

农田下垫面处理对降雨入渗的影响

付玉娟¹, 祝陈梦媛¹, 张旭东¹, 寇尔丹², 刘环玉¹

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866; 2. 沈阳浑河管理中心, 沈阳 110015)

摘要:为分析田间起垄和覆膜对降雨入渗过程的影响,在内蒙古通辽市开鲁县开展了平整裸地(PL)、平整地面(PZ)、不覆膜起垄(QL)和覆膜起垄(ML)4种下垫面处理的田间降雨入渗监测试验。通过监测玉米生育期5次降雨前后不同处理土壤含水率的变化过程,分析了各下垫面处理对降雨入渗再分配过程的影响。结果表明:(1)起垄和覆膜对农田降雨入渗过程的影响与降雨量直接相关,在雨量较小时垄沟和覆膜对降雨的入渗过程影响不明显,在降雨量达到18 mm以上时,垄沟的集雨增渗作用显现,入渗量及入渗深度都有明显的增加,而当雨量达到33 mm左右及以上时,受降雨类型的影响,入渗雨量并没有随着降雨量的增加而增加;(2)各处理对降水入渗量的影响有明显的差异,QL处理因为垄沟汇集雨水的作用增加了降雨的入渗量及入渗深度,沟中剖面比PZ处理最多可增加入渗量76%;ML处理的覆膜削弱了垄沟的集雨作用,比PZ处理最多可增加入渗量39%;但由于膜的不透水作用使保留在表层土壤的水量相对减少,有更多的雨水向下运移,因此ML处理增加了降雨的入渗深度,比PZ处理的入渗深度增加约30 cm。

关键词:起垄覆膜; 降雨再分配; 入渗量; 入渗深度

中图分类号:S275.3; S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0074-06

Rainfall Infiltration Characteristics of Farmland Underlying Surfaces Treated with Different Practices

FU Yujuan¹, ZHU Chenmengyuan¹, ZHANG Xudong¹, KOU Erdan², LIU Huanyu¹

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2 Management Center of Hunhe River, Shenyang 110015, China)

Abstract: In order to analyze the influence of ridge and film mulching on the process of rainfall infiltration, field trials of four underlying surface treatments including the open bare land (PL), leveling ground (PZ), ridge without mulching (QL) and ridge with mulching (ML) were carried out in Kailu County, Tongliao City, Inner Mongolia. The changes of soil moisture contents of different treatments before and after 5 rainfall events in maize growth period and the effects of underlying surface treatment on rainfall infiltration redistribution process were analyzed. The results showed that: (1) the influence of ridge and film on the rainfall infiltration process of farmland was directly related to the amount of rainfall; when the rainfall was small, the influence of furrow and film on the infiltration process of rainfall was not obvious; when the rainfall reached 18 mm or more, the effect of rainwater infiltration increased in the ditch, and the infiltration volumes and infiltration depths increased significantly; when the rainfall reached about 33 mm, the infiltration rainfall decreased due to the types of rainfall; (2) the treatments had different effects on rainfall infiltration; QL treatment could increase infiltration volume and infiltration depth due to the accumulation of rainwater in furrows; the mid-channel profile could increase the infiltration rate up to 76% compared with PZ treatment; the film of ML treatment weakened the rainwater collecting effect of the furrow, which could increase the infiltration amount up to 39% compared with the PZ treatment; however, the amount of water retained in the surface soil was relatively reduced, and more rainwater migrated downward due to the impervious effect of the membrane under ML treatment, which increased the infiltration depth of the rainfall and increased the infiltration depth by about 30 cm compared to the PZ treatment.

收稿日期:2018-10-07

修回日期:2018-11-06

资助项目:国家自然科学基金(51609137);辽宁省教育厅科学研究一般项目(L2015475)

第一作者:付玉娟(1980—),女,陕西蒲城人,博士,硕士生导师,主要从事水资源高效利用研究。E-mail:fyj0249@sina.com

通信作者:张旭东(1979—),男,河南巩义人,博士,硕士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:zxddd@126.com

Keywords: ridging and mulching; rainfall redistribution process; infiltration volume; infiltration depth

田间垄沟集雨栽培能够在沟内聚集雨水,垄上产生微流,形成田间微型产汇流系统,它通过田间地表微地形的改变,增加其在地面的滞留时间,使降水经垄台向沟中聚集下渗,土壤中的降水得到有效蓄存,达到增加田间水分下渗的目的^[1-2]。覆盖技术是旱作区农业生产的重要措施之一,具有保墒蓄水、防止蒸发、减少径流、保持水土的功能,此外还有保护土壤结构、调节地温、抑制杂草、提高水分利用效率和增加产量等作用^[3]。各种地面覆盖材料的应用改变了土壤水分的蒸发和入渗界面,影响土壤水分运移特征。目前关于覆膜条件下的水分运移规律的研究多集中在膜下滴灌条件下的水分或者水盐运移规律中^[4],探讨覆膜对降雨入渗影响的相关研究较少。肖继兵等^[5]在辽西北半干旱区通过 7 a 的试验研究表明,沟垄覆盖集雨技术增加降雨入渗深度,蓄墒率提高 72%,水分利用效率比对照增加了 24.66%~36.07%;但试验结果也表明在降雨多的年份,垄上覆膜在集雨的同时阻隔降雨的入渗,进而造成处理土壤水分低于对照;如玉米生育期间降雨量较少,可集雨水少,垄沟覆膜的增墒效果也不明显。任小龙等^[6]研究表明,垄膜沟种微集水种植增产幅度随玉米生育期降雨量的增加而降低,其适宜的雨量上限可能在全生育期降雨量 440 mm 左右。靳晓辉等^[7]在覆膜和起垄对降雨入渗深度影响的研究中发现,在玉米苗期阶段,覆膜起垄处理的入渗深度大于平整地面;而在玉米主要生长阶段,平整地面的入渗深度大于覆膜起垄处理。在降雨稀少,蒸发强烈的新疆玛纳斯河流域,明广辉等^[8]通过试验表明覆膜宽度和膜间宽度比例越大,集雨效果越明显,而垄膜的集雨效果不明显。降雨量、降雨过程、土壤质地、下垫面处理、初始土壤含水率、作物等都会影响降雨入渗过程^[9],而垄沟及地膜覆盖技术等农田下垫面的改变对降雨入渗量及入渗过程的影响规律尚需进一步明确。

本文从农田水循环角度出发,以降雨稀少、蒸发强烈的气候背景的辽西玉米农田为研究对象,分析大垄双行种植条件下垄沟和覆膜对降雨入渗过程的影响规律。以丰富膜下滴灌理论,对农田水分调控和雨水资源优化利用等具有重要的理论和实践意义。

1 材料与amp;方法

1.1 试验区概况

试验于 2016 年 5—9 月在内蒙古通辽市开鲁县进行。开鲁县位于内蒙古通辽市西部,地处松辽平原,属

西辽河冲积平原的一部分,海拔 241 m。试验区位于开鲁县公兴当村,北纬 43°37',东经 121°23',属典型的半干旱大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热,雨热同季。年均气温 6.6℃,降水量约 320 mm,蒸发量 1 184.5 mm,全年盛行西北风,风速 4.1 m/s。

1.2 试验材料

试验区的土壤以砂壤土和砂土为主,试验区各层土壤特性见表 1。

表 1 开鲁县试验观测区土质情况

土层深度/ cm	土壤 类别	田间持水率/ %	饱和含水率/ %
0—30	砂壤土	15.3	19.6
30—60	壤土	16.4	25.2
60—115	黄砂土	12.3	17.2
115—120	黏土	19.2	26.1
120—140	黄砂土	12.3	17.2
>140	白砂土	10.5	14.5

试验为大田试验,种植作物为玉米,生育期从 5 月 7 日播种开始,10 月 1 日收割。种植方式为当地典型的大垄双行种植模式,垄宽 60 cm,垄高 3~5 cm,垄上铺设塑料薄膜;沟宽 60 cm;玉米种植在垄上,行距 40 cm,株距 30 cm;在两行玉米中间布设滴灌带,用于补水灌溉。

试验区 2016 年 5—9 月累计降雨量 264.8 mm,扣除小于 5 mm 的无效降雨,有效降雨为 251 mm,能够监测到土壤含水量有明显变化的降雨 5 次,各次降雨雨量及历时见表 2。

表 2 试验监测各次降雨的雨量及历时

时间(月-日)	降雨量/mm	降雨历时/h
07-21	35.9	17
07-25	25.4	8
07-31	17.5	8
08-24	18.5	6
08-31	32.4	29.5

1.3 试验设计

试验一共设置了 4 个处理,分别是平整裸地(PL)、平整地面(PZ)、不覆膜起垄(QL)和覆膜起垄(ML),其中 PL 不种植作物,后 2 个处理按大垄双行模式种植玉米,PZ 为平地种植玉米,株距行距同大垄双行。每个处理试验小区面积为 6 m×50 m。4 个处理均设置 3 个重复。

本试验主要监测在作物生育期内每次降雨的土壤水分变化情况。采用 TRIME 进行原位观测,PL

及 PZ 每个处理各布设 1 根 TRIME 管, PL 的 TRIME 管设在小区的中心, PZ 处理 TRIME 管埋设位置如图 1 所示。QL, ML 两个处理每个小区设置 3 个监测剖面埋设 TRIME 管, 分别为膜中(台中)、膜边(台边)及沟中, 布设位置及距离如图 2 所示。

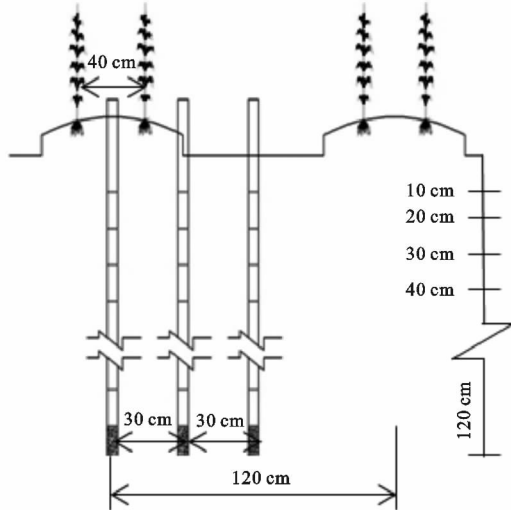


图 1 PZ 处理测管埋设位置示意图

1.4 试验方法

试验为田间天然降雨试验, 利用时域反射仪 (TDR) 监测土壤含水率, 试验 TRIME 管长 120 cm, 最大监测深度 90 cm, 每 10 cm 深度监测 1 次。观测从 2016 年 5 月初开始, 到当年的 9 月底结束。监测时间安排在每次有效降雨之前及降雨后 1, 2, 3, 5 d, 利用各剖面的土壤含水率的变化情况分析降雨的入渗过程及运移特征。降雨数据由开鲁国家气象站获取, 该气象站位置为北纬 $43^{\circ}36'$, 东经 $121^{\circ}17'$, 海拔 241 m。

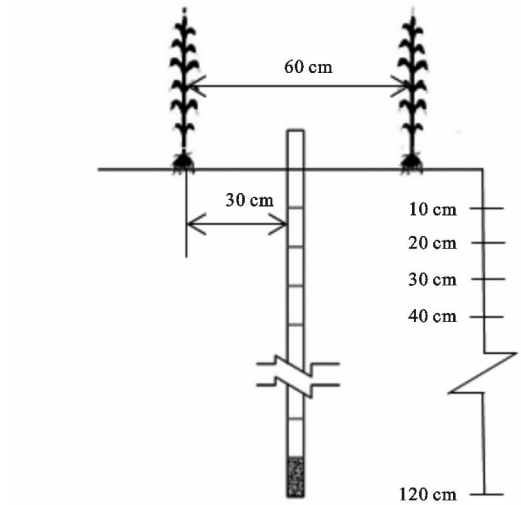
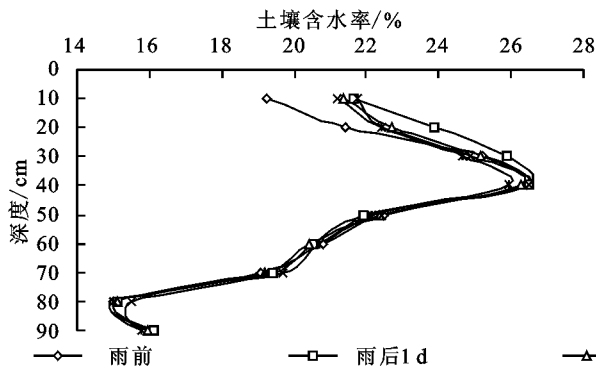


图 2 ML, QL 处理测管埋设位置示意图

2 数据分析

2.1 土壤含水率分布变化分析

选取 7 月 21 日及 7 月 31 日两次典型降雨过程监测的土壤含水率数据进行分析说明。

2.1.1 雨量较小时 7 月 31 日试验区降雨量 17.5 mm, 分析该次降雨前后各下垫面处理土壤含水率变化情况。将 PL 和 PZ 处理的土壤含水率数据绘制散点图(图 3)。PL 处理为平整裸地, 其含水率变化过程如图 3A 所示。其土壤含水率由表层开始逐渐增加及减少消退的过程可以作为参照。与 PL 处理相比, 有玉米种植的 PZ 处理水分向下运移速度较慢, 保留在表层的水分更多, 这与植株的截留、保水蓄水作用有一定的关系。

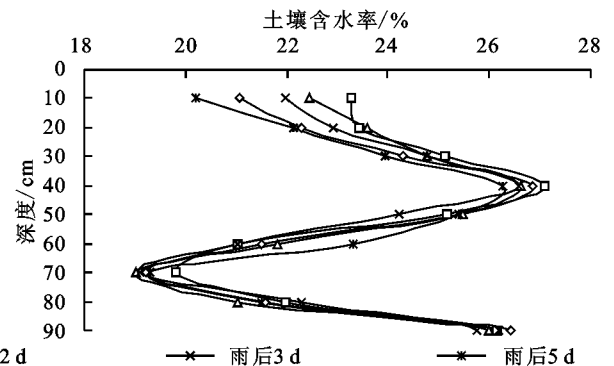


图 3 7 月 31 日 PZ 和 PL 处理各剖面土壤含水率的变化

QL 处理沟中、台边及台中 3 个剖面监测到的土壤含水率的动态变化如图 4 所示。该处理 3 个剖面降雨影响深度均在 40 cm 以内, 但土壤含水率的变化过程有一定的差异。其中沟中剖面由于初始土壤含水率较高, 增幅较小, 但土壤含水率绝对值最大; 台中剖面由于初始土壤含水量最低, 增幅较大; 台边剖面因为有一定的坡度, 降雨时超过入渗能力的部分雨量

会向沟中汇集, 因此含水率增幅及绝对值都小于台中及沟中。因此, 下垫面的起垄对降雨入渗再分配有一定的影响, 垄沟的集雨汇流作用在 17.5 mm 的降雨下有一定体现。

ML 处理 3 个剖面土壤含水率变化过程如图 5 所示。ML 处理沟中、膜边和膜中 3 个剖面雨前、雨后的土壤含水率分布有明显的不同。降雨之前沟中

剖面表层土壤含水率较大,膜边和膜中的较小,20 cm 以下部分差异较小。雨后 1 d 膜边及沟中的土壤含水率增加显著,其中膜边表层土壤含水率增幅最大,膜中最小。沟中和膜边两个剖面雨后 1 d 影响深度都在 40 cm 以

内,此范围的土壤含水率有明显的增加。因此,覆膜及起垄对降雨的入渗及水分再分布有一定的影响,与 QL 和 PZ 处理相比,覆膜明显减少了膜中剖面的入渗量,但沟中剖面的入渗量明显增加。

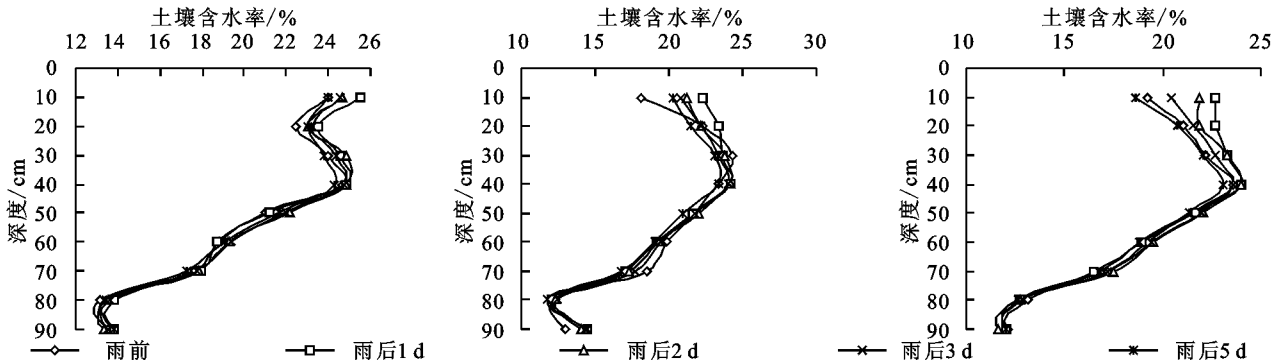


图 4 QL 处理各剖面土壤含水率的变化

2.1.2 雨量较大时 该次降雨发生在 7 月 21 日的 4:00—21:00,降雨量 35.9 mm。针对此次降雨,分

别监测了雨前及雨后 3 d 各处理不同剖面的土壤含水率,对各处理土壤含水率的变化情况进行分析。

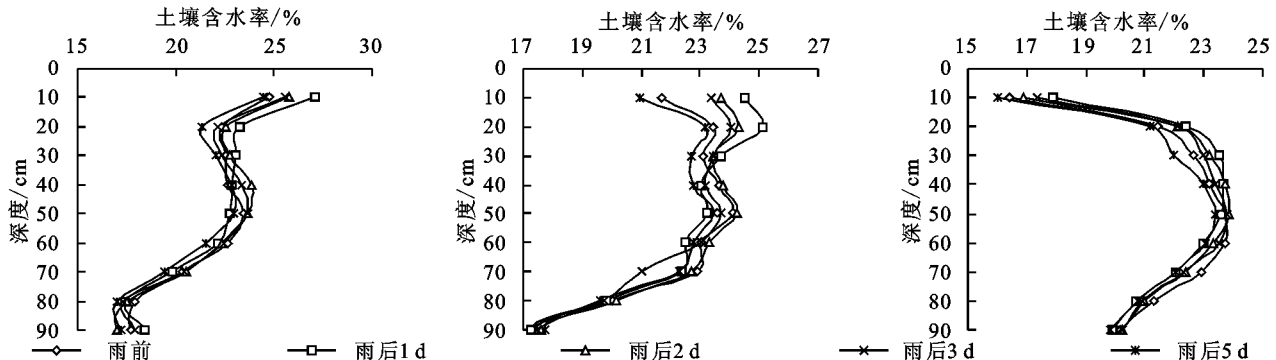


图 5 ML 处理各剖面土壤含水率的变化

PL 和 PZ 处理的土壤含水量变化如图 6 所示。受初始土壤含水率的影响,PL 处理各层土壤含水率增幅较大;

PZ 处理的入渗过程有明显的滞后作用且消退较快。在时间进程上,两个剖面都是雨后 2 d 土壤含水率达到最大。

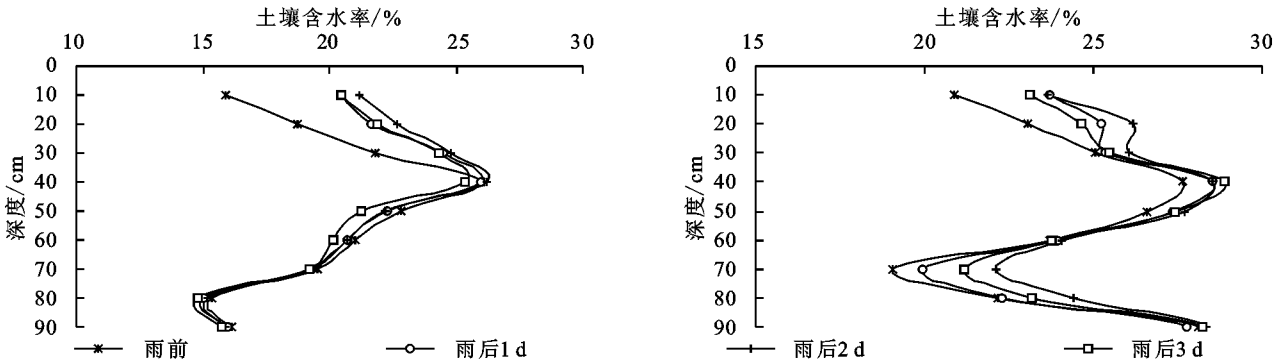


图 6 PZ 和 PL 处理土壤含水率的变化

QL 处理 3 个剖面的土壤含水率变化过程如图 7 所示。在降雨 35.9 mm 的情况下,垄沟的集雨作用显著,沟内土壤含水率及其增幅都是最大;而台边由于地形坡度的影响有相当一部分通过地表微径流到达沟中,因此增幅最小,台中次之。台边和台中两个剖面的水分都是在雨后 1 d 达到最大,沟中剖面则是在雨后 2~3 d 才达到最大。与 7 月 31 日 17.5 mm 的降雨入渗过程相比,垄沟的集雨作用更加显著。

覆膜起垄下垫面 ML 处理下降雨前后 3 个剖面的土壤含水率变化情况如图 8 所示。沟中位置表层土壤含水率增幅及绝对值都最大,且由表层向下各层土壤含水率及其增幅逐渐减少。在时间进程上,30 cm 以上区域的土壤含水率在雨后第 2 天达到最大,30—50 cm 深的土壤含水率在雨后 3 d 达到最大,有明显的垂向运移过程,70 cm 以下土层土壤含水率变化不明显。膜边剖面各层土壤含水率都是在雨后 1 d

达到最大,且土壤含水量(除表层10 cm处外)大于其他剖面,主要因为该剖面20 cm以下深度的初始土壤含水量较高,这与土壤质地及初始土壤含水量分布有关;60 cm深度以下部分的土壤含水量没有受到本次降雨的影响。对于膜中剖面,最大含水率出现在30—40 cm深度范围内,同样是在雨后第1天达到最

大,降雨入渗影响深度与膜边剖面基本相同,但土壤含水率的增幅相对较小;该剖面的水分补充来源主要有植株膜孔的雨水入渗及膜边剖面水分的侧向运移。

与7月31日降雨的入渗过程相比,降雨量增加了18.4 mm,垄沟的集雨作用更加显著;而膜的不透水作用导致覆膜区域的降雨入渗量明显少于其他两个剖面。

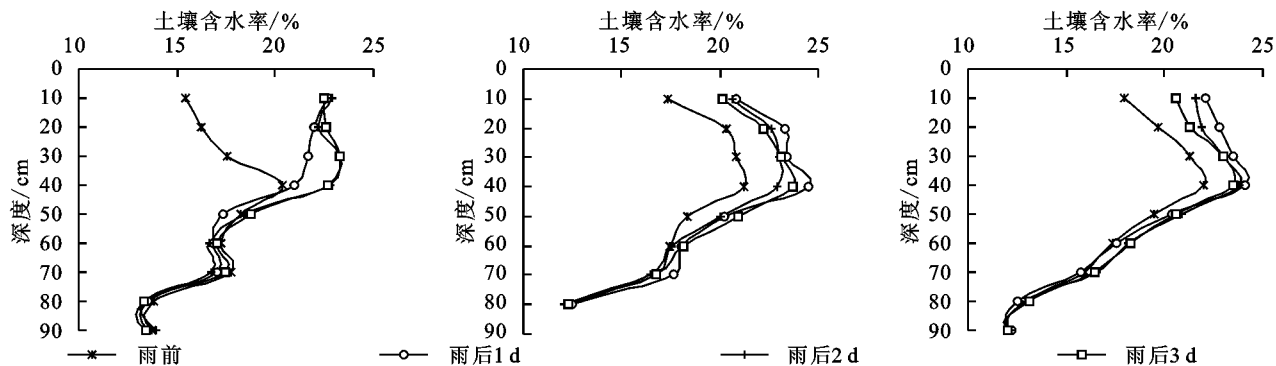


图7 QL处理各剖面土壤含水率的变化情况

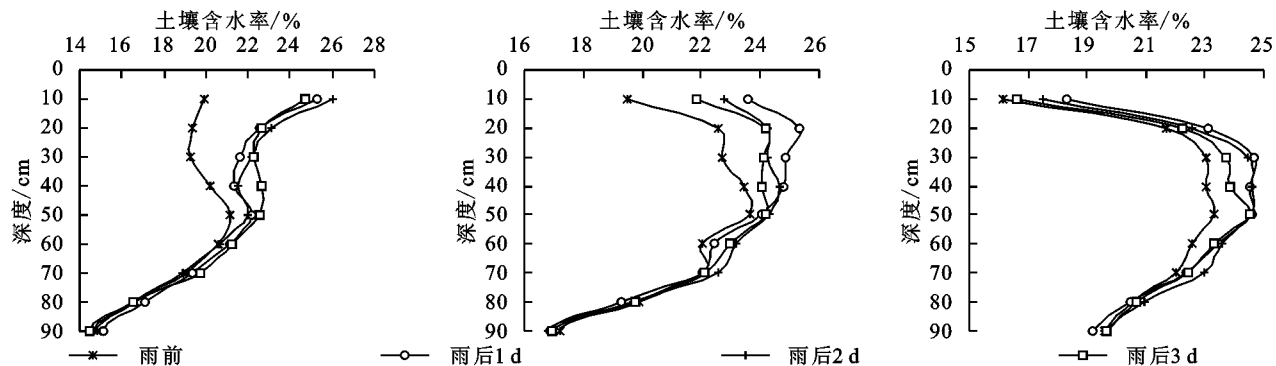


图8 ML处理各剖面土壤含水率的变化

2.2 降雨入渗影响深度分析

为了减少棵间蒸发、根系吸水以及不同场次降雨的叠加作用等对土壤水分的影响,选用雨后1天监测的入渗深度进行分析。从10 cm处开始,逐层对比降雨后1天与雨前的土壤含水量,以土壤含水量有明显增加的最大深度为降雨入渗影响深度。5次降雨每个剖面的降雨入渗深度见图9。

从图9可以看出,7月31日和8月24日雨量较小时,8个剖面的入渗深度差异不明显,而在其他3次雨量大于25 mm的降雨后,各剖面的入渗深度显示出一定的差异,其中PL,PZ,QL这3个处理表现出的规律基本一致,PZ最小,PL次之,其中QL处理的台中剖面的入渗深度较大,其他两个剖面没有明显差异。ML处理3次降雨各剖面的入渗深度差异较大,其中7月21日和8月31日雨后膜下滴灌膜中剖面的入渗深度最大,而7月25日降雨过程中该剖面的入渗深度反而最小,其原因主要有:其一是该次降雨前4 d覆膜起垄处理刚进行了滴灌;其二是此次降雨虽然总历时比较长,但雨量主要集中在1 h内,降雨强度超过了土壤入渗能

力,能够进入的膜中剖面的雨量减少,更多的雨量聚集到地势相对较低的垄沟内。

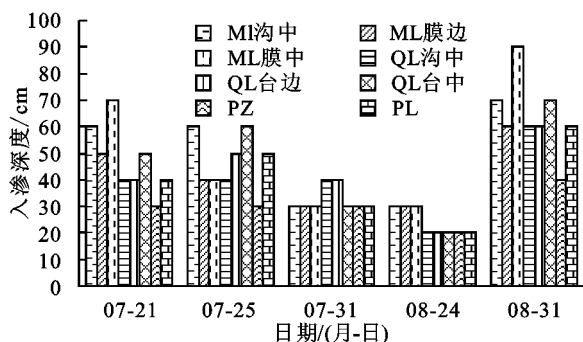


图9 降雨不同剖面的雨后1天入渗深度

总体来讲,覆膜和起垄在雨量较小时对降雨入渗深度没有明显影响;但雨量较大时,覆膜和起垄都会使水分向地势低的地方汇集,增加入渗深度。覆膜区域表层土壤的含水量增加较小,更多的雨量会通过垄沟向下运移,入渗深度反而会增加。在前述分析的2次降雨过程中,该剖面入渗深度增加范围为10~30 cm。

2.3 各下垫面降雨入渗量分析

分析各处理雨后1天的入渗量,结果见表3。

对比 PL 和 PZ 两个处理的降雨入渗量并结合降雨量可以看出,一般情况下 PL 的入渗量较大;在雨量较大且集中的时候 PZ 的入渗量较大,这与植株的截留蓄水作用有一定的关系。QL 处理由于增加了垄沟,在雨量达到 25.4 mm 时沟内的入渗雨量有明显的增加。前述分析的 7 月 21 日和 7 月 31 日两次典型降雨过程中,沟中剖面与 PZ 处理相比入渗量增加了 44%,120%;QL 处理 3 个剖面的平均入渗量与 PZ 相比增幅分别为 33%,76%。ML 处理中由于膜的不透水性,导致在雨量大于 25.4 mm 时的入渗小于 QL 处理,但大于 PL 和 PZ 处理;同样与 PZ 相比,该处理 3 个剖面的平均入渗量在两次降雨过程中分别增加了 11%,39%。

表 3 雨后 1 天各下垫面处理的降雨入渗量						mm
下垫面	剖面	日期(月-日)				
处理	位置	07-21	07-25	07-31	08-24	08-31
PL		10.15	4.72	4.54	5.58	6.77
PZ		8.07	2.65	5.53	—	10.41
QL	沟中	17.79	7.92	3.48	3.67	15.07
	膜边	12.18	4.76	5.13	2.15	12.89
	膜中	12.66	5.99	6.59	1.57	13.64
	平均	14.21	6.22	5.07	2.46	13.87
ML	沟中	13.65	7.00	3.93	4.15	15.00
	台边	11.12	2.70	5.05	1.22	10.35
	台中	8.88	1.84	3.71	0.67	9.40
	平均	11.22	3.85	4.23	2.01	11.58

计算各处理在不同降雨量下的平均入渗量,绘制降雨量与各处理平均入渗量的关系曲线(图 10)。由图 10 可知,在本试验条件下,在降雨量达到 18 mm 左右时,垄沟可以增加降雨入渗量并且增幅随着雨量的增加而增加,而增加覆膜措施以后则会减弱垄沟集雨蓄水的作用,但入渗量仍然大于 PZ 处理。雨量达到 33 mm 左右以上时,该地区的降雨类型一般为短时强降雨,超过土壤入渗能力的雨量增加,入渗雨量反而有所减少。

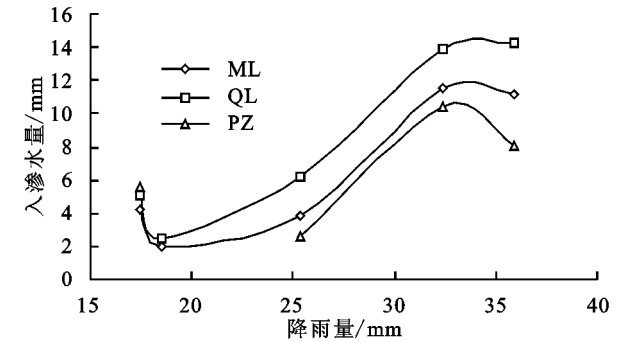


图 10 各处理降雨量与入渗量的关系

3 结论

(1) 在雨量较小时,垄沟和覆膜对降雨的入渗过程影响不明显,在降雨量达到 18 mm 以上时,垄沟的集雨增渗作用开始显现,QL 和 ML 处理的入渗量及入渗深度都有明显的增加;雨量达到 33 mm 左右以上时,由于监测到的降雨类型是短时强降雨,降雨强度较大,超过土壤入渗能力的雨量增加,入渗雨量并没有随着降雨量的增加而增加。

(2) 各处理对降水入渗影响程度各不相同,其中 QL 处理因为垄沟汇集雨水的作用会增加降雨的入渗量及入渗深度,沟中剖面的入渗量大幅增加,比 PZ 处理最多可增加入渗量 76%;ML 处理的塑料薄膜在一定程度上削弱了垄沟的集雨作用,比 PZ 处理最多可增加入渗量 39%;但由于膜的不透水作用使保留在表层土壤的水量相对减少,有更多的雨水向下运移,ML 处理增加了降雨的入渗深度,比 PZ 处理的入渗深度增加约 30 cm。

参考文献:

[1] 廖允成,温晓霞,韩思明.黄土台塬旱地小麦覆盖保水技术效果研究[J]. 中国农业科学,2003,36(5):548-552.

[2] 张新燕,蔡焕杰,王健.沟灌二维入渗影响因素实验研究[J]. 农业工程学报,2005,21(9):38-41.

[3] 李毅.覆膜条件下土壤水、盐、热耦合迁移试验研究[D]. 西安:西安理工大学,2002.

[4] 王建东,龚时宏,许迪,等.东北节水增粮玉米膜下滴灌研究需重点关注的几个方面[J]. 灌溉排水学报,2015,34(1):1-4.

[5] 肖继兵,孙占祥,蒋春光.辽西半干旱区垄膜沟种方式对春玉米水分利用和产量的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(10):1917-1928.

[6] 任小龙,贾志宽,陈小莉,等.模拟不同雨量下沟垄集雨种植对春玉米生产力的影响[J]. 生态学报,2007,28(3):1006-1015.

[7] 靳晓辉,陈敏建,闫龙,等.不同灌溉方式对降雨入渗深度的影响[J]. 排灌机械工程学报,2018,36(11):1168-1174.

[8] 明广辉,罗毅,孙林,等.覆膜对农田降水入渗的影响研究[J]. 灌溉排水学报,2015,34(4):1-4.

[9] 刘战东,高阳,刘祖贵,等.降雨特性和覆盖方式对麦田土壤水分的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(13):113-120.