文章编号：1672 - 3317（2020）05 - 0026 - 09

南疆无膜滴灌棉花灌溉制度对土壤水分和产量品质的影响

王洪博[1,2]，曹 辉[1,2]，高 阳[3]，王兴鹏[1,2*]
（1.塔里木大学 水利与建筑工程学院，新疆 阿拉尔 843300；2.塔里木大学 现代农业工程重点实验室，新疆 阿拉尔 843300；3.中国农业科学院 农田灌溉研究所，河南 新乡 453000）

摘 要：【目的】通过小区试验，探究南疆地区无膜滴灌不同灌水定额对土壤水分、棉花生长和产量品质的影响。【方法】试验设置 3 个无膜滴灌灌水定额（I_1、I_2 和 I_3），即 36、45 和 54 mm，并以膜下滴灌 I_4（36 mm）作为对照。【结果】无膜滴灌棉花茎粗和株高随灌水定额的增加而增加，但 I_4 处理对提高棉花茎粗和株高更显著。无膜滴灌棉花土壤含水率在 0~60 cm 剖面上随灌水定额的增加整体表现为增大趋势，而膜下滴灌处理的土壤水分波动要小于无膜滴灌处理。无膜滴灌棉花随着灌水定额的增加，籽棉产量显著增加，I_3 处理的籽棉产量可达 7 195.48 kg/hm^2，较膜下滴灌增加了 19.54%，且棉花品质最好，但膜下滴灌的灌溉水利用高效率最高。【结论】从棉花生长、产量品质及灌溉水利用效率综合分析，无膜滴灌灌水定额为 54 mm 时，棉花生长及产量品质较优。

关 键 词：棉花；无膜滴灌；生长；产量品质
中图分类号：S562；S271.4 **文献标志码：**A doi：10.13522/j.cnki.ggps.2019194

王洪博，曹辉，高阳，等. 南疆无膜滴灌棉花灌溉制度对土壤水分及产量品质的影响[J]. 灌溉排水学报，2020，39(5): 26-34.
WANG Hongbo, CAO Hui, GAO Yang, et al. The Effects of Drip-irrigation Scheduling without Mulching on Soil Moisture, Yield and Quality of Cotton in Southern Xinjiang [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 26-34.

0 引 言

【研究意义】棉花膜下滴灌栽培技术是新疆棉花生产的主导模式，在近 30 a 新疆棉花产业的迅速发展与壮大过程中发挥了巨大作用[1]，但由于长期连续使用这一栽培模式，使得地膜残留问题越来越严重，曾经的“白色革命”转变成为制约新疆地区农业可持续发展的“白色污染”[2-3]。目前，新疆棉花覆膜栽培比率已达 100%，初步估计农田的地膜残留量可达 158.4 kg/hm^2[4]，总量已超过 5.0×10^5 t[5]。地膜不但对新疆绿洲区农田土壤环境与生态安全造成危害，也对区域农业生产的可持续发展构成严重威胁。因此，有效遏制地膜残留污染进一步扩大，已成为新疆地区棉花生产中亟待解决的重大科学和实践问题。对于控制和消除地膜污染，前人已做了大量的理论研究和实践。液体地膜[6]、可降解地膜[7]以及无膜移栽[8]等研究工作，由于成本较大和操作困难，尚不能有效解决地膜所带来的一系列环境问题。2017 年，中国农业科学院棉花研究所成功培育出适用于新疆无膜直播的特早熟棉花新品种中棉“619”，并在南疆阿克苏地区沙雅县进行了规模化示范应用，取得了良好的效果[9]。无膜栽培棉花新品种的成功培育，为解决南疆棉田残膜污染问题提供了一条可选择的途径和关键技术支撑。然而，棉花种植由覆膜栽培模式转变为无膜栽培模式，农田微环境会发生根本改变，相应地，农田用水管理措施也需做出相应的调整。

【研究进展】灌水定额和灌溉频率是膜下滴灌棉花灌溉制度中的重要参数，对土壤水盐分布、棉花生长及产量具有重要的影响。国内外学者针对膜下滴灌棉花适宜的灌溉制度已进行了广泛研究。蔡焕杰等[10]研究表明，棉花膜下滴灌的灌溉制度为全生育期灌水 12～14 次，灌水定额 25～30 mm；刘新永等[11]研究得出，南疆膜下滴灌棉花的灌溉制度为：蕾期每次灌水定额 35 mm，每 5 d 灌 1 次；花铃期每次灌水定额为 50 mm，7 d 灌 1 次，盛铃期后，灌水定额逐渐降低至 35 mm。有研究表明，棉花产量随着灌溉定额的增加而增加，水分利用效率相应降低，而亏缺灌溉可以提高棉花纤维品质[12]。但王峰等[13]和弋鹏飞[14]等认为，适中的灌溉定额也可以获得最高产量，灌水量过多或过少均不利于高产，而选择适宜的滴灌频次才有利于作物产量的提高[15]。灌水量相同时，高频率灌溉更有利于提高棉花产量和水分利用效率[16]，但高频

收稿日期：2019-08-27
基金项目：国家重点研发计划课题（2016YFC0400208）
作者简介：王洪博（1995-），男。硕士研究生，主要从事灌溉排水理论与节水灌溉研究。E-mail: 18083915561@163.com
通信作者：王兴鹏（1978-），男。教授，主要从事干旱区灌溉排水理论与节水灌溉方面的研究。E-mail: 13999068354@163.com

率灌溉和低频率灌溉对棉花生长均不利[17]。

【切入点】国内外众多学者针对膜下滴灌灌溉制度对土壤水分、棉花生长及产量等方面开展了大量研究。但是，在南疆地区，由于高温、干旱、高盐的外部环境使得无膜滴灌与膜下滴灌对土壤水盐运移及分布的影响存在显著差异，相关研究开展较少，可供借鉴的结果不多。而国外学者在无膜覆盖条件下开展的相关研究，鉴于气候、土壤条件的差异性，其研究结果并不适于南疆地区参考应用。【拟解决的关键问题】本研究旨在探索南疆无膜滴灌棉花灌溉制度对土壤水分、棉花生长及产量品质的影响，以期确定适合南疆无膜滴灌棉花的灌溉制度，为未来解决地膜残留问题提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于新疆生产建设兵团第一师水利局十团灌溉试验站（81°2′ E，40°6′ N，海拔 1 014 m）进行。试验区属于典型的内陆极端干旱气候，常年气候干燥，降水稀少，蒸发强烈。多年平均气温 11.3 ℃，多年平均降水量 45.7 mm，年蒸发量 1 876.6~2 558.9 mm，平均年日照时间 2 950 h，无霜期 207 d，地下水埋深约为 3.5~5 m。试验站土壤基本物理性质见表 1。

表 1 土壤物理性质

Table 1 Soil physical properties

土层深度/cm Soil depth	土壤体积质量/（g cm^{-3}） Soil bulk density	田间持水率/（g g^{-1}） Field water holding capacity	饱和含水率/（g g^{-1}） Saturated water content	凋萎系数/（g g^{-1}） Withering coefficient	黏粒/% Cosmid	粉粒/% Powder	砂粒/% Grit
0~20	1.60	0.21	0.24	0.10	2.43	41.49	56.08
20~40	1.55	0.24	0.30	0.10	2.56	41.40	56.05
40~60	1.58	0.25	0.33	0.12	2.88	42.82	54.29
60~80	1.59	0.25	0.32	0.13	2.60	41.40	56.00

1.2 试验设计

供试棉花品种为特早熟新品种中棉“619”，试验前进行冬春灌，灌水定额为 1 500 m^3/hm^2。2018 年 4 月 25 日播种，2018 年 7 月 25 日打顶，2018 年 10 月 25 日收获。本试验采用单因素完全随机试验设计，共 4 个处理，每个处理设置 3 次重复，共 12 个小区，小区规格为 3.3 m×2 m×3 m（长×宽×深）的测坑。滴灌带布置方式为 3 带 6 行，棉花行距（66+10）cm，株距 10 cm，棉花种植模式见图 1。

目前，南疆膜下滴灌棉花的灌水定额为 30 mm 左右，各地略有不同，但差距不大。本研究设定的无膜滴灌棉花灌水定额处理是在膜下滴灌的基础上分别提高 20%、50%和 80%，即 I_1=36 mm、I_2=45 mm 和 I_3=54 mm，并以膜下滴灌 I_4=36 mm 作为对照。无膜滴灌棉花灌溉频率通过计算 ET_0-P（降雨量）累积值进行确定，当累计值达到 45 mm 进行灌溉，ET_0 计算如式（1）。滴灌带选用一次性单翼迷宫式滴灌带，规格为 Φ16，滴头间距 30 cm，滴头最大流量 3.0 L/h，工作压力为 0.1 MPa。施肥按照 1 200 kg/hm^2 施用滴灌专用肥，喷施农药及其他农艺措施均按当地常规实施。

气象数据由试验站 HOBO 自动气象监测站实时获取，计算过程参考 SL13—2015《灌溉实验规范》进行。2018 年 4—9 月 ET_0、降雨量、最大及最小温度值如图 2 所示。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)}, \qquad (1)$$

式中：ET_0为参考作物蒸发蒸腾量（mm/d）；R_n为净辐射量（MJ/(m^2 d)）；G为土壤热通量（MJ/(m^2 d)）；γ为湿度计常数（kPa/℃）；T为日均气温（℃）；u_2为地面2 m高处的风速（m/s）；e_s为饱和水汽压（kPa）；e_a为实际水汽压（kPa）；Δ为温度-饱和水汽压关系曲线的T处的切线斜率（kPa/℃）。

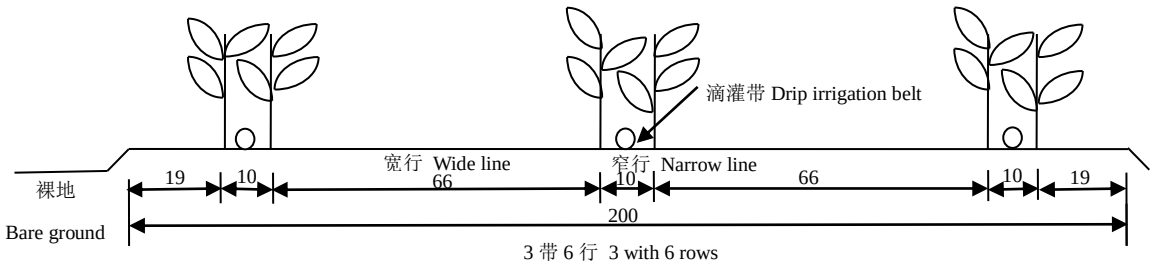


图 1 棉花种植模式及滴灌带布置示意图（cm）

Fig.1 Schematic diagram of cotton planting pattern and drip irrigation belt layout (cm)

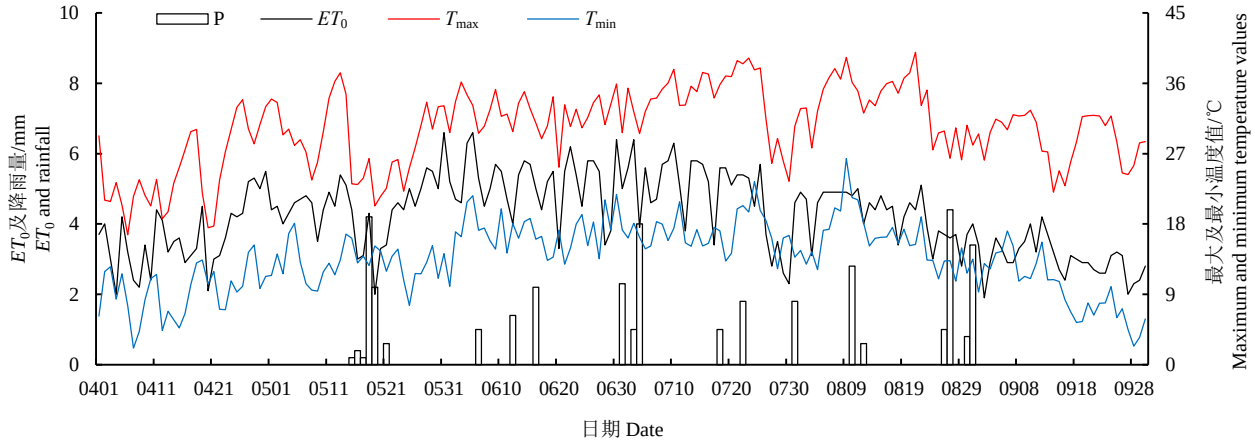


图 2　ET_0、降雨量、最大及最小温度值

Fig.2　ET_0, rainfall, maximum and minimum temperature values

1.3 测定项目与方法

1）棉花生长指标测定

自棉花苗期开始，在每个小区随机标记 3 株长势均匀的棉花样株，每隔 10 d 用钢尺（1 mm）和电子游标卡尺（0.01 mm）测定不同生育阶段的棉花株高和茎粗。

2）土壤含水率

土壤含水率测定采用土壤水分自动监测系统（水分自动监测系统为 Watchdog，记录频次为 1 次/h）监测，监测点埋设于棉花主根区，埋设深度为 10、20、40、60 cm，在每个生育阶段末期取土校核仪器。

3）产量测定

在棉花收获期，根据吐絮情况分 3 次进行采摘，称取每次实际采摘的产量，同时记录铃数和百铃质量，棉花总产量计算式为[13]：

$$Y=0.01n_p w\rho, \qquad (2)$$

式中：Y 为棉花总产量（t/hm^2）；n_p 为单株棉铃数（个/株）；w 为单铃质量（g）；ρ 为种植密度（株/m^2）。

4）纤维品质测定

依据《棉花质量检验》中所述方法，委托农业农村部棉花品质监督检验测试中心对棉花纤维品质进行测定，指标包括上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度、马克隆值和伸长率[19]。

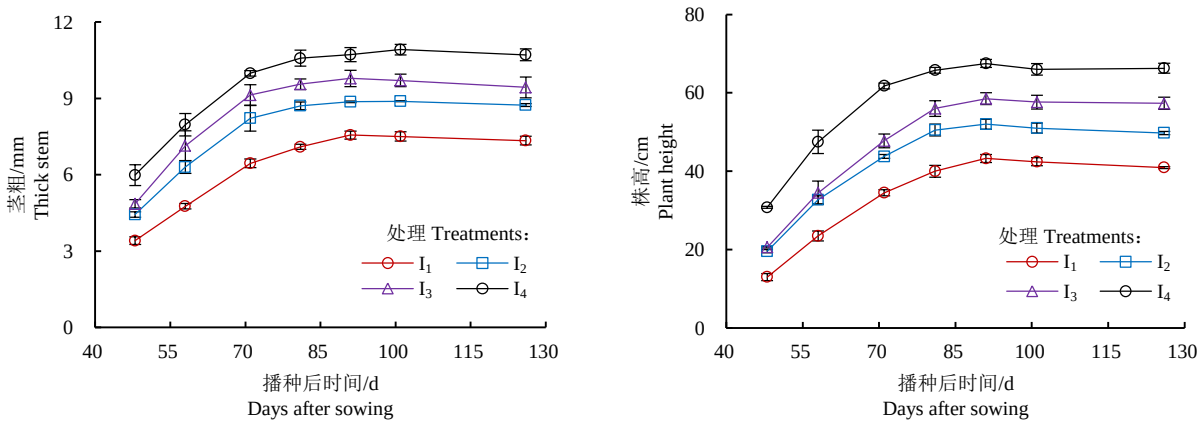
5）灌溉水利用效率

$$WUE_I=Y/I, \qquad (3)$$

式中：Y 为表示脱籽后皮棉的产量（kg/hm^2）；I为生育期内对棉田的灌溉水补给量（m^3/hm^2）。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理，并用 DPS 进行统计分析，采用 Duncan 新复极差法进行方差分析和差异性检验（α=0.05）。



（a）茎粗 Thick stem　　（b）株高 Plant height

图 3 不同灌水定额下棉花生长

Fig.3　Cotton growth under different irrigation quotas on

2 结果与分析

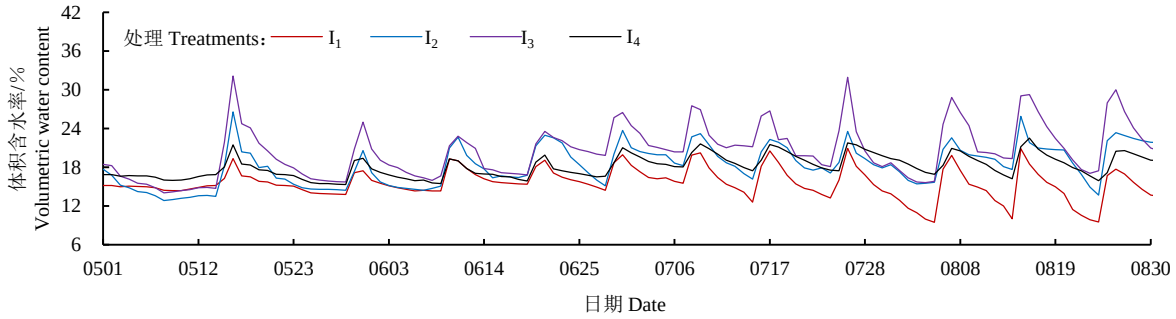
2.1 不同灌水定额对棉花生长的影响

茎粗是反映植物生长状况的重要指标之一。植物的茎直径变化来源于自身生长和体内水势的变化，能直接反应植物的生理状况及环境因素对植物的影响[19]。由图 3（a）可知，不同灌水定额棉花茎粗变化趋势基本相似，均呈先增加后逐渐趋于稳定的趋势，出苗至生长 70 d 前的棉花茎粗增长较快，茎粗日均增长量在 0.13 mm/d 以上，至 90 d 后进入缓慢生长期，棉花茎粗变化相对稳定，播后 120 d 灌水结束后，各处理的棉花茎粗基本保持不变。茎粗随着灌水定额的增加而增加，I_3 处理茎粗最大，I_2 处理次之，I_1 处理最小，但均低于覆膜 I_4 处理。

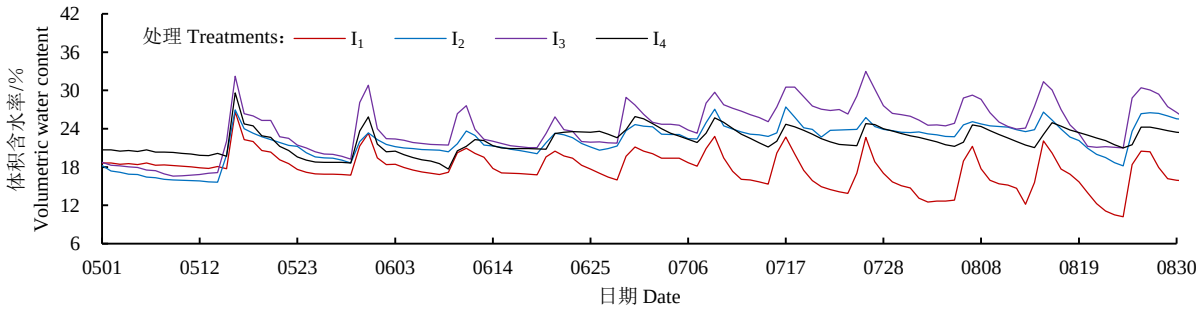
株高是棉花生长发育状况的首要指标和衡量群体株型状况合理与否的重要敏感指标，直接影响种植密度配置和光能利用率，最终影响棉花产量[20]。由图 3（b）可知，不同灌水定额的棉花株高生长趋势基本一致，呈先增加后缓慢趋于稳定的趋势。播种后 90 d 为花铃前期，I_1、I_2、I_3 处理棉花株高分别为 43.27、52.00、58.50 cm，较覆膜 I_4 处理分别降低了 56.01%、29.81%和 15.38%。进入花铃后期棉花从营养生长为主转向以生殖生长为主，加之人工打顶之后，棉花株高几乎不再增长，此时主要是节间长度的增加。综合整个棉花生育期来看，不同灌水定额对棉花株高及其日增长速率有显著影响。

2.2 不同灌水定额对土壤水分变化的影响

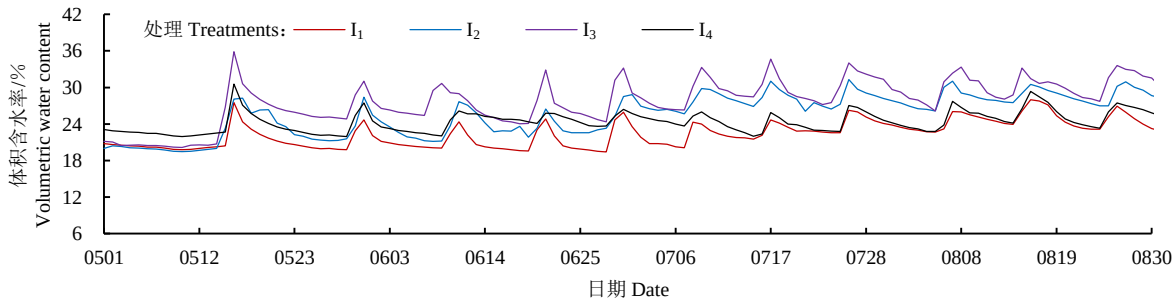
膜下滴灌条件下，地表以下 40 cm 土层范围集中了 85%以上的根系，为棉花的主根区[21-22]，是棉花吸收水分和养分的主要区域。因此，本文对 0～60 cm 棉花主根区土壤含水率变化进行了动态分析，不同灌水定额处理土壤水分变化如图 4 所示。由图 4 可知，不同灌水定额对土壤含水率的变化影响较大，土壤含水率的变化周期与灌水周期相对一致，灌前土壤含水率处于相对低值，灌后显著增加。在无膜滴灌条件下，不同深度的土壤含水率随着灌水定额的增加而增加，而覆膜滴灌 I_4 处理土壤含水率要高于 I_1 处理，低于 I_2 和 I_3 处理。0～40 cm 土壤含水率波动幅度较大，40～60 cm 的土壤水分变幅较小。



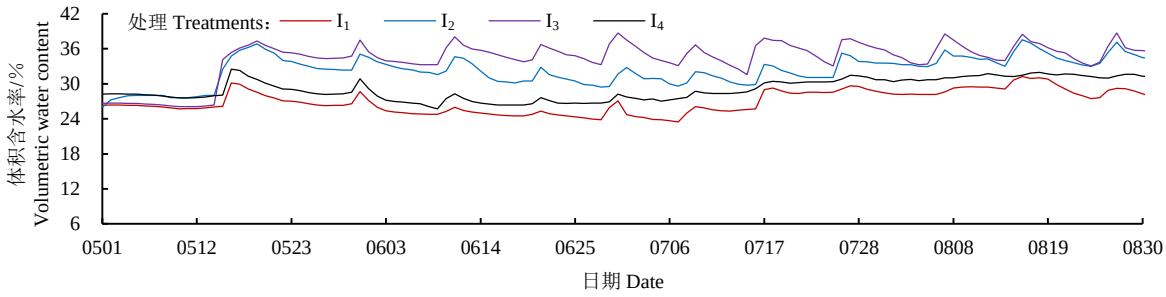
(a) 0~10 cm



(b) 10~20 cm



(c) 20~40 cm



(d) 40~60 cm

图 4 不同灌水定额下土壤含水率变化

Fig.4 Soil moisture changes under different irrigation quotas

2.3 棉花产量构成因子和灌溉水利用效率

由表 2 可知，棉花单株铃数、单铃质量以及籽棉产量随灌水定额的增加而增加，而灌溉水利用效率则相反。I_3 处理籽棉产量最高，为 7 195.48 kg/hm^2，较 I_1、I_2 及 I_4 处理分别增加了 32.5%、17.5%和 19.54%，显著优于 I_1、I_2 和 I_4 处理，但 I_1、I_2 和 I_4 处理间无显著性差异。同时，I_1、I_2 和 I_3 处理的灌溉水利用效率差异性不显著，而 I_4 处理的灌溉水利用效率最高。

表 2 不同灌水定额下棉花产量构成因子和灌溉水利用效率

Table 2 Cotton yield components and irrigation water use efficiency under different irrigation quotas

处理 Treatments	灌水定额/mm Irrigation amount	单株铃数/个 Boll numbers per plant	单铃质量/g Boll mass	籽棉产量/（kg hm^{-2}） Seed cotton yield	灌溉水利用效率/（kg m^{-3}） Irrigation water use efficiency
I_1	36	4.28b	4.70c	5 421.65b	1.37ab
I_2	45	4.51b	4.95bc	6 122.32b	1.24b
I_3	54	5.17a	5.10b	7 195.48a	1.21b
I_4	36	4.14b	5.70a	6 019.40b	1.52a

注 同列不同字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

Note Different letters in the same column indicate significant differences between treatments (P<0.05).

2.4 不同灌水定额对棉花纤维品质的影响

棉花纤维品质是影响其经济价值的重要指标，不同灌水定额棉花纤维品质如表 3 所示。上半部平均长度、整齐度指数及断裂比强度随着灌水定额的增加而增加，而马克隆值则反之。无膜滴灌条件下，不同灌水定额的棉花伸长率差异性不显著，但均显著低于对照。总体来说，I_3 处理的棉花品质要优于其他处理。

表 3 不同灌水定额下棉花纤维品质

Table 3 Cotton fiber quality under different irrigation quotas

处理 Treatments	灌水定额/mm Irrigation amount	上半部平均长度/mm Upper half average length	整齐度指数/% Uniformity index	断裂比强度 Specific strength at break	马克隆值 Micronaire	伸长率/% Elongation
I_1	36	27.00b	83.50b	25.30b	5.10b	6.80b
I_2	45	27.01b	84.07b	25.97b	4.93b	6.80b
I_3	54	28.53a	85.33a	26.63ab	4.47c	6.80b
I_4	36	27.20b	85.00a	27.87a	5.50a	6.87a

注 同列不同字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

Note Different letters in the same column indicate significant differences between treatments (P<0.05).

3 讨 论

地膜覆盖栽培技术自 20 世纪 70 年代末引入我国以来，因其具有增温、保墒、抑制杂草生长、增加农作物产量和缩短农作物的生长期等优点，得到了大面积的推广及应用[23]。但是，地膜的长久积累会恶化土壤环境，地膜会降低土壤含水率，削弱作物的抗旱能力，引起土壤次生盐渍化，造成土壤板结且肥力下降；影响土壤对作物水分、养分供应；能降低种子发芽率、影响作物生长发育，导致作物减产；影响农机作业质

量和效率[24]。在有效控制或消除地膜污染方面，前人已做了大量的理论研究和实践努力。开发液体地膜、可降解地膜替代难以降解的化学塑料地膜是人们的努力方向之一[25]，但该技术目前尚不成熟度，成本较高，大面积推广应用尚存在诸多困难，更为重要的是，长期使用该 2 类地膜仍存在影响土壤生态环境的潜在风险；增加薄膜厚度（大于 0.008 mm）[26-27]、提高地膜回收率是新疆生产建设兵团目前大面积推广使用的减轻地膜残留的另一种方式，但会使覆膜成本随之增加，棉花生产效益降低，棉农接受度较低，大面积应用困难重重；第三条途径是无膜移栽棉花的尝试[8]，但是在新疆干旱、盐碱及大田棉花密植栽培条件下，成本很高，实施难度也很大。从长远的土壤环境问题考虑，棉花无膜滴灌栽培极有可能成为彻底解决南疆棉田地膜残留污染的有效途径，但是在干旱少雨、蒸发强烈、土壤盐渍化严重的南疆地区涉及无膜滴灌棉花适宜水盐管理模式的研究尚处于起步探索阶段，现有的覆膜滴灌技术不能满足无膜棉花高效栽培模式构建的需要。因此，研究灌水定额与土壤水分、棉花生长及产量品质之间的响应关系，确定适宜无膜滴灌棉花的灌溉制度是大面积推广无膜滴灌棉花种植必不可少的。初步研究内容如下：

无膜滴灌棉田不同灌水定额对棉花生长发育指标具有显著影响，增加灌水定额和灌水次数有利棉花的生长[28]。本试验中，茎粗和株高随着灌水定额的增加而增加，同时棉花茎粗及株高日增长速率与之相同。这是由于在茎生长阶段，随着根区土壤中可利用水分的减少，茎生长速率随之降低[29]，较高的灌水定额可以显著增加株高，提升光合产物累积量，为棉花生长提供适宜的土壤水盐环境[18]。3 种灌水定额的茎粗与株高均低于膜下滴灌的对照，可能是因为棉花是喜温作物，较高的土壤温度有利于棉花的生长，而膜下滴灌土壤温度高于无膜滴灌。

本试验中，土壤含水率随着灌水定额的增加整体表现为增加趋势。不同灌水定额，0～20 cm 土壤含水率波动明显，这是由于膜下滴灌转变成无膜滴灌后，土壤蒸发加剧，表层土壤在灌水前水分达到相对低值，灌水后土壤水分得到补充，恢复到较高的水平。而作为对照的 I_4 处理在整个生育阶段土壤水分波动较小，这是因为薄膜覆盖可防止土壤蒸发，土壤水分基本用于棉花生长。同时，随着土层深度的增加，土壤含水率波动幅度减缓[30]。

在棉花产量及其构成因子方面，本试验中棉花单株铃数、单铃质量以及籽棉产量随着灌水定额的增加而增加，而灌溉水利用效率则随着灌水定额的增加而减小，这与王军等[31]的研究较为一致。这是由于较大的灌水定额比较小的灌水定额能更好地弥补蒸发损失，满足棉花耗水。无膜滴灌条件下灌水定额为 54 mm 的籽棉产量为 7 195.48 kg/hm^2，较膜下滴灌增加了 19.54%，由此可以看出，在无膜滴灌的情况下，通过提高灌水定额是可以实现棉花不减产，且略有提高。虽然无膜滴灌棉花的灌水定额增加了，但从长远的土壤环境问题来考虑，用灌水量来弥补是极为有意义的，且可以通过进一步的研究将无膜滴灌棉花的灌水定额适当地降低。棉花纤维品质是决定棉花经济价值的重要指标[32]，已有学者指出，棉花上半部平均长度与断裂比强度随灌水定额的增加而增加，马克隆值与之相反[33-34]，同时，种植模式由膜下滴灌转变为无膜滴灌后，棉花的品质并未下降。由于本试验是无膜滴灌棉花前期探索性试验，而棉花生长及产量品质也会随着不同气候变化在年际间存在差异，因此，还需开展进一步的相关试验研究。

4 结 论

1）无膜滴灌条件下，不同灌水定额对棉花生长发育影响显著，棉花茎粗和株高随灌水定额的增加而增加，而膜下滴灌在提高棉花茎粗和株高方面较无膜滴灌具有显著优势。

2）无膜滴灌的土壤含水率随灌水定额的增大而增加，且随着土层深度的增加，土壤水分波动逐渐减小。膜下滴灌土壤含水率变化幅度较无膜滴灌稳定，波动幅度较小。

3）无膜滴灌棉花籽棉产量随着灌水定额的增加而显著增加，灌水定额为 54 mm 时，籽棉产量可以达到 7 195.48 kg/hm^2，较膜下滴灌增加了 19.54%，且棉花品质最优，而膜下滴灌的灌溉水利用效率最高。

4）无膜滴灌灌水定额为 54 mm 对棉生长、产量品质的影响要优于其他处理，但在保证棉花产量不减产的前提下无膜滴灌还有节水及提高灌溉水利用率的空间。

参考文献：

[1] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(2): 95-102.
YAN Changrong, LIU Enke, SHU Fan, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(2): 95-102.

[2] ROY P K, SUREKHA P, RAJAGOPAL C. Surface oxidation of low-density polyethylene films to improve their susceptibility toward environmental degradation[J]. Journal of Applied Polymer Science,

2011, 122(4): 2 765-2 773.

[3] 董合干, 刘彤, 李勇冠, 等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 91-99.
DONG Hegan, LIU Tong, LI Yongguan, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8): 91-99.

[4] ZHANG Dan, LIU Hongbin, HU Wanli, et al. The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(11): 2 639-2 646.

[5] 王亮, 林涛, 严昌荣, 等. 地膜残留量对新疆棉田蒸散及棵间蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 120-128.
WANG Liang, LIN Tao, YAN Changrong, et al. Effects of plastic film residue on evapotranspiration and soil evaporation in cotton field of Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(14): 120-128.

[6] 李云光, 王振华, 张金珠, 等. 液体地膜对滴灌棉花生理特性和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 105-112.
LI Yunguang, WANG Zhenhua, ZHANG Jinzhu, et al. Effect of liquid mulch on physiological characteristics and yield of drip irrigated cotton[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(13): 105-112.

[7] 邬强, 王振华, 郑旭荣, 等. PBAT 生物降解膜覆盖对绿洲滴灌棉花土壤水热及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(16): 135-143.
WU Qiang, WANG Zhenhua, ZHENG Xurong, et al. Effects of biodegradation film mulching on soil temperature, moisture and yield of cotton under drip irrigation in typical oasis area[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(16): 135-143.

[8] 雷成霞, 王振华, 魏闯, 等. 新疆地下滴灌无膜移栽棉花干物质积累与需水量关系[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(6): 94-97, 102.
LEI Chengxia, WANG Zhenhua, WEI Chuang, et al. Relationship between dry matter accumulation and water requirement in cotton transplantation without film under subsurface drip irrigation in Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(6): 94-97, 102.

[9] 孙维福. “无膜棉”破解地膜污染难题[J]. 农村百事通, 2018(1): 20.
SUN Weifu. "No-Film Cotton" Solves the Problem of Mulching Film Pollution[J]. Rural Best Knowledge, 2018(1):20.

[10] 蔡焕杰, 邵光成, 张振华. 荒漠气候区膜下滴灌棉花需水量和灌溉制度的试验研究[J]. 水利学报, 2002, 33(11): 119-123.
CAI Huanjie, SHAO Guangcheng, ZHANG Zhenhua. Water demand and irrigation scheduling of drip irrigation for cotton under plastic mulch[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 33(11): 119-123.

[11] 刘新永, 田长彦, 马英杰, 等. 南疆膜下滴灌棉花耗水规律以及灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 108-112.
LIU Xinyong, TIAN Changyan, MA Yingjie, et al. Water consumption characteristics and scheduling of drip irrigation under plastic film for cotton in south Xinjiang[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(1): 108-112.

[12] Dağdelen N, Başal H, Yılmaz E, et al. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey[J]. Agricultural Water Management, 2008, 96(1):111-120.

[13] 王峰, 孙景生, 刘祖贵, 等. 不同灌溉制度对棉田盐分分布与脱盐效果的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12): 120-127.
WANG Feng, SUN Jingsheng, LIU Zugui, et al. Effect of different irrigation scheduling on salt distribution and leaching in cotton field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12): 120-127.

[14] 弋鹏飞. 膜下滴灌棉田土壤水盐运移规律试验研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2011.
YI Pengfei. Stuty on water-salt transport law under drip irrigation with film mulch of cotton[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2011.

[15] 李淦, 高丽丽, 张巨松. 适宜膜下滴灌频次提高北疆机采棉光合能力及产量[J]. 农业工程学报, 2017, 33(4): 178-185.
LI Gan, GAO Lili, ZHANG Jusong. Optimal irrigation frequency improving photosynthetic characteristics and yield of machine-harvested cotton with drip irrigation under mulch in Northern Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(4): 178-185.

[16] 余美, 杨劲松, 刘梅先, 等. 膜下滴灌灌水频率对土壤水盐运移及棉花产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 18-23, 28.
YU Mei, YANG Jinsong, LIU Meixian, et al. Effects of mulched drip irrigation frequency on soil water-salt transport and cotton yield[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(3): 18-23, 28.

[17] 高龙, 田富强, 倪广恒, 等. 膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究[J]. 水利学报, 2010, 41(12): 1 483-1 490.
GAO Long, TIAN Fuqiang, NI Guangheng, et al. Experimental study on soil water-salt movement and irrigation scheduling for cotton under mulched drip irrigation condition[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(12): 1 483-1 490.

[18] 崔永生, 王峰, 孙景生, 等. 南疆机采棉田灌溉制度对土壤水盐变化和棉花产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 3 634-3 642.
CUI Yongsheng, WANG Feng, SUN Jingsheng, et al. Effects of irrigation regimes on the variation of soil water and salt and yield of mechanically harvested cotton in Southern Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(11): 3 634-3 642.

[19] 贾正茂, 崔远来, 刘方平, 等. 不同水分条件下棉花茎流、叶温及茎粗变化规律[J]. 中国农村水利水电, 2012(6): 73-77.
JIA Zhengmao, CUI Yuanlai, LIU Fangping, et al. Change rule of Sap flow, leaf temperature and stem diameters of cotton under different soil water contents[J]. China Rural Water and Hydropower, 2012(6): 73-77.

[20] 王一民, 虎胆•吐马尔白, 张金珠, 等. 膜下滴灌不同灌溉定额及灌水周期对棉花生长和产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(9): 1 765-1 769.
WANG Yimin, HUDAN•Tumarbay, ZHANG Jinzhu, et al. Effect of different irrigation quota and cycle under mulched drip irrigation on

cotton growth and yield[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(9): 1 765-1 769.

[21] 危常州，马富裕，雷咏雯，等. 棉花膜下滴灌根系发育规律的研究[J]. 棉花学报, 2002, 14(4): 209-214.
WEI Changzhou, MA Fuyu, LEI Yongwen, et al. Study on cotton root development and spatial distribution under film mulch and drip irrigation[J]. Acta Gossypii Sinica, 2002, 14(4): 209-214.

[22] 侯振安，李品芳，吕新，等. 不同滴灌施肥方式下棉花根区的水、盐和氮素分布[J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 549-557.
HOU Zhen'an, LI Pinfang, LYU Xin, et al. Distributions of water, salinity, and nitrogen in cotton root zone by different fertigation strategies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(3): 549-557.

[23] 牛瑞坤，王旭峰，胡灿，等. 新疆阿克苏地区棉田残膜污染现状分析[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(2): 283-288.
NIU Ruikun, WANG Xufeng, HU Can, et al. Analysis of the current situations of plastic films residue pollution of cotton field in Xinjiang Aksu area[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(2): 283-288.

[24] 董伟伟，刘维忠，戴健. 新疆棉田残膜治理措施研究[J]. 农村科技, 2015(1): 73-74.
DONG Weiwei, LIU Weizhong, DAI Jian. Study on Control Measures of Residual Film in Cotton Field in Xinjiang[J]. Rural Science＆Technology, 2015(1): 73-74.

[25] 张杰，任小龙，罗诗峰，等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 14-19.
ZHANG Jie, REN Xiaolong, LUO Shifeng, et al. Influences of different covering materials mulching on soil moisture and corn yield[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 14-19.

[26] 贺怀杰，王振华，郑旭荣，等. 典型绿洲区长期膜下滴灌棉田残膜分布现状研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 63-69.
HE Huaijie, WANG Zhenhua, ZHENG Xurong, et al. Distribution of size and quantity of film residuals in cotton fields under film-mulched drip irrigation in oasis region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(2): 63-69.

[27] 唐文雪，马忠明，魏焘. 不同厚度地膜多年覆盖对土壤物理性状及玉米生长发育的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12): 36-41.
TANG Wenxue, MA Zhongming, WEI Tao. The effects of continuous mulching with plastic films of different thicknesses on soil physical properties and growth of maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(12): 36-41.

[28] 杨九刚，何继武，马英杰，等. 灌水频率和灌溉定额对膜下滴灌棉花生长及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2011(3): 29-32, 38.
YANG Jiugang, HE Jiwu, MA Yingjie, et al. Effects of irrigation frequency and quota on cotton growth and yield with drip irrigation under plastic film[J]. Water Saving Irrigation, 2011(3): 29-32, 38.

[29] 张寄阳，段爱旺，孟兆江，等. 不同水分状况下棉花茎直径变化规律研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 7-11.
ZHANG Jiyang, DUAN Aiwang, MENG Zhaojiang, et al. Stem diameter variations of cotton under different water conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(5): 7-11.

[30] 樊凯，高阳，王兴鹏，等. 根据气象信息指导南疆棉花膜下滴灌的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(3): 83-90.
FAN Kai, GAO Yang, WANG Xingpeng, et al. Study on cotton drip irrigation under film mulching in southernXinjiang based on meteorological information[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(3): 83-90.

[31] 王军，李久生，关红杰. 北疆膜下滴灌棉花产量及水分生产率对灌水量响应的模拟[J]. 农业工程学报, 2016, 32(3): 62-68.
WANG Jun, LI Jiusheng, GUAN Hongjie. Modeling response of cotton yield and water productivity to irrigation amount under mulched drip irrigation in North Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(3): 62-68.

[32] 王峰，孙景生，刘祖贵，等. 灌溉制度对机采棉生长、产量及品质的影响[J]. 棉花学报, 2014, 26(1): 41-48.
WANG Feng, SUN Jingsheng, LIU Zugui, et al. Effects of irrigation scheduling on growth, yield and fiber quality of cotton under mechanical harvest cropping model[J]. Cotton Science, 2014, 26(1): 41-48.

[33] BALKCOM K S, REEVES D W, SHAW J N, et al. Cotton yield and fiber quality from irrigated tillage systems in the Tennessee valley[J]. Agronomy Journal, 2006, 98(3): 596-602.

[34] PETTIGREW W T. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution[J]. Agronomy Journal, 2004, 96(2): 377-383.

The Effects of Drip-irrigation Scheduling without Mulching on Soil Moisture, Yield and Quality of Cotton in Southern Xinjiang

WANG Hongbo[1, 2], CAO Hui[1, 2], GAO Yang[3], WANG Xingpeng[1, 2*]

（1. College of Water Resource and Architecture Engineering, Tarim University, Alaer 843300, China；

2. Key Laboratory of Modern Agricultural Engineering, Tarim University, Alaer 843300, China；

3. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China)

Abstract: 【Background】The use of plastic film mulching in drip irrigation of cotton in Xinjiang had led to plastic pollution over the past decades and easing the film pollution is not only a practical issue but also a research interest. One alternative is not to mulch, in which understanding the response of growth, yield and quality of cotton to soil moisture and irrigation scheduling is essential to sustaining cotton production without scarifying environment. 【Objective】This paper is to experimentally study the effects of drip irrigation scheduling without mulching on soil moisture, growth, yield and quality of cotton in southern Xinjiang.【Method】We compared four irrigation levels: 36 mm (I_1), 45 mm (I_2), 54 mm (I_3) and 36 mm (I_4), with mulching taken as control for each treatment.【Result】As irrigation amount increased, stem diameter and plant height increased more significantly in the control than without mulching. The soil moisture in 0~60 cm soil layer increased with irrigation amount for both control and the treatments, but the soil moisture change in the former was more oscillating than in the latter. The yield of seed cotton without mulching increased significantly with irrigation amount. In particular, the yield of I_3 was 7 195.48 kg/hm^2, up 19.54% compared to the control. Not mulching improved cotton quality, while mulching was more water use efficient.【Conclusion】Results showed that drip-irrigating 54 mm of water without mulching was the optimal irrigation scheduling to best balance growth, yield and quality, and irrigation water use efficiency of the cotton.

Key words: cotton; drip irrigation without film mulching; cotton growth; yield and quality

责任编辑：赵宇龙