

滴灌条件下液体地膜覆盖土壤保温保湿效应及棉花生长响应^①

李云光^{1,2}, 王振华^{1,2}, 张金珠^{1,2*}, 李文昊^{1,2}

(1 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆石河子 832000; 2 石河子大学现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆石河子 832000)

摘要:为解决干旱区棉田日益严重的“白色污染”问题,从根本上杜绝农田残膜增加,采用桶栽试验研究了5种处理方式:液体地膜1 900 kg/hm²(LFD1),液体地膜2 200 kg/hm²(LFD2),液体地膜2 500 kg/hm²(LFD3),塑膜滴灌(PFD),裸地对照(NFD)对土壤的保温保湿效应及棉花生长响应,探讨了滴灌条件下液体地膜代替塑料地膜的可行性。结果表明:液体地膜覆盖可提高土壤温度,降低土壤水分蒸发量,增强棉株根系吸收与合成能力,加快滴灌棉花前期生长速度,适度抑制后期旺长,增产效果显著。液体地膜覆盖滴灌棉花对土壤环境无不良影响,在干旱区滴灌棉田具有重要研究价值和应用前景。

关键词:滴灌;液体地膜;土壤温度;土壤湿度;棉花

中图分类号:S275.6

干旱缺水是世界性难题,高效利用水资源是干旱、半干旱地区农业的根本出路,是21世纪农业可持续发展的关键技术^[1-2]。各种节水增产技术被引入作物生产,塑料地膜覆盖栽培技术在农业生产中发挥了极其重要的作用。由于塑料地膜覆盖栽培技术能大幅度提高棉花的产量与质量,所以在中国最重要的棉花产区——新疆被广泛采用。然而,塑料地膜在棉花生产中的应用已造成严重的“白色污染”^[3-4]。为此,能否使用一种新的覆盖材料代替塑料地膜,并阐明其应用机理,是摆在科技工作者面前的一项重要课题。液体地膜是一种高分子有机化合物,兑水喷施后,可在土壤表层形成一层黑色固化膜,能够有效抑制土壤水分蒸发、提高土壤温度^[5-6]。黄鹏^[7]研究认为,土面液膜喷洒在地面所形成的黑色胶结膜,在小麦出苗至拔节期能有效地起到增温保墒作用,0~20 cm 耕层土壤温度较露地栽培提高0.7~1.2℃,0~40 cm 土壤含水量提高46.8~158.2 g/kg。李彩霞等^[8]研究认为,液膜覆盖使土壤储水能力增强,在0~40 cm 土层的土壤含水率显著提高;液膜覆盖的土壤增温效果明显,特别是中、低水分处理,增温7.4个百分点左右。闫翠萍^[9]研究认为,黑色液膜覆盖具有较好的生物学效应,较好地协调旱地小麦产量构成因素,显著提高水分生产效率。杨青华等^[10]研究

认为,液体地膜覆盖使棉铃干物质积累加快,铃重有所提高;成铃时空分布合理,烂铃减少,优质铃增加,具有明显的增产效果。崔欢虎等^[11]研究认为,液膜覆盖冬小麦比对照增产5个百分点,而水分生产效率比对照提高28.8个百分点。王会肖和蔡燕^[12]研究认为,液体地膜覆盖对土壤物理性状和棉花产量影响明显,与对照相比,液体地膜覆盖的增产率为21.7%。杨青华等^[13]通过室内与大田裸土试验对液体地膜的保水效应研究表明,液体地膜覆盖能够显著降低水分蒸发,保水效果良好。滴灌条件下液体地膜覆盖对棉花的影响效应研究相对薄弱,特别是在膜下滴灌广泛应用的新疆。因此本研究通过液体地膜覆盖滴灌棉花试验,分析液体地膜覆盖土壤保温保湿效应和棉花生长响应,以为液体地膜在田间更科学应用提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2014年4—10月进行,试验地点位于天山北麓准噶尔盆地南缘,新疆石河子市西郊石河子大学农试场二连现代节水灌溉兵团重点实验室试验基地(85°59'E,44°19'N,海拔412 m),平均地面坡度6‰,年平均日照时数2 865 h,>10℃积温为3 463.5℃,

基金项目:石河子大学高层次人才引进项目(RCZX201322)和国家自然科学基金项目(51369027)资助。

* 通讯作者(xjshzzjz@sina.cn)

作者简介:李云光(1988—),男,河南漯河人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与技术研究。E-mail: lygshz2012@sina.com

>15℃积温为 2 960.0℃,无霜期 170 天。年平均气温(7.7±0.90)℃,一年中的最高气温出现在 7 月,平均气温(25.4±0.74)℃;最低气温出现在 1 月,平均气温(-5.5±2.07)℃;年降水量(213±56.7)mm,年蒸发量(1 342±413)mm^[14]。

1.2 试验材料

供试液膜为明瑞牌绿野液态地膜,由杨凌明瑞化工科技有限公司生产,棉花品种为新陆早 48 号(惠远 710),普通塑料地膜由新疆天业公司生产。

1.3 试验设计

采用桶栽试验,试验用塑料桶规格为 0.52 m × 0.45 m × 0.35 m(高 × 顶部内径 × 底部内径),共 15 个试验用塑料桶。桶中装填土壤类型为中壤土,土壤采集于石河子大学农试场二连现代节水灌溉兵团重点实验室试验基地,平均容重(体积质量)1.37 kg/m³。试验共设 5 个处理:液体地膜 1 900 kg/hm²(LFD1),液体地膜 2 200 kg/hm²(LFD2),液体地膜 2 500 kg/hm²(LFD3),塑膜滴灌(PFD),裸地对照(NFD),3 次重复。2014 年 4 月 21 日采用“干播湿出”方式播种。在试验桶中心的 15~20 cm 范围内画等边三角形,三个顶点上各放 2~3 个棉籽,把桶排成两列,用 2 条滴灌带供水,滴头间距 30 cm,设计滴头流量 1.6 L/h,根据滴灌带滴头位置移动试验用塑料桶,保证每桶有 2 个滴头滴水。4 月 22 日喷施液体地膜,按试验设计用量使用常规农用喷雾器均匀喷施于桶中土壤表面。塑料地膜用量为 50 kg/hm²。各处理灌水施肥一致,全生育期灌水次数共 13 次,灌溉定额 378 mm,灌水定额在 35 mm 左右。灌溉水源为当地深层地下水,矿化度 1.3 g/L。施肥量 832 kg/hm²(尿素和磷酸钾铵按照

2:1 的比例进行滴灌随水追施),其他管理措施同一般棉田。

1.4 测定方法

采用 XK3150(W)型电子秤称量各桶的质量,进而测定土壤水分蒸发量。地温使用曲管地温表,每天 10:00、16:00 与 20:00 时测定记载 5~25 cm 土层温度,取平均值。各处理单独计算实际产量。

2 结果与分析

2.1 滴灌条件下液体地膜覆盖土壤保温保湿效应

2.1.1 土壤保湿效应 滴灌条件下不同覆盖处理土壤水分蒸发量的变化见图 1。由图 1 可以看出,在液体地膜处理后的两个灌水周期内分别选择连续的 5 天对桶进行称重,结果表明,液体地膜覆盖处理土壤水分蒸发量较裸地处理平均减少 0.09~0.51 kg,其中 LFD3 和 LFD2 处理土壤水分蒸发量较裸地处理分别减少 0.1~0.51 kg 和 0.09~0.34 kg,液体地膜覆盖处理土壤水分蒸发量较塑料地膜处理平均增加 0.01~0.3 kg。可见,滴灌条件下液体地膜覆盖处理土壤保湿效应虽低于塑料地膜处理,但显著高于裸地处理。与塑料地膜处理相比,液体地膜覆盖地面后的蒸发是有机薄膜限定下的极低水平水分通量剖面控制的蒸发,不同于塑料地膜完全隔绝水分。液体地膜施用量不同,对土壤水分蒸发量影响程度亦有明显差异,其原因是施用量小,成膜质量较差,施用量大,成膜质量虽较高,但棉苗、杂草等出土过程中膜面受损较大。此外,液体地膜在成膜过程中,由于水分蒸发形成并保留的毛细孔道,成为覆盖后雨水渗透的通道,所以较塑料地膜更有利于雨水下渗土壤。

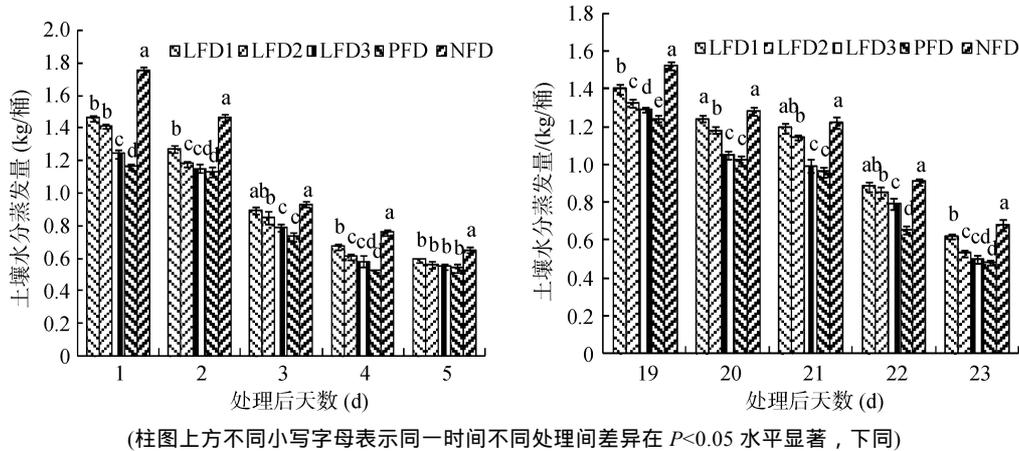


图 1 滴灌条件下液体地膜覆盖对土壤水分蒸发量的影响
Fig. 1 Effects of liquid film mulching on evaporations of soil moistures under drip irrigation

2.1.2 土壤保温效应 滴灌条件下不同覆盖处理随时间变化对地温的影响见图 2;滴灌条件下不同覆盖处理 5~25 cm 土层的平均地温变化见图 3。由图 2、

图 3 可以看出,各处理不同土层间地温差异显著,各覆盖处理均不同程度提高土壤温度,且幅度随着土层的加深而减弱,随着时间的延长而变小。液体

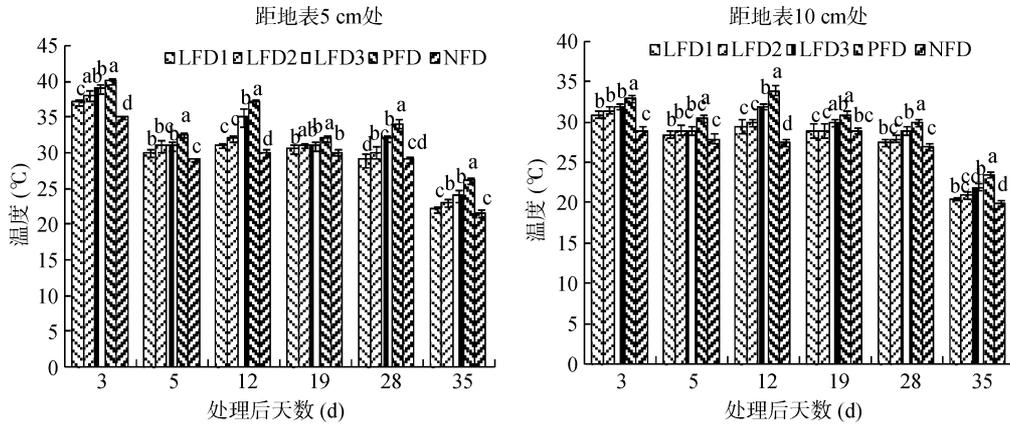


图 2 滴灌条件下液体地膜处理随时间变化对地温的影响
 Fig. 2 Effects of liquid film mulching on soil temperatures changed with time under drip irrigation

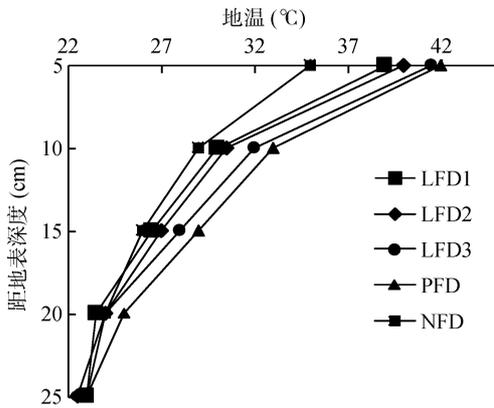


图 3 滴灌条件下液体地膜覆盖对不同深度地温的影响
 Fig. 3 Effects of liquid film mulching on soil temperatures in different depths under drip irrigation

地膜处理中，LFD3 处理地温最高，在整个测定期内，5 cm 地温较裸地处理升高 0.5 ~ 5°C，10 cm 地温较裸地处理升高 0.5 ~ 4.5°C。5 cm 和 10 cm 土层温度液体地膜覆盖处理较塑料地膜处理分别平均降低 1.0 ~ 6.0°C 和 1.0 ~ 4.5°C。表明滴灌条件下液体地膜具有一定的保温效应。其原因是液体地膜喷施后，于土壤表面形成一层黑色固化膜，该膜阻隔了土壤与外界的部分

水分交换；同时，由于黑色固化膜能较多的吸收太阳能，最终使土壤热通量增大。土壤的增温直接影响土壤微生物的活动和养分的变化，从而影响作物根系生长发育和养分吸收。

2.2 滴灌条件下液体地膜覆盖棉花生长的响应

2.2.1 棉花发育进程的响应 滴灌条件下不同覆盖处理对棉花发育进程的影响见表 1。由表 1 可以看出，各覆盖处理棉花发育进程都快于裸地处理，LFD3 处理从播种到出苗需要 10 天，比裸地处理早 4 天。LFD2 处理从播种到出苗需要 11 天，比裸地处理早 3 天。现蕾期，喷施液体地膜处理比裸地处理提早 2 ~ 5 天。初花期，塑料地膜覆盖处理仅比裸地处理提早 5 天。不同覆盖处理基本在同一时间到达吐絮期。表明滴灌条件下液体地膜用量大小影响棉花的生育期进程，即随着液体地膜用量的加大，棉花的前期生育期随之提前。但据观察：随着液体地膜用量增大，棉花在生长后期易出现早衰现象，其原因是由于液体地膜具有保墒增温性能，这种效应在土壤表层影响较明显，从而导致棉株根系不易下扎，于生育后期不能充分利用土壤深层水肥有关。

表 1 滴灌条件下不同覆盖处理对棉花发育进程的影响
 Table 1 Effects of different liquid film mulching on cotton developmental process under drip irrigation

处理	播种日期	出苗日期	现蕾期	初花期	吐絮期
LFD1	4-21	5-3	6-18	7-3	8-19
LFD2	4-21	5-2	6-17	7-1	8-18
LFD3	4-21	5-1	6-15	6-30	8-18
PFD	4-21	4-30	6-13	6-29	8-17
NFD	4-21	5-5	6-20	7-4	8-19

2.2.2 棉花株高的响应 滴灌条件下不同覆盖处理后棉花的株高随时间的变化见图 4。由图 4 可以看出，从播种后 46 天到播种后 124 天的 6 个时期株高，

液体地膜覆盖处理分别比裸地处理增加 1 ~ 3.17、1.22 ~ 5.14、0.76 ~ 3.76、0.83 ~ 5.83、1.32 ~ 4.83 和 1.53 ~ 7cm。表明滴灌条件下液体地膜处理在棉花生长前期可

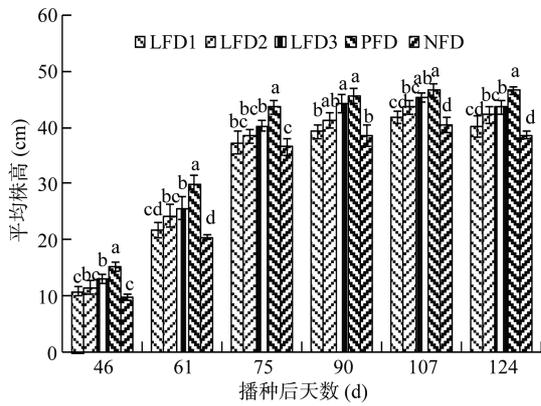


图 4 滴灌条件下液体地膜处理对棉花株高的影响
Fig. 4 Effects of liquid film mulching on cotton-plant heights under drip irrigation

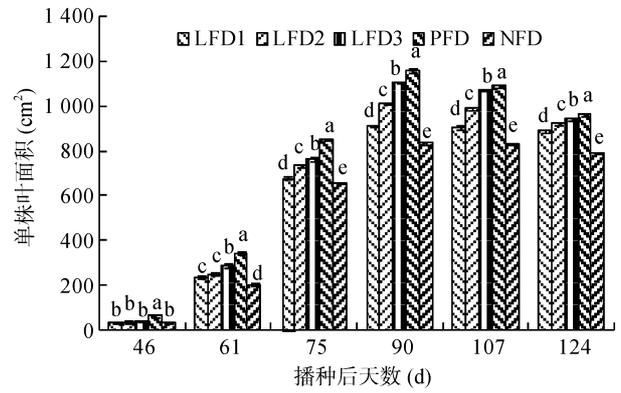


图 5 滴灌条件下液体地膜覆盖对单株叶面积的影响
Fig. 5 Effects of liquid film mulching on leaf areas per plant under drip irrigation

加快棉花株高的增长速度。由播种后 124 天各处理株高可以看出，液体地膜用量越大，棉花株高愈矮。由此可见，液体地膜具有抑制棉花中后期营养生长的效应。

2.2.3 棉花叶面积的响应 棉花的早发、早熟一直是科技工作者追求的目标和栽培技术需攻克的难点。前期叶面积增长快是棉花早发表现之一。滴灌条件下不同覆盖处理棉花的叶面积随时间的变化见图 5。由图 5 可以看出，从播种后 46 天到播种后 124 天 6 个时期的叶面积，液体地膜覆盖处理分别比裸地处理增加 0.52~6.4、31.91~84.72、22.63~106.84、76.86~271.86、75.24~242.12、97.12~151.11 cm²。其中播种后 90 天的叶面积增加量最大，如 LFD3 处理，单株叶面积比裸地处理增加 271.86 cm²，但实际观察发现有郁蔽现象。这说明滴灌条件下液体地膜处理可增加棉花前期叶面积，并且适度抑制中、后期叶面积的增长速度，从而为棉花早熟与丰产打下良好的基础。

2.3 滴灌条件下液体地膜覆盖棉花产量的响应

滴灌条件下不同覆盖处理对棉花产量结构的影响见表 2。由表 2 可以看出，喷施液体地膜处理比裸地处理单株铃数增加 0.31~0.67 个，液体地膜覆盖处理产量为 4 980~5 317 kg/hm²，比裸地处理增产 7.1~14.39 百分点；塑料地膜处理产量为 5 345 kg/hm²，液体地膜覆盖处理相对塑料地膜处理减产 28~365 kg/hm²，减产率 0.11%~7.4%，但 LFD3 处理产量已接近塑料地膜处理。由此说明，滴灌条件下液体地膜覆盖处理棉花产量虽次于塑料地膜处理，然而适量液体地膜覆盖处理棉花产量明显高于裸地处理，从生态可持续角度具有可应用价值。从本研究结果来看，液体地膜适宜用量为 2 500 kg/hm²。实践证明，壮苗早发是棉花获取高产的关键，而棉花早发需要一个较好的土壤环境^[15]，液体地膜覆盖有利于促进棉花增结铃数、提高铃质量。如 LFD3 处理，单株铃数和单铃质量较裸地处理分别增加 0.67 个和 0.51g。

表 2 滴灌条件下不同覆盖处理对棉花产量结构的影响
Table 2 Effects of different liquid film mulching on cotton yield structures under drip irrigation

处理	单株铃数(个)	单铃质量(g)	籽棉(kg/hm ²)	相对 NFD 增产率(%)
PFD	5.24 a	5.31 a	5 345 a	14.5
LFD1	4.87 b	5.09 a	4 980 c	7.1
LFD2	5.21 a	5.25 a	5 196 b	11.79
LFD3	5.23 a	5.28 a	5 317 a	14.39
NFD	4.56 c	4.77 b	4 648 d	-

2.4 滴灌条件下液体地膜覆盖棉花投入产出经济分析

液体地膜覆盖滴灌棉花投入产出经济分析见表 3。由表 3 可以看出，不同覆盖处理之间籽棉产量的显著差异导致不同覆盖处理之间经济效益明显不同。从籽棉产量来看，从高到低依次为：PFD>LFD3>

LFD2>LFD1>NFD，由于其他管理投入相同，所以覆盖处理增加的投入是各处理之间唯一的投入差异，不同覆盖处理的产值减去相应的覆盖处理增加的投入后，产值从高到低依次为 PFD>LFD3>LFD2>LFD1>NFD，与产量顺序一致。液体地膜覆盖均不同程度地提高滴灌棉花的经济效益，其中 LFD3 处理较 NFD

表 3 液体地膜覆盖滴灌棉花投入产出经济分析
Table 3 Economic Input-output analysis of liquid film mulching on drip irrigated cotton

处理	产量(kg/hm ²)	产值(元/hm ²)	增加投入(元/hm ²)	相对 NFD 增收(%)
PFD	5 345 a	47 036 a	2 450	9.00
LFD1	4 980 c	43 824 d	1 710	2.96
LFD2	5 196 b	45 725 c	1 980	6.95
LFD3	5 317 a	46 790 b	2 250	8.89
NFD	4 648 d	40 902 e	—	—

注：籽棉价格按 8.8 元/kg 计；增加投入为覆盖材料费与人工费之和。

处理增收 8.89 百分点，已接近 PFD 处理，由此说明适量的液体地膜可以显著提高滴灌棉花的经济效益，从生态可持续角度具有广阔的应用前景。

3 讨论

液体地膜覆盖的保墒增温特点与已有众多研究结果类似，但液体地膜覆盖与滴灌结合，从而改变或影响滴灌棉花生长发育及土壤保温保湿效应，已有研究成果相对较少。本研究不仅分析液体地膜覆盖对滴灌棉花生长发育的影响，同时也分析液体地膜覆盖对土壤保温保湿效应的影响。结果表明，液体地膜覆盖滴灌棉花可提高土壤温度并显著降低土壤水分蒸发量，从而促进棉株根系吸收与合成能力，为地上部棉株生长发育奠定了良好基础，表现为棉株早发，铃质量大，增产效果显著。这些效应表现虽然是液体地膜覆盖处理低于塑料地膜处理，但液体地膜处理更有利于雨水下渗土壤、棉花根系下扎，提高土壤下层根量比例，维持中后期棉株根系较强的吸收与合成能力，从而有效防止棉花早衰。液体地膜覆盖处理平均籽棉产量较裸地处理增长 7.1%~14.39%，较塑料地膜处理降低 0.11%~7.4%，这一点与前人研究结果不太一致。在以后的科研工作中，应逐步扩大液体地膜的试验范围，尤其是大田试验，深入研究液体地膜喷施强度、喷施频率等对滴灌棉花的影响，形成并完善液体地膜配套应用技术规程。

液体地膜是一种新型的农田栽培覆盖材料，高效、无毒无害，可以由生物和光降解转化为有机肥^[16]，不仅适用于大田粮、棉等作物，也适用于果园、蔬菜及其他作物生长需要，但对其性能、防雨水冲刷等方面需要在工艺上进一步完善，使其在有效覆盖期内，既能被完全降解，又不至于过早降解而失去应有的覆盖效应。随塑料地膜的长年应用，残膜严重污染棉田，而液体地膜成本低廉、对地形地貌适应能力强，应急性好，也具有良好的生态效应，可显著提高棉田的经济效益、生态效益和社会效益。

4 结论

1) 滴灌条件下液体地膜覆盖棉花增产效果显著。其机理在于提高土壤温度，降低土壤水分蒸发量，增强棉株根系吸收与合成能力，且与塑料地膜相比，液体地膜覆盖滴灌棉花更有利于雨水下渗土壤、棉花根系下扎，从而较有利于棉株均衡生长发育，防止棉花早衰。

2) 在滴灌棉花生产中，采用液体地膜覆盖栽培是一项可行的技术，随中国保护农业生态环境和农业节水的迫切需要，从农业持续高效发展的角度出发，更具有较为广泛的发展潜力。从本研究结果来看，液体地膜适宜用量为 2 500 kg/hm²，可使籽棉增产 14.39%。

参考文献：

- [1] 中国工程院“21 世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[J]. 中国工程科学, 2000, 2(8): 1-17
- [2] 山仑, 刘忠民, 辛业全, 邓西平, 马国忠. 宁夏山区草田轮作研究——不同轮作方式的生产力及效益[J]. 水土保持学报, 1992, 6(4): 60-68
- [3] 赵素荣, 张书荣, 徐霞, 徐立超, 张栋河, 张新民, 王金凤, 徐立功, 齐瑛. 农膜残留污染研究[J]. 农业环境与发展, 1998, 15(3): 7-10
- [4] 李秋洪. 论农田“白色污染”的防治技术[J]. 农业环境与发展, 1997, 14(2): 17-19
- [5] 王斌瑞, 罗彩霞, 王克勤. 国内外土壤蓄水保墒技术研究动态[J]. 世界林业研究, 1997, 10(2): 37-43
- [6] 陈保莲, 王仁辉, 程国香. 乳化沥青在农业上的应用[J]. 石油沥青, 2001, 15(2): 44-47
- [7] 黄鹏. 春小麦液膜覆盖栽培效应研究[J]. 甘肃科学学报, 2001, 13(1): 81-84
- [8] 李彩霞, 周新国, 强小嫚, 郭冬冬, 刘祖贵, 张俊鹏. 不同水分处理下液体地膜覆盖玉米田土壤环境与产量效应[J]. 玉米科学, 2010, 18(3): 108-112
- [9] 闫翠萍. 旱地冬小麦黑色液膜覆盖的增产效应研究[J]. 山西农业科学, 2002, 30(3): 7-9
- [10] 杨青华, 韩锦峰, 刘华山, 李巨. 液体地膜对棉花成铃与产量的影响[J]. 华北农学报, 2003, 18(2): 36-38

- [11] 崔欢虎, 张鸿杰, 徐建兵, 王红. 旱地冬小麦覆盖黑色液膜增产效应研究[J]. 小麦研究, 2001, 22(2): 22-24
- [12] 王会肖, 蔡燕. 农田水分利用效率研究进展及调控途径[J]. 中国农业气象, 2008, 29(3): 272-276
- [13] 杨青华, 韩锦峰, 贺德先, 刘华山. 液体地膜覆盖保水效应研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 29-32
- [14] 杨传杰, 罗毅, 孙林, 甘容, 吴娜, 张艳, 阿布都外力·吉力力. 灌溉水矿化度对玛纳斯流域棉花生长影响的试验研究[J]. 资源科学, 2012, 34(4): 660-667
- [15] 河南省农业科学院. 棉花优质高产栽培[M]. 北京: 农业出版社, 1992
- [16] 白日军, 张强. 功能高分子材料在山西省土地荒漠化防治中的应用[J]. 山西农业科学, 2003, 31(3): 87-91

Effects of Liquid Film Mulching on Soil Temperature, Moisture and the Growth of Cotton Under Drip Irrigation

LI Yun-guang^{1,2}, WANG Zhen-hua^{1,2}, ZHANG Jin-zhu^{1,2*}, LI Wen-hao^{1,2}

(1 College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2 Corps Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: In order to solve the "white pollution" problem of cotton fields in arid region and fundamentally eradicate agricultural plastic film increase in agricultural fields, this paper explored the feasibility of replacing plastic mulch with liquid film under drip irrigation condition. To research the effects of liquid film mulching on soil temperature, moisture and the growth of cotton under drip irrigation, pot experiment was carried out with five mulching modes: LFD1-1900 kg/hm², LFD2-2200 kg/hm², LFD3-2500 kg/hm² liquid film, PFD-plastic film mulching, NFD-open field with no liquid film used. The results showed that liquid film increased soil temperature, reduced evaporation of soil moisture, enhanced the cotton root absorption and synthetic ability, thus accelerated the growth rate of the pre-irrigation of cotton, inhibited moderately the late flourishing, and increased yield significantly. Liquid film mulching cotton under drip irrigation had no adverse effects on soil environment, so it has the important study significance and application prospect in cotton field in arid areas.

Key words: Drip irrigation; Liquid film; Soil temperature; Soil moisture; Cotton