ 150 cm)和时段(0~ 255 d)内的土壤水分时空动态变化, 而回归方程所反映的规律超出了实测深度和时间范围。

2.3 土壤水分时空分布回归方程和回归等值线图的评价

土壤水分等值线图代表性的好坏主要取决于回

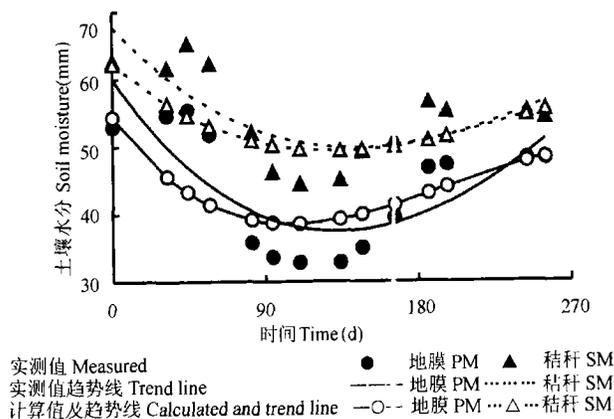


图 4 秸秆地膜覆盖 90cm 深处土壤水分随时间变化趋势

Fig. 4 Temporal variation of soil moisture at 90 cm depth in Treatment SM and Treatment PM

归方程的配置与选择。图4为秸秆和地膜覆盖处理在90 cm深度的土壤含水量随时间变化的回归方程计算值趋势线与实测值及其三次趋势线的比较,图5为秸秆和地膜覆盖处理在32 d时土壤含水量随深度变化的回归方程计算值趋势线与实测值及其三次趋势线的比较。由图4和图5可见,所选回归方程

计算值与一些实测值的偏离比较大,但计算值趋势线与实测值三次趋势线的变化趋势比较一致,因而,所选回归方程和回归等值线图基本能够描述和反映相应覆盖处理土壤水分时空变化的总体规律和趋势。

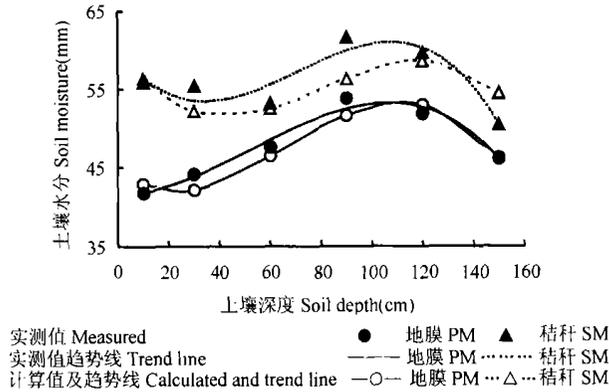


图5 秸秆地膜覆盖32d时土壤水分随深度变化趋势

Fig. 5 Spatial variation of soil moisture at 32d in Treatment SM and Treatment PM

土壤水分时空分布回归等值线法特别适用于土层深厚和剖面土层性质特别是质地比较一致的土壤。在时间上,该法更适用于反映较长时间内的土壤水分动态变化,突出土壤水分时空变化的内在规律,同时具有应用简单方便,省工省时,图形整洁,规律性强,便于分析和描述。因而,回归等值线法完全可以成为描述和分析土壤水分时空分布变化特点的良好方法。

3 结论

1) 在试验期间(0~250 d),3种覆盖处理土壤含水量随时间都呈“降低—增加”的变化趋势,在测定深度(0~150 cm),秸秆覆盖和对照处理土壤含水量随深度增加呈“降低—增加—降低”的变化趋势,而地膜覆盖土壤水分随土层深度的变化虽也有此种趋势,但“增加”部分范围和幅度都不大,特别是在约150 d后的时段内基本呈单向“下降”趋势。

2) 土壤水分由起始随时间和深度而下降到一个最低水分区域,与玉米耗水量随生育进程增加相吻合,但对照处理由于强烈的地面蒸发,最低水分区域出现提前,位置上升,秸秆覆盖最低水分区域出现明显推迟,而且土壤含水量相对最高,地膜覆盖土壤水分下降最为剧烈,最低水分区域土壤含水量相对最低,且有向底层延伸的趋势。

3) 从玉米生育后期,土壤水分开始回升,一直到试验结束时的翌年1月份,水分增加幅度上层土壤大于中、下层土壤,但秸秆和地膜覆盖土壤水分增加幅度并不比对照大。

4) 土壤水分由地表向下的第一次下降主要是由于玉米耗水的结果,对照处理由于强烈的地面蒸发,土壤水分下降幅度减小,而秸秆和地膜覆盖由于显著的保水作用,增大了上层土壤水分下降的幅度和剧烈程度。底层土壤水分由上向下的下降趋势表明试验地测定深度范围内土壤水分不受地下水的影响。

5) 回归等值线法能够反映土壤水分时空动态变化的基本趋势和规律,具有简单省时、图形简洁明了、信息量大、便于分析等特点,可以用于土壤水分测定数据的整理和分析。

参考文献

- [1] 赵聚宝,李克煌. 干旱与农业. 北京:中国农业出版社, 1995. 254~332. Zhao J B, Li K H. Drought and Agriculture (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Press, 1995. 254~332
- [2] 袁家富. 秸秆覆盖效应及增产作用. 生态农业研究, 1996, 4(3): 61~65. Yuan J F. Effects of straw mulch in wheat field and its effects on yield increase (In Chinese). Eco-Agriculture Research, 1996, 4(3): 61~65
- [3] 杨艳敏,刘小京,孙宏勇等. 旱稻夏季地膜覆盖栽培的生态学效应. 干旱地区农业研究, 2000, 18(3): 50~54. Yang Y M,

- Liu X J, Sun H Y, *et al.* A preliminary study on ecological effect of plastic-film mulching on upland rice in summer (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2000, 18 (3): 50~ 54
- [4] 任军荣, 杨建利, 李殿荣. 旱地油菜地膜覆盖栽培的水热效应研究. *中国油料作物学报*, 2001, 23(3): 34~ 37. Ren J R, Yang J L, Li D R. Moisture and thermal effect of rapeseed cultivated by mulching plastic film in dry land (In Chinese). *Chinese Journal of Oil Crop Science*, 2001, 23 (3): 34~ 37
- [5] Li C H, Ma C L. Soil cover with organic mulch and its influences on soil physical parameters (I) Soil moisture content under organic mulch. *Transactions of CSAE*, 1997, 13 (1): 107~ 111
- [6] 陈素英, 张喜英, 胡春胜等. 秸秆覆盖对夏玉米生长过程及水分利用的影响. *干旱地区农业研究*, 2002, 2 (4): 55~ 57. Chen S Y, Zhang X Y, Hu C S, *et al.* Effects of mulching on growth and soil water dynamics of summer corn field (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2002, 20 (4): 55~ 57
- [7] 胡芬, 陈尚模. 寿阳试验区玉米地农田水分平衡及其覆盖调控试验. *农业工程学报*, 2000, 16(4): 146~ 148. Hu F, Chen S M. The equilibrium of corn field water and its regulating and controlling experiment with mulching at Shouyang experimental area (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2000, 16 (4): 146~ 148
- [8] 晋凡生, 张宝林. 旱塬地玉米农田免耕覆盖的土壤环境效应. *水土保持研究*, 2000, 7 (4): 60~ 64. Jin F S, Zhang B L. The effects of no-tillage with mulch on soil environment for maize dry land (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7 (4): 60~ 64
- [9] 钟兆站, 赵聚宝, 薛军红等. 草纤维膜与塑料地膜覆盖农田的生态效应比较. *中国农业气象*, 1996, 17(4): 28~ 33. Zhong Z Z, Zhao J B, Xue J H, *et al.* Contrast of effect on field ecology between grassy fibre film and plastics film mulch (In Chinese). *Chinese Agricultural Meteorology*, 1996, 17 (4): 28~ 33
- [10] 朱自玺, 方文松, 赵国强等. 麦秸和残茬覆盖对夏玉米农田小气候的影响. *干旱地区农业研究*, 2000, 18(2): 19~ 24. Zhu Z X, Fang W S, Zhao G Q, *et al.* Effects of straw and residue mulching on microclimate of summer corn field (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2000, 18 (2): 19~ 24
- [11] Unger P W. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1978, 42 (3): 486~ 491
- [12] 吕殿青, 邵明安, 王全九. 垄沟耕作条件下的土壤水分分布试验研究. *土壤学报*, 2003, 40(1): 147~ 150. Lu D Q, Shao M A, Wang Q J. Experimental study on soil water distribution under ridge and furrow cultivation (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(1): 147~ 150
- [13] 王喜庆, 李生秀, 高亚军. 地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响. *作物学报*, 1998, 24(3): 348~ 353. Wang X Q, Li S X, Gao Y J. Effect of plastic film mulching on ecophysiology and yield of the spring maize's on the arid land (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24 (3): 348~ 353
- [14] 信 诠, 赵聚宝. 旱地农田水分状况与调查技术. 北京: 农业出版社, 1992. 192~ 194. Xin N Q, Zhao J B. The water condition of dry fam land and its investigating techniques (In Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1992. 192~ 194
- [15] 周乃健, 王志亚, 郝久青. 回归等值线图在土壤水分时空变化动态分析中的应用. *农业工程学报*, 1997, 13(1): 112~ 115. Zhou N J, Wang Z Y, Hao J Q. Application of regression isogram to dynamic analysis of soil moisture variations with time and space (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 1997, 13 (1): 112~ 115
- [16] Pote A A 著. 傅作钧, 陶炳炎, 江平译. 土壤水分状况的研究方法. 北京: 中国工业出版社, 1965. 174~ 199. Pote A A. ed. Fu Z J, Tao B Y, Jiang P. trans. Методы изучения водного режима почв. Chinese Ed. Beijing: Chinese Industrial Press, 1965. 174~ 199
- [17] 周乃健, 苗果园, 尹钧等. 回归等值线图在农业科研资料分析中的应用. *山西农业大学学报*, 1998, 18(2): 105~ 107. Zhou N J, Miao G Y, Yin J, *et al.* Application of regression isogram in the analysis of agricultural scientific research data (In Chinese). *J. Shanxi Agricultural University*, 1998, 18 (2): 105~ 107

**TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION OF SOIL MOISTURE
IN CORN FIELD MULCHED WITH STRAW AND PLASTIC FILM
—SIMULTANEOUS EVALUATION OF THE APPLICATION OF REGRESSION ISOGRAM**

Bu Yushan¹ Miao Guoyuan² Zhou Naijian² Wang Jiancheng¹ Shao Hailin¹

(1 College of Resource and Environment Science; 2 College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi, 030801, China)

Abstract Regression isogram was employed to analyze temporal and spatial variation of soil moisture in cornfield mulched with straw and plastic film. The results showed that soil moisture in CK, Treatment SM (straw mulching), and Treatment PM (plastic film mulching) all followed the same trend of ‘going down first and then rising up’ with the time in the experimental period of 250 d; and then the trend turned downward again with the depth in profile to 150 cm. The decreasing in soil moisture with the time was parallel to the rising intensity of soil water consumption by corn. The lowest soil water zone occurred much earlier and much closer to the soil surface in CK than in Treatments SM and PM. Treatment PM dropped the most rapidly in soil water content and its lowest soil water zone had a trend of extending downward, whereas Treatment SM had the highest soil moisture content in the lowest soil water zone. The soil moisture of cornfield in CK and the 2 treatments began to increase continuously from the late growth period of corn to the end of the experiment (Jan. 4, 2003), much more in the upper layer than in the middle layer or bottom layer. It can thus be inferred that regression isogram can be used to reflect the trend and pattern of the temporal and spatial variation of soil moisture and has the characteristics of being simple and time-saving, explicit in graph, vast in information, and easy to analyze. Therefore, it can be used as a good tool for collation and analysis of soil moisture data.

Key words Plastic film; Straw; Temporal and spatial distribution; Soil moisture; Regression isogram