

地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响

李明思^{1,2}, 康绍忠^{1,3}, 杨海梅²

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 杨凌 712100; 2. 石河子大学水利建筑工程学院, 石河子 832003;
3. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100083)

摘要: 土壤湿润范围是滴灌技术设计中必须考虑的指标。以田间试验为基础, 通过测定、分析和对比膜下滴灌和无膜滴灌条件下土壤含水率田间分布、土壤耗水量田间分布、棉花生长状态(株高、叶面积指数、产量等)以及产量的差异等指标, 对膜下滴灌土壤湿润区的特征进行了研究。研究表明: 地膜覆盖条件下, 整个土壤覆盖面积均被湿润, 其土壤湿润比高于无膜滴灌下的土壤湿润比。地膜阻碍了地表积水区向膜外土壤扩展, 导致膜外土壤含水率低, 单根滴灌毛管控制面积内的土壤耗水量比无膜滴灌条件的耗水量低, 土壤水利用率明显高于无膜滴灌条件。但是, 这却造成生长在地膜边缘的棉花长势差于生长在膜中部的棉花。另外, 利用土壤适宜含水率指标评价土壤有效湿润区范围, 能清楚地说明土壤湿润区与作物耗水之间的关系, 它可成为设计土壤湿润比的一个依据。

关键词: 滴灌; 土壤湿润区; 土壤水分; 棉花

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)6-0049-06

李明思, 康绍忠, 杨海梅. 地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 49-54.

Li Mingsi, Kang Shaozhong, Yang Haimei. Effects of plastic film mulch on the soil wetting pattern, water consumption and growth of cotton under drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 49-54. (in Chinese with English abstract)

0 引言

土壤设计湿润范围是滴灌设计中确定滴头流量和滴水量的依据^[1-3], 文献[4]阐述了采用土壤湿润宽度确定滴头流量的方法。然而, 土壤湿润宽度(或湿润比)的确定依据也是个需要讨论的问题。理论上, 土壤湿润比可以很小^[5,6], 但必须以不影响作物生长为准。文献[7]提出了滴灌土壤湿润区要与作物根系分布相匹配的观点。另有试验表明^[8], 生长在滴灌土壤湿润区边缘的玉米产量低于生长在湿润区内部的玉米产量。因此, 确定滴灌土壤湿润区大小是滴灌设计中非常重要的问题。关于滴灌土壤湿润区(或湿润比)的问题, 国内外学者做过许多研究^[5-7,9], 但其成果都是在无膜滴灌条件下取得的, 没有考虑地膜覆盖对土壤湿润区运动的影响。

无膜滴灌条件下, 地面的蒸发作用对土壤湿润宽度的影响很明显, 在设计土壤湿润比时应考虑土壤蒸发因素^[6]。然而, 在覆膜条件下地表蒸发很小, 以及覆膜具有提墒作用, 土壤湿润区变化与无膜条件不同, 从而对作物生长产生影响。目前, 膜下滴灌技术在中国干旱地区

大面积推广, 滴灌技术设计中, 土壤湿润比的选取仍然按照无膜滴灌条件取值^[10], 这在理论上和实践上都存在不合理之处。本文以覆膜滴灌与无膜滴灌进行比较, 采用田间试验分析了覆膜对土壤湿润区及棉花耗水和生长的影响, 其成果对膜下滴灌技术设计有指导作用。

1 材料与方法

棉花滴灌试验于 2003 年在石河子大学水利建筑工程学院实验中心进行。试验小区面积 0.08 hm², 中壤土, 黏粒含量(粒径 < 0.01 mm) 33%, 土壤干容重 1.40 g/cm³, 土壤平均田间持水量 31%(体积含水率), 平均孔隙率 45.4%。

采用北京绿源公司生产的 Φ15 内镶式滴灌带作为滴灌系统, 滴头间距 30 cm, 设计滴头流量 2.8 L/h, 滴头工作压力 10mH₂O, 田间形成线源湿润形式, 而且无膜滴灌和膜下滴灌的滴头流量相同。系统运行时, 用输水管上的调压阀调控压力, 水表计量输水量。

供试棉花品种‘新陆早 7 号’, 宽、窄行播种, 行距 30 cm+ 60 cm+ 30 cm, 株距 20 cm, 滴灌毛管铺在窄行中, 毛管间距 90 cm。地膜宽度 145 cm。为防止地膜被风吹起及更好地保温, 覆膜时将膜两侧各 10 cm 宽的边埋入土中, 埋深 5 cm, 则地膜采光面宽 125 cm, 一膜覆盖四行棉花, 如图 1 所示。

4 月 22 日播种。为了保证出苗率, 播种时田间全部

收稿日期: 2006-05-26 修订日期: 2006-12-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50569004; 50339030)

作者简介: 李明思(1965-), 男, 新疆乌苏人, 博士生, 主要从事农田灌溉理论与技术研究。石河子 石河子大学水利建筑工程学院, 832003。Email: leemince-709@163.com

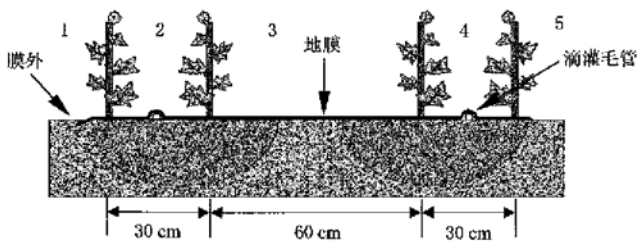


图1 膜下滴灌田间布置

Fig. 1 Layout of mulched drip irrigation in field

覆膜,到棉花蕾期(6月18日,即出苗后44 d)时,无膜滴灌处理小区才揭膜。每种灌水处理设3次重复,各重复相邻布置。定期观测棉花株高和叶面积指数。7月21日(棉花铃期)测棉花单株铃数,最后测定产量。

由于无膜滴灌地表存在水分蒸发,为了弥补土壤的蒸发损失,其灌水量比膜下滴灌的灌水深度略大。全生育期无膜滴灌棉花灌溉定额 $4914.48 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;膜下滴灌棉花灌溉定额 $4560 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

用美国CPN公司生产的503DR.9中子仪测土壤含水率和土壤水分消耗。在宽、窄行及膜间裸地布置中

子铝管,一组5根中子铝管。从地面以下20 cm深处每10 cm土层设一个测点,一直测到地面以下110 cm。由于中子仪测的土壤水分是平均直径30 cm球体内的土壤平均含水率,所以测出的20 cm深度处的土壤含水率值包含了土壤表层含水率的变化。

前3次用中子仪测土壤含水率时,在距各中子铝管旁25 cm处用土钻取样,取样层次和深度与中子仪的测点位置相同。用烘干法测土壤含水率,通过土壤干容重换算成体积含水率并与中子仪所测数值比较,率定中子计数与土壤体积含水率的对应关系,即

$$\theta_v = 0.003387 \times x - 0.8094 \quad R = 0.9885 \quad (1)$$

式中 θ_v ——土壤体积含水率,%; x ——中子计数。对应关系近似为线性关系。

2 结果与分析

2.1 无膜滴灌土壤含水率分布

无膜滴灌条件下,铺设滴灌毛管的窄行土壤的含水率高,而没有铺设滴灌毛管的宽行土壤的含水率相对较低,在田间形成了宽、窄行土壤干、湿间隔的带状湿润形式。图2是无膜滴灌20 cm和80 cm土壤深度处的含水率在棉花生育期内的变化。

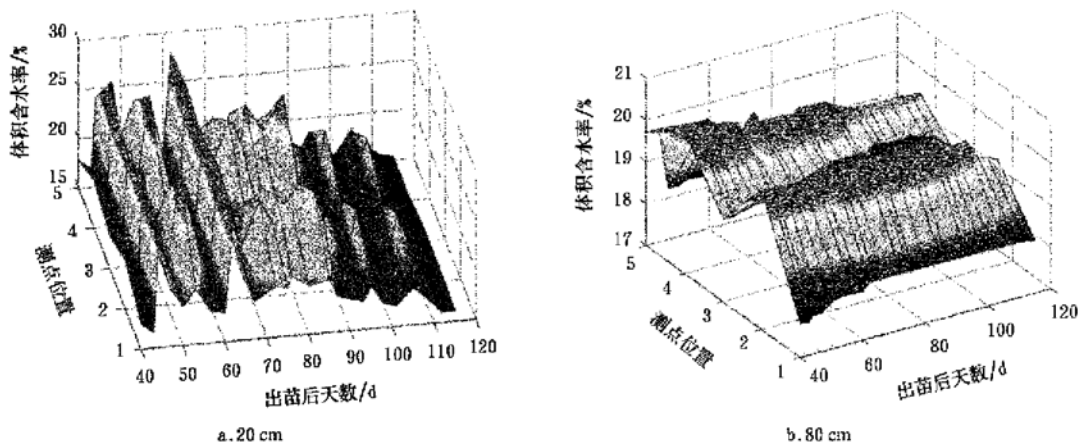


图2 棉花生育期无膜滴灌土壤含水率变化

Fig. 2 Soil moisture variation during cotton growth period under drip irrigation

图2中测点1、3、5表示宽行观测数据;2、4表示窄行观测数据。图中显示20 cm土层的含水率受灌水影响,不论是宽行还是窄行的土壤含水率都随着灌水而增高,随着耗水而降低。而80 cm土层的含水率则不随着灌水而波动,说明在棉花生育期内每次灌水的土壤入渗深度都小于80 cm,这比沟灌棉花土壤入渗深度^[10]浅20 cm。

图2还反映出无膜滴灌地表蒸发作用十分明显。由于棉花出苗后第44 d田间才揭膜,前期宽行3被地膜覆盖,没有地表蒸发现象,上层土壤含水率较高。地膜揭

掉以后,在蒸发作用下,宽行3的上层土壤含水率迅速降低,为了避免棉花因此而受到水分胁迫,进行了一次大水量滴灌,使宽行3上层土壤含水率上升。然而,在随后的地表蒸发作用下,宽行3的上层土壤含水率仍然低于窄行2、4的土壤含水率,但高于宽行1、5的土壤含水率。因为宽行1、5的土壤始终未被地膜覆盖(属于膜外测点),其上层土壤含水率低于宽行3的土壤含水率,根据文献[2, 11],土壤水分运移速度随初始含水率的增大而增大,所以,当窄行2、4滴灌时,水分向宽行3运移的量比向宽行1、5运移的量多。

滴灌土壤湿润区水平运移与滴头下方地表积水区扩展有关^[1,12,13],土壤湿润区宽度随地表积水区半径的扩展而增加。无膜滴灌时,积水区由窄行向两侧的宽行扩展,由于地表蒸发作用削弱了积水区和土壤湿润区的水平运移速度,使宽行的土壤含水率始终低于窄行土壤含水率,由此形成田间带状干、湿间隔的土壤湿润区分布。棉花生育期内各行不同深度的土壤平均含水率与田间持水量的比值如表1所示。

表1 滴灌棉花生育期平均含水率
与田间持水量的比值

Table 1 Ratio of average soil moisture to the field capacity during cotton growth period under drip irrigation

深度/cm	宽行 1	窄行 2	宽行 3	窄行 4	宽行 5
20	0.618	0.694	0.622	0.689	0.625
30	0.715	0.744	0.655	0.774	0.708
40	0.701	0.757	0.698	0.734	0.678
50	0.685	0.756	0.674	0.710	0.669
60	0.662	0.697	0.644	0.716	0.645
70	0.582	0.675	0.600	0.709	0.628
20~50 cm 平均	0.68	0.738	0.662	0.727	0.670

滴灌技术设计中,土壤设计湿润区应当是指能够保证作物正常耗水的土壤湿润区域,而不仅仅是指土壤含水率大于灌水前初始含水率的区域。因此,评价土壤湿

润区范围时,应以作物适宜的土壤含水率范围为标准。文献[14]给出了膜下滴灌棉花适宜土壤含水率范围为相对于田间持水量的0.7~0.95。按照这一标准评价滴灌棉花土壤含水率分布可以发现:由于土壤蒸发作用,0~50 cm土层内只有窄行的土壤含水率均在适宜土壤含水率范围内,有利于棉花生长;而宽行的土壤含水率除个别点满足适宜含水率要求外,其余点上的含水率都很低。这进一步说明了无膜滴灌条件下,窄行土壤为有效湿润区,也即单根毛管控制下的土壤有效湿润宽度在30~60 cm之间。根据文献[9]对土壤湿润比的定义,用相同深度内土壤有效湿润体体积与滴灌毛管控制面积下的土壤体积之比来表示湿润比,得出无膜滴灌条件下的田间土壤湿润比在0.67以内,比文献[6]所建议的土壤湿润比值小很多,但与文献[15]所建议的土壤湿润比值基本一致。

2.2 膜下滴灌土壤含水率分布

地面覆盖塑料薄膜阻隔了土壤与大气之间的潜热交换,土壤接收到太阳辐射使土壤温度升高,引起土壤水分蒸发而在地膜下表面凝结,然后凝结水又回落到土壤中,造成上层土壤含水率增大,形成了通常意义上的保墒、提墒、增温效应。图3为膜下滴灌条件下,膜内窄行、宽行和膜外土壤在30 cm和60 cm深度处的含水率随棉花生育进程的变化。

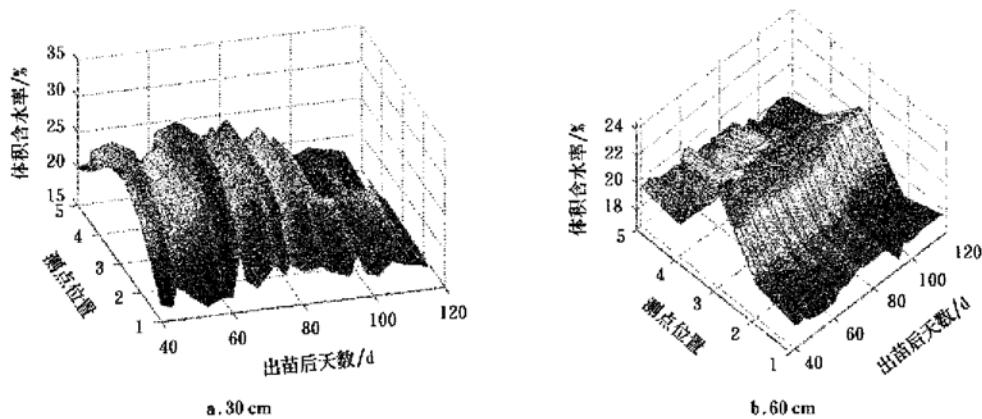


图3 棉花生育期内膜下滴灌土壤含水率变化

Fig. 3 Soil moisture variation during cotton growth period under mulched drip irrigation

图3中测点1、5是膜外测点;2、4是膜内窄行测点;3是膜内宽行测点。在覆膜作用下,土壤上层宽行的含水率很高,几乎与窄行的土壤含水率相等,而且随土壤灌水和耗水而波动。与此相反,膜外的土壤含水率非常低,田间形成了膜内土壤高水分与膜外土壤低水分相间分布的格局,而整个膜内的土壤湿润相当于整体灌溉的土壤湿润,这明显比无膜滴灌的土壤湿润区大。另外,图3也反映出,土层60 cm深度处的膜内窄行和宽行含

水率随棉花生育进程变化很小,说明膜下滴灌棉花土壤入渗深度在60 cm以内,比沟灌棉花土壤入渗深度^[10]浅40 cm多,比无膜滴灌棉花土壤入渗浅10~20 cm。

在膜下土壤中,40 cm土层以下宽行土壤含水率始终高于窄行土壤含水率。这是由于膜内窄行滴灌毛管滴出的水在窄行地表形成积水区,由于地膜的阻挡,积水区难以向膜外扩展(图1),造成膜外土壤湿润少;但积水区向膜内宽行扩展比较容易,使得宽行土壤湿润多,再

加上地膜的提墒作用以及棉花根系在宽行的耗水量小于在窄行的耗水量,因此造成宽行土壤含水率高于窄行土壤含水率。由此可知,地膜覆盖改变了地表积水区的扩展方向,使整个膜下土壤都成为湿润区。

膜下滴灌棉花生育期内各行不同深度土壤平均含水率与田间持水率的比值如表2所示。

表2 膜下滴灌棉花生育期平均含水率与田间持水率的比值

Table 1 Ratio of average soil moisture to the field capacity during cotton growth period under mulched drip irrigation

深度/cm	膜外1	窄行2	宽行3	窄行4	膜外5
20	0.654	0.870	0.764	0.830	0.644
30	0.605	0.767	0.804	0.750	0.628
40	0.622	0.730	0.862	0.698	0.620
50	0.608	0.634	0.778	0.637	0.637
60	0.589	0.598	0.742	0.628	0.602
70	0.602	0.578	0.669	0.630	0.603
20~40 cm 平均	0.627	0.789	0.810	0.749	0.631

根据文献[14]的研究结果,在0~40 cm土层内,膜下滴灌条件下只有膜内窄行2、4和宽行3的土壤含水率在适宜含水率范围内,也即土壤有效湿润区宽度等于覆膜宽度,单根毛管控制下的土壤有效湿润宽度为60~75 cm,则田间平均湿润比为0.67~0.83,比无膜滴灌的土壤湿润比大。

2.3 无膜滴灌土壤耗水特征

无膜条件下,只有窄行土壤含水率在棉花适宜土壤含水率范围,所以棉花根系在窄行土壤中的耗水强度始终高于在宽行土壤中的耗水强度。试验观测得到无膜滴灌条件下20~80 cm土层的土壤耗水强度在棉花出苗后40~115 d内的平均值:窄行为3.24~3.69 mm/d;宽行为1.74~1.99 mm/d。棉花出苗后40~115 d内土壤各层累计耗水量如图4所示。

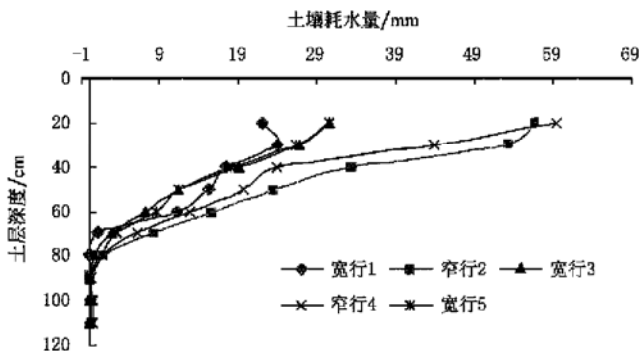


图4 无膜滴灌棉花生育期土壤耗水量

Fig. 4 Soil water consumption during cotton growth period under drip irrigation

无膜滴灌土壤表层耗水量最大,窄行土壤耗水量大于宽行的值。棉花出苗后40~115 d内,窄行整个土层耗水量167.39~192.72 mm,平均180.06 mm;宽行整个土层耗水量90.65~100.20 mm,平均96.41 mm。田间单根滴灌毛管控制面积内的土壤耗水量276.46 mm,其中窄行耗水占65.13%,宽行耗水占34.87%。

2.4 膜下滴灌土壤耗水特征

地膜覆盖下的土壤含水率都满足棉花适宜土壤含水率,所以膜内土壤耗水强度大于膜外土壤的耗水强度。据测定,20~80 cm土层的土壤耗水强度在棉花出苗后40~115 d内的平均值:膜外为0.92~1.10 mm/d;膜内窄行为2.68~3.38 mm/d;膜内宽行为1.75 mm/d;膜内窄行土壤耗水强度是膜外土壤耗水强度的3倍。虽然膜内宽行土壤含水率高,但其耗水强度低于膜内窄行耗水强度,其原因是棉花根系在宽行土壤中的分布比在窄行土壤中的分布少。棉花出苗后40~115 d内的土壤各层累计耗水量如图5所示。

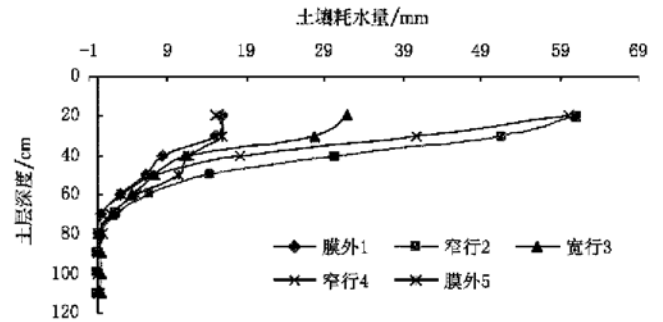


图5 膜下滴灌棉花生育期土壤耗水量

Fig. 5 Soil water consumption during cotton growth period under mulched drip irrigation

膜下滴灌土壤表层耗水量最大,而且膜内窄行土壤耗水量远大于膜外土壤耗水量。因为膜内土壤没有蒸发,土壤耗水完全由棉花耗水引起。据观测,在棉花出苗后40~115 d内,整个膜内土壤耗水量380.87 mm,膜外土壤平均耗水量54.17 mm。考虑到膜内有两根滴灌毛管,则田间单根毛管控制的面积内,土壤耗水量217.52 mm,比同等面积和时段内的无膜滴灌棉花少耗水58.94 mm,土壤水分利用率明显比无膜滴灌条件下的土壤水分利用率高。

2.5 棉花生长特征

膜下滴灌和无膜滴灌土壤湿润区不同,使棉花的生长特征也有所不同。如果将靠近膜边缘生长的棉花称为边行,将靠近膜中部生长的棉花称为内行,无膜滴灌棉花也按此分法,可以发现膜下滴灌内行和外行的棉花长势有较大不同。表3是7月21日测得的无膜滴灌棉花和膜下滴灌棉花生长特征参数。

表3 无膜滴灌和膜下滴灌棉花生长特征
Table 3 Cotton growth under drip irrigation and mulched drip irrigation

生长特征	膜下滴灌				无膜滴灌			
	边行 1	内行 1	内行 2	边行 2	边行 1	内行 1	内行 2	边行 2
株高/cm	50	65	60	54	47.5	62	58	57
单株铃数	2	4.5	3	2.3	1.5	3	1.2	3
叶面积指数	2.34	3.49	3.84	2.65	2.6	2.42	3.31	3.28

由于膜下滴灌边行棉花根系一部分在膜内窄行土壤中,土壤含水率较高,而另一部分在膜外土壤中,受水分胁迫影响长势不好;内行棉花根系一部分在膜内窄行土壤中,而另一部分在膜内宽行土壤中,其两侧土壤水分状况都较好,所以长势好。无膜滴灌棉花没有如此明显的规律。膜下滴灌棉花籽棉单产 4666.67 kg/hm²,无膜滴灌棉花籽棉单产 4764.31 kg/hm²,得到膜下滴灌棉花灌水生产率 1.23 kg/m³;无膜滴灌棉花灌水生产率 0.97 kg/m³。前者比后者增加 0.26 kg/m³。然而,膜下滴灌将棉花种植在膜边缘,使内、外行棉花生长不齐,这是该技术的一个明显弊端。

3 结论与讨论

与无膜滴灌相比,膜下滴灌的土壤湿润区增大,在膜下形成类似于整体灌溉的湿润形式,湿润区面积等于地膜覆盖面积。在本文试验条件下,膜下滴灌和无膜滴灌的滴头流量相同,而后者的灌水量和土壤湿润深度大于前者,但由于覆膜作用,前者的土壤湿润比大于后者;膜下滴灌的土壤湿润比在 0.67~0.83 之间,而无膜滴灌的土壤湿润比在 0.67 以内。无膜滴灌的土壤湿润区受到地表蒸发影响,在进行无膜滴灌技术设计时应考虑蒸发作用对土壤湿润比的影响。

利用土壤适宜含水率标准来评价土壤有效湿润区,能够更准确地了解土壤湿润区与作物耗水之间的关系,在滴灌技术设计中为土壤湿润比的选取提供新的依据。

地表覆膜阻碍了滴头下方地表积水区向膜外扩展,使膜外土壤湿润少,其土壤水利用率比无膜滴灌的值高。但造成生长在膜边缘的作物株高、叶面积、产量等都比生长在膜内行的作物的相应指标低,因此,生产中应增大覆膜宽度或使边行作物距离膜边缘远一些,为边行作物根区土壤提供较为对称的水分条件,促进边行作物与内行作物生长整齐。

[参 考 文 献]

- [1] 李明思,康绍忠,孙海燕.点源滴灌滴头流量与湿润体关系研究[J].农业工程学报,2006,22(4):32-35.
- [2] 张振华,蔡焕杰,郭永昌,等.滴灌土壤湿润体影响因素的实验研究[J].农业工程学报,2002,18(2):17-20.
- [3] Ben-Asher J, Yano T, Shainberg I. Dripper discharge rates and the hydraulic properties of the soil[J]. Irrigation and Drainage Systems, 2003, 17: 325-339.
- [4] D. 戈德堡, B. 戈内特, D. 里蒙 著. 滴灌原理与应用[M]. 西世良, 余康林 译. 北京: 中国农业机械出版社, 1984: 132-133.
- [5] Lubana P P S, Narda N K. Modelling soil water dynamics under trickle emitters — a review[J]. J Agric Engng Res, 2001, 78(3): 217-232.
- [6] Keller J, Karmeli D. Trickle irrigation design parameters [J]. Transactions of the ASAE, 1974: 678-684.
- [7] 张妙仙. 滴灌土壤湿润体与作物根系优化匹配研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 104-107.
- [8] Colombo A, Or D. Plant water accessibility function: A design and management tool for trickle irrigation [J]. Agric Water Manage, 2006, 82, 45-62.
- [9] 雷廷武. 滴灌湿润比的解析设计[J]. 水利学报, 1994, (1): 1-9.
- [10] 李明思, 郑旭荣, 贾宏伟, 等. 棉花膜下滴灌灌溉制度试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2001, 11: 13-15.
- [11] 孙海燕, 李明思, 王振华, 等. 滴灌点源入渗湿润锋影响因素的研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(3): 14-16.
- [12] 刘小瑛, 杨振刚, 王天俊. 滴灌条件下土壤水分运动规律的研究[J]. 水利学报, 1990, (1): 11-21.
- [13] 李久生, 张建君, 薛克宗. 滴灌施肥灌溉原理与应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 84-86.
- [14] 胡晓棠, 李明思, 马富裕. 膜下滴灌棉花的土壤干旱诊断指标与灌水决策[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 49-52.
- [15] 水利部农田灌溉研究所. SL 103—95 微灌工程技术规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995.

Effects of plastic film mulch on the soil wetting pattern, water consumption and growth of cotton under drip irrigation

Li Mingsi^{1,2}, Kang Shaozhong^{1,3}, Yang Haimei²

(1. *Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;*

2. *College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China;*

3. *The Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083 China*)

Abstract: The index of soil wetting pattern is essential to the design of drip irrigation (DI). Field experiments were carried out to study the characteristics of soil wetting pattern for mulched drip irrigation (MDI) technique by comparison with the DI technique. In the experiments, soil moisture content in field was observed and analyzed as well as the soil water consumption and the characteristics of cotton growth, such as cotton stem high, leaf area index (LAI), cotton yields, and so on. Results show that, when the field surface is mulched by plastic film, the whole mulched area of field is irrigated, and the ratio of soil wetted area for the MDI is larger than that for the DI. The fact that the film covering over field resists soil saturation pond beneath dripper to expand to the soil out of the film, resulted in the soil moisture content out of the film being so low that soil water consumption for the MDI is lower than that for the DI within the area irrigated by a drip line. Water utility rate for the MDI is larger than that for the DI. But this fact causes the cotton, which is planted near by side of film, being unsatisfied growing compared with the cotton planted at the middle of film. In addition, the index of soil available moisture (ISAM) is used to assess the soil wetting pattern to clearly express the relationships between soil wetting pattern and crop water consumption. Thus the ISAM could be usable for designing the ratio of soil wetted area.

Key words: drip irrigation; soil wetting pattern; soil moisture; cotton