

王亮, 林涛, 田立文, 等. 残膜对棉田耗水特性及干物质积累与分配的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(3): 547-556.

WANG Liang, LIN Tao, TIAN Li-wen, et al. Effects of plastic film residue on water consumption characteristics and biomass accumulation and distribution in drip irrigation of cotton[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(3): 547-556.

## 残膜对棉田耗水特性及干物质积累与分配的影响

王亮<sup>1</sup>, 林涛<sup>2,3</sup>, 田立文<sup>2</sup>, 严昌荣<sup>3</sup>, 何文清<sup>3</sup>, 王静<sup>1</sup>, 汤秋香<sup>1,4\*</sup>

(1.新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; 2.新疆农业科学院经济作物研究所, 乌鲁木齐 830091; 3.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 4.农业部农业环境重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**采用大田微区控制性模拟试验,测定并比较了新疆覆膜滴灌棉田3种不同残膜含量(0、225、450 kg·hm<sup>-2</sup>)对棉花的耗水量、耗水模数、棵间蒸发量、水分利用效率、干物质积累分配及其与耗水相关性的影响。结果表明,试验条件下,与无残留处理相比,随着残膜量的增加,生育期总耗水量有降低趋势,C<sub>225</sub>和C<sub>450</sub>处理分别降低了25.60、33.74 mm,但差异未达显著性水平,其中苗期、蕾期耗水模数降低较为显著,说明残膜降低了作物的耗水量,明显抑制了生育前期的耗水需求。与此同时,残膜污染的加剧,增大了生育期平均棵间蒸发强度,两个生长季C<sub>225</sub>和C<sub>450</sub>处理的棵间蒸发强度显著比C<sub>0</sub>处理高0.07、0.16 mm·d<sup>-1</sup>,降低了有效耗水所占比例;此外,残膜不利于干物质的快速积累和在生殖器官中的高效分配,C<sub>450</sub>处理籽棉产量和水分利用效率较无残膜处理分别降低了8.7%和5.6%。

**关键词:**地膜残留;耗水特性;干物质积累与分配;水分利用效率

中图分类号:X503.231 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2017)03-0547-10 doi:10.11654/jaes.2016-1206

### Effects of plastic film residue on water consumption characteristics and biomass accumulation and distribution in drip irrigation of cotton

WANG Liang<sup>1</sup>, LIN Tao<sup>2,3</sup>, TIAN Li-wen<sup>2</sup>, YAN Chang-rong<sup>3</sup>, HE Wen-qing<sup>3</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, TANG Qiu-xiang<sup>1,4\*</sup>

(1.College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2.Xinjiang Academy of Agricultural Sciences Institute of Industrial Crops, Urumqi 830091, China; 3.Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4.Key Laboratory for Agricultural Environment, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The plot and field simulation experiments were undertaken to determine the effect of plastic film residues on water consumption, consumption modulus, evaporation, water use efficiency, biomass accumulation and distribution in a drip irrigated cotton field covered by plastic mulch during 2014—2015 in an arid region. Three treatments including plastic film residue amount of 0 kg·hm<sup>-2</sup>, 225 kg·hm<sup>-2</sup> and 450 kg·hm<sup>-2</sup> were designed based on investigation of typical cotton field representing local present situation. The results showed that during the whole growing period, residue addition of 225 kg·hm<sup>-2</sup> and 450 kg·hm<sup>-2</sup> decreased the water consumption by 25.60 mm and 33.74 mm and increased mean evaporation intensity of growth period by 0.07 mm·d<sup>-1</sup> and 0.16 mm·d<sup>-1</sup> compared to no film treatment, respectively. Although, total crop water consumption was not significantly affected by plastic film residues between 225 kg·hm<sup>-2</sup> and 450 kg·hm<sup>-2</sup> treatments, but was significantly decreased compared to no film treatment, respectively. The consumption modulus decreased with increase in the

收稿日期:2016-09-17

作者简介:王亮(1990—),男,甘肃张掖人,硕士研究生,研究方向为农田生态环境。E-mail:980201749@qq.com

\*通信作者:汤秋香 E-mail:tangqiuxiang2004\_2@163.com

基金项目:产学研联合培养项目(xjauxy-yjs-20151011);国家自然科学基金项目(31460143);新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2014211A026);中国博士后科学基金项目(2013M540784);国家自然科学基金面上项目(31370522);农业部农业环境重点实验室开放基金项目

Project supported: Production, Teaching, Research, Joint Training Graduate Programs of Xinjiang Agricultural University (xjauxy-yjs-20151011); The National Natural Science Foundation of China(31460143); The Natural Science Foundation of Xinjiang Province, China(2014211A026); The China Postdoctoral Science Foundation(2013M540784); The National Natural Science Foundation of China(Face Items)(31370522); Agricultural Environment Key Laboratory China Department of Agriculture

residual amount of plastic film, especially, in seedling and bud stage. Meanwhile, increasing plastic film residue could decrease soil water use efficiency and biomass. In sum, water consumption, effective water consumption ratio and seed cotton yield could be described by residual plastic film, respectively. And the water consumption demand in the early stage of growth was significantly inhibited. This study could provide valuable information for well understanding effects of residual film in farmland. Further field and modelling studies are needed to extrapolate the findings to a wider range of crop and site conditions, and to develop threshold and early warning informations to assist researchers or farmers to better to reduce the risk of residual film.

**Keywords:** residual plastic film; the characteristics of water consumption; biomass accumulation and distribution; water use efficiency

随着地膜覆盖栽培技术的迅猛发展和大面积应用,我国已成为世界上覆膜栽培规模大、应用作物种类多的国家之一<sup>[1]</sup>。新疆已成为我国覆膜植棉最大的地区<sup>[2]</sup>,2015 年仅棉花种植面积已达到  $19.78 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,棉田地膜使用量达  $7.9 \times 10^4 \text{ t}$ ,约占同年全国地膜使用总量的 43%<sup>[3]</sup>。地膜高强度的使用,导致新疆残膜污染问题日趋严重,据不完全统计<sup>[4-6]</sup>,当前新疆棉区耕层地膜平均残留量达  $253.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,是全国平均水平的 4~5 倍,其中平均残膜量  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上的田块面积占被调查样本的 78.1%,残膜影响土壤的自净过程,危害作物的生长发育,导致大幅减产<sup>[7-11]</sup>。

目前,国内外关于残膜对作物及生长环境的影响,主要集中在对土壤水分、养分的影响机制方面,包括土壤含水量、水分入渗方式,水分运移及速效养分分布等。作物主要通过根系吸收水分和养分,残膜的阻隔作用改变了土壤的水肥环境和根系的吸水性能。关于残膜含量对土壤水分分布的影响,王志超等<sup>[12]</sup>研究表明,残膜阻碍了土壤水分入渗,在  $0 \sim 400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的残留范围内,随着残膜量的增加,土壤含水率下降,保水能力降低;李仙岳等<sup>[13]</sup>研究表明,残膜阻碍土壤水分运移,滴灌条件下  $0 \sim 200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  残留范围内,随着残留量的增加土壤湿润体明显变小,湿润锋的水平和垂直运移距离显著缩短;牛文全等<sup>[14]</sup>发现,在室内土柱试验条件下,当  $80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \leq \text{残膜量} \leq 320 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,随残膜量的增加,残膜对土壤水分入渗的阻滞作用明显增强,水分入渗量及入渗速率随残膜量的增加逐渐减小,残膜加剧了土壤水分垂直分布的变异性,对表层土壤的影响极其显著;董合干等<sup>[15]</sup>发现,残膜量为  $2000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,由于对水分的阻隔作用,继而导致土壤有机质、有效磷、有效钾等显著下降。

土壤水分条件是影响作物生长的关键因素,水分消耗的变化必然影响干物质的积累。王海江等<sup>[16]</sup>研究表明,不同生育时期干物质的日增重量与其日均耗水量之间存在着极显著的正相关性,耗水量越大,干物

质积累量越多。关于残膜对产量构成的影响,前人研究表明<sup>[17-19]</sup>,残膜量为  $2000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,棉花铃期生物量下降 48.5%,根冠比和根系表面积等生长指标均与无残膜处理有显著性差异,产量下降 41.7%。收获株数、单铃重、产量等随残膜量的增加而减少:当残膜量达  $210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上时,收获株数比对照减少 11.0%~16.5%,成铃数减少 0.8~1.0 个,棉花产量比对照减少 16.9%~21.6%;残膜量为  $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,单株成铃数减少 16.4%,单铃重降低 16.9%,减产 30.4%。

综上所述,有关残膜对作物耗水及水分生产过程的同步研究较少。本文通过大田微区控制性试验,模拟了新疆覆膜滴灌棉田 3 种典型的地膜残留状态,通过分析耗水量、棵间蒸发量、水分利用效率、干物质积累与分配特征,明确了地膜残留对棉田耗水与干物质积累分配的影响,研究对于继续深入残膜危害的认识,开展残膜阈值对作物水分生产潜力、农田水资源承载预警等工作都具有重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验小区位于新疆阿克苏地区阿瓦提县丰收二场新疆农业科学院棉花综合试验站( $40^{\circ}06' \text{ N}$ ,  $80^{\circ}44' \text{ E}$ ,海拔 1025 m)。该区域日照长、热量丰富,多年平均日照时数达 2679 h,年均气温  $10.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高气温  $39.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  年积温为 3 987.7  $^{\circ}\text{C}$ ,无霜期为 115 d。2014 年棉花生育期降水量为 33.27 mm,2015 年降水量为 125.20 mm,年蒸发量 2900 mm,属于典型的温带大陆性干旱气候,农业完全依赖于灌溉。两年度供试品种均为新陆中 75 号,试验区土质为沙质壤土, $0 \sim 40 \text{ cm}$  平均土壤容重为  $1.448 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,试验田地下水埋深  $> 5 \text{ m}$ ,向上补给量忽略不计。土壤基本性状见表 1。

### 1.2 试验设计

#### 1.2.1 试验棉田残膜状况调查

为了解试验地地膜残留状况,为试验残膜梯度的

表1 2014—2015年供试土壤养分状况

Table 1 Nutrients contents of the tested soil in 2014 and 2015

年份 Year	全氮 Total nitrogen (TN)/g·kg <sup>-1</sup>	有机质 Organic matter (OM)/g·kg <sup>-1</sup>	速效氮 Available nitrogen (AN)/mg·kg <sup>-1</sup>	速效磷 Available phosphorous (AP)/mg·kg <sup>-1</sup>	速效钾 Available potassium (AK)/mg·kg <sup>-1</sup>
2014	0.47	8.33	58.37	35.37	130.67
2015	0.37	6.49	63.60	18.88	179.67

设计提供依据,预先于试验田随机取面积为1 m<sup>2</sup>,深度为30 cm的5个样方,调查实际地膜残留量及分布状态,结果见表2。测定0~10、10~20、20~30 cm土层土壤容重分别为1.446、1.448、1.451 g·cm<sup>-3</sup>。

### 1.2.2 不同地膜残留量的试验设计过程

于2014、2015年在新疆农业科学院棉花综合试验站同一块试验田开展小区试验,模拟典型生产棉田地膜的残留和分布特点,设置3个残膜量,分别为0、225、450 kg·hm<sup>-2</sup>,即C<sub>0</sub>、C<sub>225</sub>、C<sub>450</sub>处理。于前茬棉花收获后追施底肥,进行冬翻,人工清理出小区30 cm深度的土壤并过筛,经挑拣、洗净、晾干、称重,获得残膜等级及分布数据(表2)。对于C<sub>0</sub>处理,挑拣完后按照土层顺序直接回填。对于C<sub>225</sub>和C<sub>450</sub>处理,依据调查获得的大田残膜等级及质量分布规律,将处理后的残膜混匀,再分别与0~10、10~20、20~30 cm土层土壤充分混匀,按各层土壤容重的顺序依次回填,回填后适度镇压,保证地面平整,尽可能满足与残膜农田的情况一致后进行冬灌。春季机械覆膜铺管,人工点播,确保出苗率在95%以上。为确保两年试验准确性,2015年掺埋残膜的方法与2014年一致。

试验采用随机区组设计,3次重复,共9个小区。小区间设保护行,小区长6.5 m、宽4.5 m,面积29.25

表2 试验棉田土壤不同深度残膜量分布

Table 2 The distribution of plastic mulch film residue in different soil layers

残膜面积 Residue plastic film area/cm <sup>2</sup>	土层深度 Different soil depth/cm	残膜质量 Quantity of residue film/ kg·hm <sup>-2</sup>	比例 Ratio/%	三类残膜质量比 Mass ratio of three kinds of residual plastic film
≤4	0~10	100.8	65.4	7
	10~20	36.5	23.7	
	20~30	16.8	10.9	
4~25	0~10	29.6	67.1	2
	10~20	10.7	24.3	
	20~30	3.8	8.6	
≥25	0~10	15.6	70.9	1
	10~20	4.7	21.3	
	20~30	1.7	7.8	

m<sup>2</sup>,两年均施尿素(含N 46%)225 kg·hm<sup>-2</sup>,磷酸二铵(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%)347 kg·hm<sup>-2</sup>及硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 51%)75 kg·hm<sup>-2</sup>。株行配置模式为[(10 cm+66 cm+10 cm)+66 cm]×10 cm,采用1.25 m地膜,双滴灌带,一膜4行种植模式,滴灌带间距40 cm,滴头间距25 cm,滴头设计流量2.1 L·h<sup>-1</sup>。生育期灌溉量参照当地最佳灌溉量,均为4650 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,灌溉频率均为7 d·次<sup>-1</sup>,种植密度为2.4×10<sup>5</sup>株·hm<sup>-2</sup>,日常管理措施同大田。

### 1.3 测定方法

#### 1.3.1 土壤质量含水率的测定

棉花出苗后每隔10 d用土钻于每处理的第2膜(减小边际效应)膜间滴头正下方,每10 cm为一层采取0~10、10~20、20~30、30~40 cm刨层土样,立即装入铝盒中,称鲜土重后105℃烘至恒重,计算土壤质量含水率。土壤质量含水率(%)=(鲜土重-干土重)/干土重×100。

#### 1.3.2 农田耗水量的计算

采用水量平衡法计算作物耗水量 $ET_{1-2}$ <sup>[20-21]</sup>,公式为:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M + P_0 + K$$

式中: $ET_{1-2}$ 为阶段耗水量,mm; $i$ 为土壤层序数; $n$ 为土壤层次总数,本试验为4; $\gamma_i$ 为第*i*层土壤干容重,g·cm<sup>-3</sup>,本试验为1.448 g·cm<sup>-3</sup>; $H_i$ 为第*i*层土壤厚度,本试验为40 cm; $\theta_{i1}$ 为第*i*层土壤初时段的含水率,以占干土重的百分数计,%; $\theta_{i2}$ 为第*i*层土壤末时段的含水率,以占干土重的百分数计,%; $P_0$ 为时段内的有效降水量,mm; $M$ 为时段内的灌水量,mm; $K$ 为时段内的地下水补给量,mm,当地下水埋深大于2.5 m时可以不计(本试验地下水埋深在5 m以下,无地下水补给)。

#### 1.3.3 棵间蒸发量的测定

每小区行间布设6个规格相同的自制微型蒸发器(Micro-Lysimeters,MLS),蒸发器内径11 cm、壁厚5 mm、高15 cm,分为两个不封口的PVC管做成的内外套筒,将内筒垂直压入土壤内再取出,用纱网封底,然后放置于外筒内使其上缘与地面相平,防止土壤外

漏和周边土壤间水分交换的阻碍。蒸发器中原状土每6 d更换1次,降雨或灌溉后立即更换原状土体,每天早8:00用电子天平(精度为0.01 g,量程为3 kg)称量土柱日均蒸发损失量。

#### 1.3.4 植株干物质积累量

于棉花苗期、蕾期、花铃期和吐絮期每小区选取代表性植株5株,重复3次,将单株分根、茎叶、蕾铃花等器官称其鲜重后,分别置于105℃烘箱中杀青30 min,80℃烘干至恒重,冷却后分别称干重。

各生育阶段干物质积累量=阶段末干物质积累量-阶段初干物质积累量<sup>[22]</sup>

各器官的干物质分配比例(%)=各器官的干物质积累量/植株地上部干物质积累量×100<sup>[23]</sup>

根冠比(%)=根干重/地上部干重×100

#### 1.3.5 产量和水分利用效率的测定

实收计产,每个小区产量单独核算,棉花每次采摘风干后用电子天平称重计产,每次收花前单收100铃,计算单铃重。水分利用效率的计算公式为:

$$WUE=Y/ET^{[24]}$$

式中:WUE为水分利用效率,kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>;Y为籽棉产量,kg·hm<sup>-2</sup>;ET为棉花生育期内耗水量,mm。

#### 1.3.6 气象要素

降水量及气温等气象参数均由常规田间气象站测定(WatchDog 2900ET Weather Station, Spectrum, Inc., USA)。2014年和2015年生育期降雨量和日平均气温如图1所示。

#### 1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2010和Sigmaplot 12.5软件计算并绘制图表,用DPS 7.05统计软件分析差异显著性。

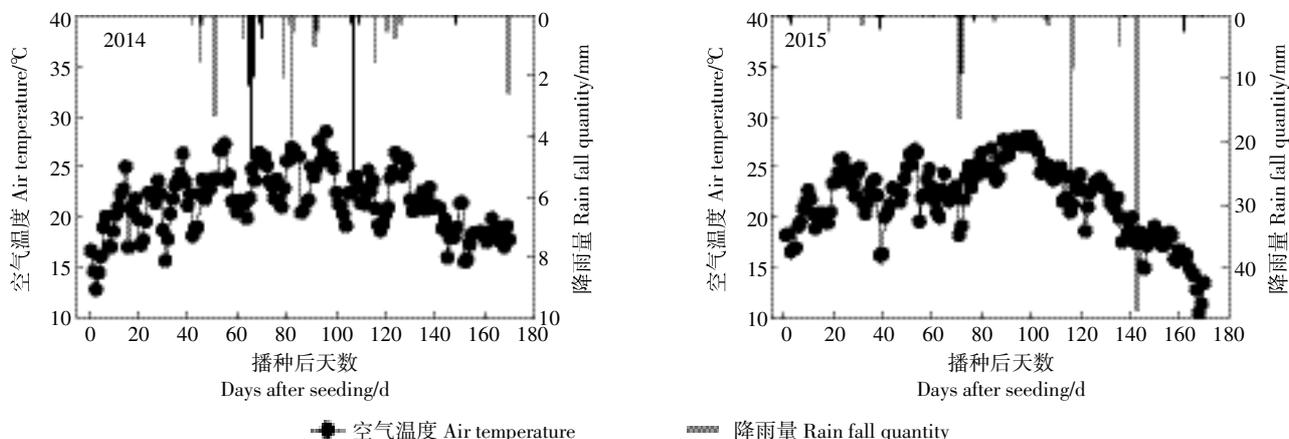


图1 2014、2015年棉花生育期气温和降雨量变化

Figure 1 Air temperature and rainfall of cotton growth period in 2014 and 2015

## 2 结果与分析

### 2.1 残膜对棉花生育期耗水量及耗水模数的影响

综合两年数据分析,各处理间生育期总耗水量无显著性差异,但均随残膜量增加呈降低趋势(表3)。残膜对各生育阶段耗水量及耗水模数影响较大,两年苗期耗水量及耗水模数C<sub>450</sub>处理显著低于C<sub>0</sub>处理;2014年蕾期耗水量及耗水模数无残膜处理显著高于残膜处理;花铃期各处理的耗水量及耗水模数无显著差异,其中C<sub>450</sub>处理阶段耗水量最低,耗水模数则略高;从花铃期前耗水模数看,C<sub>0</sub>、C<sub>225</sub>和C<sub>450</sub>处理分别为21.48%、19.82%和19.88%,花铃期之后则依次为78.52%、80.18%和80.12%。这一结果表明残膜降低了生育前期的耗水量及耗水模数,虽然残膜增大了生育后期的耗水模数,但各生育期及全生育期的耗水量却相对C<sub>0</sub>处理较低,说明残膜不利于满足棉花生育前期耗水需求。此外,因年度间降水量不同,棉花耗水量及耗水模数也存在差异,2014年棉花生育期降水33.3 mm,2015年度降水125.2 mm,2014年较2015年度降雨量少,因而该年度耗水量及耗水模数也较小。

### 2.2 残膜对棉花生育期间蒸发量的影响

由表4知,2014—2015年度,不同残膜处理棉花各生育时期棵间蒸发量均表现为蕾期前逐渐降低,花铃期达到最大,吐絮期又开始下降。两年试验中,不同处理棉花的棵间蒸发量在苗期—吐絮期均为C<sub>450</sub>>C<sub>225</sub>>C<sub>0</sub>处理,C<sub>450</sub>处理各生育期的棵间蒸发量比C<sub>0</sub>处理分别高0.16、0.14、0.18、0.13 mm·d<sup>-1</sup>。年度间,苗期—花铃期C<sub>450</sub>处理棵间蒸发量显著高于C<sub>0</sub>处理,吐絮期各处理间差异不显著。从全生育期看,各处理

棉花棵间蒸发量与各阶段变化趋势一致,均随残膜量的增加而增大。两年试验结果表明,增加残膜量,会明显增大棉田无效耗水量。

2.3 残膜对棉花干物质积累与分配的影响

2.3.1 不同生育时期干物质积累量

由图2可以看出,2015年苗期至蕾期C<sub>0</sub>处理干物质积累量显著高于C<sub>450</sub>处理,而2014年差异不

显著,2014年盛花期—吐絮期干物质积累量C<sub>0</sub>处理显著高于C<sub>450</sub>处理,2015年盛铃期—吐絮期各处理间干物质积累量差异虽然不显著,但均随残膜量的增加呈降低的变化趋势,表明残膜影响干物质的积累,且残膜量越高,干物质积累量减小的趋势越大。这与棉花生育期耗水规律相吻合(表3),进一步说明残膜量越大,棉田耗水量越小,其干物质积累

表3 棉花各生育阶段耗水量及其耗水模数

Table 3 Cotton water consumption and consumption modulus in different growth stages

年份 Year	处理 Treatment	苗期 Seedling		蕾期 Bud stage		花铃期 Boll setting stage		吐絮期 Boll opening stage		全生育期 Whole growth period
		耗水量 Water consumption/ mm	耗水模数 Consumption modulus/%							
2014	C <sub>0</sub>	53.03a	7.10a	112.69a	15.09a	432.17a	57.88a	148.76a	19.92b	746.64a
	C <sub>225</sub>	49.05b	6.80ab	99.94b	13.85b	421.38a	58.38a	151.38a	20.97ab	721.77a
	C <sub>450</sub>	48.18b	6.76b	91.42b	12.82c	419.47a	58.84a	153.86a	21.58a	712.93a
2015	C <sub>0</sub>	50.54a	6.56a	109.38a	14.20a	455.06a	59.09a	155.16a	20.15ab	770.14a
	C <sub>225</sub>	45.93b	6.18b	95.26b	12.81b	444.13a	59.71a	158.45a	21.30a	743.76a
	C <sub>450</sub>	44.19b	6.00b	104.43a	14.18a	441.77a	59.99a	145.99b	19.83b	736.38a

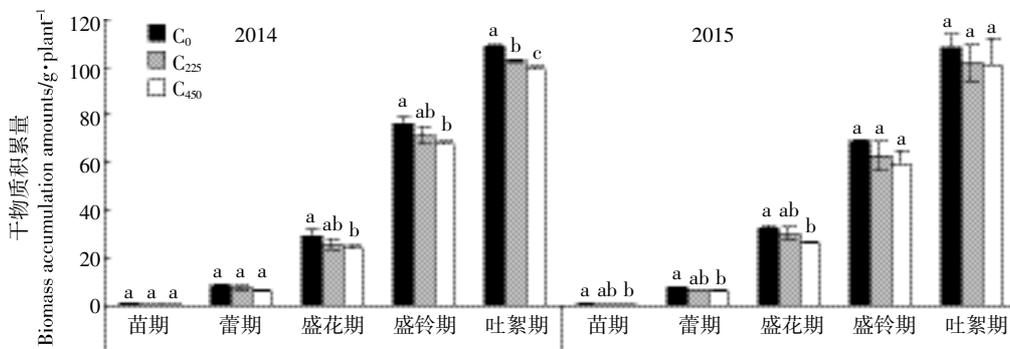
注:不同字母表示差异显著(P<0.05),下同。

Note: Different letters mean significant difference (P<0.05), the same below.

表4 不同处理棉花各生育时期棵间蒸发量(mm·d<sup>-1</sup>)

Table 4 Soil evaporation in different growing stages of cotton(mm·d<sup>-1</sup>)

年份 Year	处理 Treatment	苗期 Seedling	蕾期 Bud stage	花铃期 Boll setting stage	吐絮期 Boll opening stage	全生育期 Whole growth period
2014	C <sub>0</sub>	0.84b	0.62b	1.17b	0.99a	0.91b
	C <sub>225</sub>	0.88b	0.72b	1.26ab	1.13a	0.99ab
	C <sub>450</sub>	1.08a	0.79a	1.35a	1.16a	1.10a
2015	C <sub>0</sub>	0.86b	0.73b	1.11b	1.09a	0.98b
	C <sub>225</sub>	0.87b	0.78ab	1.21ab	1.17a	1.04ab
	C <sub>450</sub>	0.93a	0.85a	1.29a	1.18a	1.10a



图中不同小写字母表示各处理间差异显著(P<0.05)

Lowercase letters indicate difference significance test (P<0.05) among plastic film residue amount treatments

图2 不同残膜处理对棉花干物质积累量的影响

Figure 2 Effects on biomass accumulation amount of cotton in different plastic film residue treatments

量越少。

棉株干物质积累量随生育进程的推移总体呈“缓增-快增-缓减”的变化趋势,用 Logistic 生长函数对不同残膜处理的棉花干物质积累量进行拟合(表 5),相关度均较高。2 年的干物质积累动力学特征分析表明, C<sub>0</sub> 处理棉花干物质质量积累进入快速增长期的起始日、结束日和最大生长速率出现日较早,生长特征值大,而 C<sub>450</sub> 处理出现日较晚,持续时间长,比 C<sub>0</sub> 处理晚 4~7 d,且生长特征值和最大积累速率分别较 C<sub>0</sub> 处理小 8.2 g·株<sup>-1</sup> 和 0.4 g·株<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>,说明残膜延缓了干物质的积累速率,不利于干物质在快速增长期的积累,进而影响了棉花向生殖生长的转变,最终影响产量形成。

### 2.3.2 收获期干物质在不同器官中的分配

收获期干物质在各器官中的分配量及比例均以蕾铃花最高,茎叶居中,根最低(表 6)。从干物质在各器官中的分配量来看, C<sub>0</sub> 处理的干物质在茎叶中的分配量均较 C<sub>225</sub> 和 C<sub>450</sub> 处理高 2.5、4.0 g·株<sup>-1</sup>,蕾铃花分别高 2.5、3.2 g·株<sup>-1</sup>,根分别高出 0.8、1.3 g·株<sup>-1</sup>, C<sub>0</sub> 处理收获期干物质在各器官中分配量显著高于 C<sub>225</sub>

和 C<sub>450</sub> 处理,后两者无显著性差异;干物质在根中的分配比例 C<sub>450</sub> 处理显著低于无残膜处理,而在茎叶和蕾铃花中的分配比例均没有达到显著性差异。这说明在本试验条件下,残膜对收获期干物质在茎叶和蕾铃花中的分配比例无显著调控效应,对根中的分配比例影响较显著。

从表 6 还可以看出,随残膜量的增加,棉花根冠比明显降低,与 C<sub>0</sub> 处理相比, C<sub>450</sub> 处理降低 0.7%,表明残膜不利于提高收获期干物质在各器官中的积累,阻碍了干物质向生殖器官中的分配。

### 2.4 残膜水平下干物质积累与耗水的关系

从以上分析可知,棉花不同生育时期干物质日积累量和日均耗水量总体变化趋势基本一致,苗期—吐絮期都表现为先增后减的变化趋势,对 2014、2015 年度不同处理下棉花各生育时期干物质日积累量和日均耗水量进行分析,结果如图 3 所示。各处理日平均耗水量和日干物质积累量之间存在显著的指数相关关系,回归拟合后其决定系数平均值分别为 R<sup>2</sup><sub>0</sub>=0.88 (P<0.05)、R<sup>2</sup><sub>225</sub>=0.80 (P<0.05)、R<sup>2</sup><sub>450</sub>=0.75 (P>0.05), C<sub>0</sub> 处理相关系数高于 C<sub>225</sub> 和 C<sub>450</sub> 处理。蕾期不同处理棉

表 5 棉株干物质积累的 Logistic 模型和其特征值

Table 5 The Logistic equation and its kinetic characteristics for biomass accumulation in whole growth period

年份 Year	处理 Treatment	方程 Equation	t <sub>0</sub> /d	t <sub>1</sub> /d	t <sub>2</sub> /d	Δt/d	V <sub>m</sub> /g·株 <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	G <sub>T</sub> /g·株 <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>
2014	C <sub>0</sub>	y=75.292 2/[1+e <sup>(6.732 0-0.074 719)</sup> ]	90	72	108	35	1.4	49.6	0.991**
	C <sub>225</sub>	y=71.610 3/[1+e <sup>(6.646 0-0.072 414)</sup> ]	92	73	110	36	1.3	47.2	0.995**
	C <sub>450</sub>	y=66.038 6/[1+e <sup>(6.537 7-0.068 288)</sup> ]	96	76	115	39	1.1	43.5	0.993**
2015	C <sub>0</sub>	y=68.550 5/[1+e <sup>(7.266 9-0.083 714)</sup> ]	87	71	103	31	1.4	45.1	0.995**
	C <sub>225</sub>	y=62.368 0/[1+e <sup>(7.194 5-0.082 178)</sup> ]	88	72	104	32	1.3	41.1	0.990**
	C <sub>450</sub>	y=53.062 5/[1+e <sup>(7.098 6-0.078 641)</sup> ]	92	75	110	35	1.0	34.9	0.998**

注 (Note): t—出苗后的天数 Days after emergence, d; y—生物量积累量 Biomass accumulation, g·plant<sup>-1</sup>; V<sub>m</sub>—干物质最大生长速率 Maximum accumulation of biomass, g·plant<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>; t<sub>0</sub>—最大干物质积累速率出现时间 Time of the maximum accumulation rate; t<sub>1</sub>—进入干物质快速增长期的时间拐点 Initial period inflection point for large accumulation of biomass; t<sub>2</sub>—结束快速增长期的时间拐点 Terminal stage inflection point for large accumulation of biomass; Δt—快速增长持续时间 Duration for large accumulation of biomass; G<sub>T</sub>—快速增长期生长特征值 Growth characteristic value for large accumulation of biomass. \*\*P<0.01.

表 6 残膜对棉花收获期干物质在不同器官中分配的影响

Table 6 Biomass accumulation and distribution under different residual plastic film treatments at maturity in 2014 and 2015

年份 Year	处理 Treatment	整株质量 Total biomass/g·plant <sup>-1</sup>	根 Root		茎叶 Stems and Leaves		蕾铃花 Boll		根冠比 Root shoot ratio/%
			质量 Biomass/g·plant <sup>-1</sup>	比例 Ratio/%	质量 Biomass/g·plant <sup>-1</sup>	比例 Ratio/%	质量 Biomass/g·plant <sup>-1</sup>	比例 Ratio/%	
2014	C <sub>0</sub>	108.6a	7.9a	7.3a	40.7a	37.5a	59.9a	55.2a	7.9a
	C <sub>225</sub>	102.7b	6.8b	6.6b	38.0b	37.0a	57.9b	56.4a	7.1b
	C <sub>450</sub>	99.6b	6.5b	6.5b	36.8b	36.9a	56.2b	56.5a	7.0b
2015	C <sub>0</sub>	108.4a	8.8a	8.1a	39.9a	36.8a	59.7a	55.1b	8.8a
	C <sub>225</sub>	101.9b	8.3b	8.2a	37.5b	36.9a	57.8b	55.0b	8.7ab
	C <sub>450</sub>	101.3b	7.7b	7.6b	35.8b	35.4a	56.0b	57.0a	8.4b

花干物质日积累量依次为 0.14、0.12、0.10 g·株<sup>-1</sup>,日平均耗水量为 3.71、3.25、3.22 mm,随后干物质日积累和日耗水量曲线斜率明显增大,盛铃期达到最大,干物质日增重达到 0.35、0.32、0.33 g·株<sup>-1</sup>,日均耗水量为 5.66、5.42、5.06 mm,吐絮期干物质积累和日耗水量开始下降。分析表明残膜量越大,日均耗水量越小,干物质日增重量越少。

2.5 残留地膜对产量及产量构成因素的影响

由表 7 可知,与 C<sub>0</sub> 处理相比,C<sub>225</sub> 和 C<sub>450</sub> 处理两生长季籽棉产量分别减少了 4.9% 和 8.7%,成铃数分别降低了 8.7% 和 13.1%,单铃质量依次减少 0.2 g 和 0.3 g,且均与 C<sub>0</sub> 处理有显著性差异,而衣分受残膜影响未达到显著水平,最终残膜显著降低了籽棉产量。上述结果表明,残膜不利于提高籽棉产量、单株成铃数和单铃质量,而对棉花衣分无影响。

2.6 残留地膜对水分利用效率的影响

不同残膜处理下棉田水分利用效率如表 8 所示。各处理水分利用效率无显著性差异,但均随残膜量的增大呈现降低的变化趋势。C<sub>225</sub> 和 C<sub>450</sub> 处理水分利用

效率较 C<sub>0</sub> 处理依次降低了 2.9% 和 5.6%,耗水降低了 3.4% 和 4.5%,产量降幅最高达到 9.8%。这一结果表明,残膜虽然能降低耗水量,却以牺牲产量作为代价。综合分析两年试验数据,随着残膜量的增加,棉花总耗水量呈下降趋势,棵间蒸发量增大,无效耗水所占比例增大,水分利用效率降低,导致减产。

3 讨论

3.1 残膜对棉田耗水特性及棵间蒸发过程的影响

棉田耗水特性是反映棉田水分消耗的主要形式,而土壤蒸发是造成土壤水分大量损失的主要途径,也是衡量无效耗水的重要指标,关于残膜对棉田蒸发耗水的影响研究较少。本试验于 2014—2015 年通过测定 3 种残膜处理下棉田的耗水特性及棵间蒸发量表明,残膜影响了不同生育时期的阶段耗水量及耗水模数,随残膜量的增加,各处理棉花全生育期总耗水量虽差异不显著,但呈降低的变化趋势,且生育前期的耗水模数逐渐降低,表明残膜降低了作物的耗水量,明显抑制了生育前期的耗水需求。C<sub>450</sub> 处理棵间蒸发

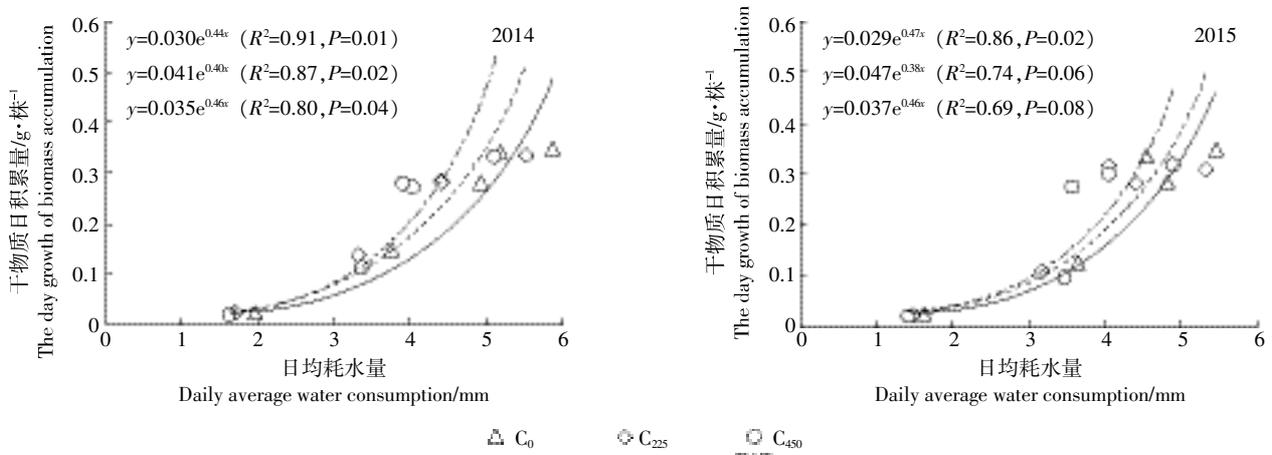


图 3 不同处理干物质积累量与耗水量拟合

Figure 3 The fitting results of cotton biomass accumulation and water consumption in different plastic film residue amount treatments

表 7 不同处理棉花产量及构成因子

Table 7 Seed cotton yield and its constitution factors for different plastic film residue treatments

年份 Year	处理 Treatment	籽棉产量 Seed cotton yield/kg·hm <sup>-2</sup>	衣分 Lint percentage/%	单株成铃数 Boll number per plant/个	单铃质量 Single boll weight/g
2014	C <sub>0</sub>	6 148.8a	42.2a	6.2a	5.3a
	C <sub>225</sub>	5 771.3b	41.9a	5.7b	5.2a
	C <sub>450</sub>	5 548.9b	41.7a	5.3c	4.9b
2015	C <sub>0</sub>	6 086.6a	43.3a	5.1a	5.3a
	C <sub>225</sub>	5 866.8ab	42.9a	4.6b	5.1b
	C <sub>450</sub>	5 624.9b	42.1a	4.5b	5.1b

表8 不同处理棉花水分利用效率

Table 8 Water use efficiency of cotton for different plastic film residue treatments

年份 Year	处理 Treatment	籽棉产量 Seed cotton yield/kg·hm <sup>-2</sup>	总耗水 Total water consumption/mm	水分利用效率 Water use efficiency/ kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup>	耗水减少比 Water consumption decrease ratio/%	减产比 Yeild decrease ratio/%	水分利用效率 减少比 WUE decrease ratio/%
2014	C <sub>0</sub>	6 148.8a	746.6a	8.2a	—	—	—
	C <sub>225</sub>	5 771.3b	721.8a	8.0ab	3.3	6.1	2.9
	C <sub>450</sub>	5 548.9b	712.9a	7.8b	4.5	9.8	5.5
2015	C <sub>0</sub>	6 086.6a	770.1a	7.9a	—	—	—
	C <sub>225</sub>	5 866.8ab	743.8a	7.9a	3.4	3.6	0.2
	C <sub>450</sub>	5 624.9b	736.4a	7.6a	4.4	7.6	3.4

量显著高于 C<sub>0</sub> 处理,表明残膜量越大,无效耗水越多。这可能是由于残膜使得土壤孔隙度减小,土壤容重增大,阻碍了残膜以上水分的下渗,使更多的水分以无效耗水的形式散失。这一结果不同于牛文全等<sup>[14]</sup>在室内土柱试验条件下研究的残膜对土壤累积蒸发量的影响,其认为随残膜量增加,土壤累积蒸发量减小,而蒸发系数增大。这可能是由于残膜在土壤中存在的位置、分布形态,不同土壤质地、土壤温度下残膜对水分分布及试验环境的差异性造成的。本试验条件下,残膜降低了农田耗水量,增加了土壤表层无效蒸发,不利于水分的有效利用。因此,今后应加强残膜对棉田耗水分配特性的影响研究,为降低残膜危害、提高水分利用效率提供理论依据。

### 3.2 残膜对棉花干物质积累与分配的影响

残膜阻碍了植株不同生育期生物量的积累,使棉花地上、地下部生长不平衡<sup>[25]</sup>。本试验得到类似的结果,表明残膜导致干物质积累量减少,产量降低。与无残膜处理相比,C<sub>450</sub> 处理各生育时期干物质积累量和收获期干物质在各器官中的分配量均显著降低,干物质质量积累进入快速增长期的起始日、结束日和最大生长速率出现日均推后了 4~7 d,说明残膜延缓了干物质进入快速积累期的时间,不利于干物质在快速增长期的积累,阻碍了棉花向生殖生长的转变。前人研究认为<sup>[26-28]</sup>,在作物的生长发育和产量形成过程中,通常都是先影响根系的生长分布,然后对地上部起作用进而影响产量。董合干等<sup>[15]</sup>认为,残膜阻碍了根系的生长,造成根系表面积和根冠比异常,根系生产力降低,导致棉株水分、养分的吸收能力降低;残膜对根系具有明显的抑制作用,造成根系弯曲<sup>[29]</sup>,根系活力降低,根重随地膜残留量的增加而减小。本研究中,C<sub>225</sub> 和 C<sub>450</sub> 处理干物质在根中的分配量及分配比例显著低于 C<sub>0</sub> 处理,结合日干物质积累量与日均耗水量的相关分析,发现二者呈指数型增长,即残膜量越大,日均耗水

量越小,干物质日增重量越少,进一步说明了残膜降低耗水强度,从而不能满足生育期形成干物质的耗水需求,影响了棉花的生产潜力,不利于棉花干物质的积累和籽棉产量的提高。

### 3.3 残膜对棉花产量及水分利用效率的影响

前人研究表明<sup>[25,30]</sup>,残膜与单株铃数、单铃重和产量呈负相关,与本文研究结果一致。本研究进一步表明,残膜量为 450 kg·hm<sup>-2</sup> 时,籽棉产量下降 8.7%,单株成铃数和单铃质量分别减少 0.8 个和 0.3 g。关于残膜对棉田水分利用效率的影响研究较少,本研究发现,C<sub>225</sub> 和 C<sub>450</sub> 处理水分利用效率较 C<sub>0</sub> 处理分别降低了 2.9% 和 5.6%,籽棉产量随残膜量增加呈下降趋势。虽然本研究是两个生长季的试验结果,且有一定的规律性,但残膜对作物耗水特性及干物质积累的影响仍需要在不同的作物种类及气候类型下进一步验证,本研究未开展残膜对棉花根系形态与吸水性能的研究,对此,将在今后的研究中进一步完善。

## 4 结论

本研究采用微区控制性模拟试验,残膜含量为 0~450 kg·hm<sup>-2</sup>。试验条件下,随着残膜量的增加,棉花生育总耗水量呈下降趋势,棵间蒸发量增大,无效耗水比例升高,其中生育前期耗水模数下降明显。随着残膜量的增加,干物质积累速率降低,快速积累期缩短,残膜降低了干物质积累量、根冠比和营养器官干物质分配比例,降低了水分利用效率,导致减产。

### 参考文献:

- [1] 王序俭,曹肆林,王敏,等. 农田地膜残留现状、危害及防治措施研究[C]. 中国环境科学学会, 2013.  
WANG Xu-jian, CAO Si-lin, WANG Min, et al. Research on the status, harm and prevention measures of plastic film residue in farmland[C]. China Environmental Science Society, 2013.

- [2] 戴路, 马辉, 何翔. 2015年新疆阿克苏棉花产量及品质情况[J]. 中国棉花, 2016(3):34-35.  
DAI Lu, MA Hui, HE Xiang. Production and quality of cotton in Akesu of Xinjiang in 2015[J]. *China Cotton*, 2016(3):34-35.
- [3] 王佳琪, 徐莎莎. 新疆棉田白色污染现状、问题及治理对策研究[J]. 农村经济与科技, 2016(9):32-33, 12.  
WANG Jia-qi, XU Sha-sha. Study on the current situation, problems and countermeasures of white pollution in Xinjiang[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2016(9):32-33, 12.
- [4] 周明冬, 秦晓辉, 侯洪, 等. 新疆农田废旧地膜污染治理现状及建议[J]. 环境与可持续发展, 2014, 39(5):171-174.  
ZHOU Ming-dong, QIN Xiao-hui, HOU Hong, et al. Policy and present situation of pollution treatment of recycled plastic film in agricultural fields in Xinjiang[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2014, 39(5):171-174.
- [5] 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 Rui-kun, WANG Xu-feng, 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.
- [6] 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 Wei-wei, LIU Wei-zhong, DAI Jian. Research on control measures of plastic film in cotton field in Xinjiang[J]. *Rural Science & Technology*, 2015(1):73-74.
- [7] Dong H D, Liu T, Han Z Q, et al. Determining time limits of continuous film mulching and examining residual effects on cotton yield and soil properties[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2015, 36(3):677-684.
- [8] 蒋金凤, 温圣贤, 江玉萍. 农用残膜对土壤理化性质和作物产量影响的研究[J]. 蔬菜, 2014(2):25-27.  
JIANG Jin-feng, WEN Sheng-xian, JIANG Yu-ping. Effects of plastic film residue on soil physical and chemical properties and yield[J]. *Vegetables*, 2014(2):25-27.
- [9] 辛静静, 史海滨, 李仙岳, 等. 残留地膜对玉米生长发育和产量影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3):52-54.  
XIN Jing-jing, SHI Hai-bin, LI Xian-yue, et al. Effects of plastic film residue on growth and yield of maize[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2014, 33(3):52-54.
- [10] 郭彦芬, 李生勇, 霍轶珍. 不同残膜量对春玉米生产性状及土壤水分的影响[J]. 节水灌溉, 2016(4):47-49.  
GUO Yan-fen, LI Sheng-yong, HUO Yi-zhen. The effects of different residual film amount on spring maize production traits and soil moisture[J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(4):47-49.
- [11] 徐刚, 杜晓明, 曹云者, 等. 典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1):79-83.  
XU Gang, DU Xiao-ming, CAO Yun-zhe, et al. Residue levels and morphology of agricultural plastic film in representative areas of China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1):79-83.
- [12] 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 含残膜土壤水分特征曲线模型构建[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14):103-109.  
WANG Zhi-chao, LI Xian-yue, SHI Hai-bin, et al. Water characteristic curve model for soil with residual plastic film[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(14):103-109.
- [13] 李仙岳, 史海滨, 吕焯, 等. 土壤中不同残膜量对滴灌入渗的影响及不确定性分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8):84-90.  
LI Xian-yue, SHI Hai-bin, LÜ Ye, et al. Effects of different residual plastic film quantities in soil on drip infiltration and its uncertainty analysis[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(8):84-90.
- [14] 牛文全, 邹小阳, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14):110-119.  
NIU Wen-quan, ZOU Xiao-yang, LIU Jing-jing, et al. Effects of residual plastic film mixed in soil on water infiltration, evaporation and its uncertainty analysis[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(14):110-119.
- [15] 董合干, 刘彤, 李勇冠. 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 He-gan, LIU Tong, LI Yong-guan. 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.
- [16] 王海江, 崔静, 侯振安, 等. 膜下滴灌棉花干物质积累与耗水量关系研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5):83-87.  
WANG Hai-jiang, CUI Jing, HOU Zhen-an, et al. Study on relationship between dry matter accumulation and water consumption in cotton under film mulch and drip irrigation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(5):83-87.
- [17] 解红娥, 李永山, 杨淑巧, 等. 农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊):153-156.  
XIE Hong-e, LI Yong-shan, YANG Shu-qiao, et al. Influence of residual plastic film on soil structure, crop growth and development in fields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl):153-156.
- [18] 姜益娟, 郑德明, 朱朝阳. 残膜对棉花生长发育及产量的影响[J]. 农业环境保护, 2001, 20(3):177-179.  
JIANG Yi-juan, ZHENG De-ming, ZHU Chao-yang. Effects of remnant plastic film in soil on growth and yield of cotton[J]. *Agro-environmental Protection*, 2001, 20(3):177-179.
- [19] 李青军, 危常州, 雷咏雯, 等. 白色污染对棉花根系生长发育的影响[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(5):769-775.  
LI Qing-jun, WEI Chang-zhou, LEI Yong-wen, et al. Influence of white pollution on root growth of cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(5):769-775.
- [20] 刘增进, 李宝萍, 李远华, 等. 冬小麦水分利用效率与最优灌溉制度的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4):58-63.  
LIU Zeng-jin, LI Bao-ping, LI Yuan-hua, et al. Research on the water use efficiency and optimal irrigation schedule of the winter wheat[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(4):58-63.
- [21] 王红光, 于振文, 张永丽, 等. 耕作方式对旱地小麦耗水特性和干物质积累的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(4):675-682.  
WANG Hong-guang, YU Zhen-wen, ZHANG Yong-li, et al. Effects of tillage regimes on water consumption and dry matter accumulation in dryland wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(4):675-682.
- [22] 王桂良, 叶优良, 李欢欢, 等. 施氮量对不同基因型小麦产量和干物质积累的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(1):116-122.

- WANG Gui-liang, YE You-liang, LI Huan-huan, et al. Effect of nitrogen fertilizer application on grain yield and dry matter accumulation for different genotypes of winter wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(1):116-122.
- [23] 郑成岩, 于振文, 马兴华, 等. 高产小麦耗水特性及干物质的积累与分配[J]. *作物学报*, 2008, 34(8):1450-1458.
- ZHENG Cheng-yan, YU Zhen-wen, MA Xing-hua, et al. Water consumption characteristic and dry matter accumulation and distribution in high-yielding wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(8):1450-1458.
- [24] 王晓凤, 吴文良, 潘志勇, 等. 不同水氮处理对冬小麦生长及土壤水分利用效率的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊2):741-745.
- WANG Xiao-feng, WU Wen-liang, PAN Zhi-yong, et al. Effects of various water and nitrogen managements on growth of winter wheat and water use efficiency[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl2):741-745.
- [25] 李青军. 土壤残膜对棉花生长及土壤微生物活性的影响[D]. 石河子:石河子大学, 2008:30-36.
- LI Qing-jun. Study on cotton plant growth and soil microbial activity as affected by plastic film contamination in soil[D]. Shihezi:Shihezi Agricultural University, 2008:30-36.
- [26] 王启现, 王 璞, 杨相勇, 等. 不同施氮时期对玉米根系分布及其活性的影响[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(12):1469-1475.
- WANG Qi-xian, WANG Pu, YANG Xiang-yong, et al. Effects of nitrogen application time on root distribution and its activity in maize (*Zea mays* L.)[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12):1469-1475.
- [27] Qu L Y, Quroreshi A M, Koike T. Root growth characteristics, biomass and nutrient dynamics of seedlings of two Larch species raised under different fertilization regimes[J]. *Plant and Soil*, 2003, 255:293-302.
- [28] Zhuge Y P, Zhang X D, Zhang Y L, et al. Tomato root response to sub-surface drip irrigation[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(2):205-212.
- [29] 刘建国, 李彦斌, 张 伟, 等. 绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉花生长的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(2):246-250.
- LIU Jian-guo, LI Yan-bin, ZHANG Wei, et al. The distributing of the residue film and influence on cotton growth under continuous cropping in oasis of Xinjiang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(2):246-250.
- [30] 何文清, 严昌荣, 刘 爽, 等. 典型棉区地膜应用及污染现状的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(8):1618-1622.
- HE Wen-qing, YAN Chang-rong, LIU Shuang, et al. The use of plastic mulch film in typical cotton planting regions and the associated environmental pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(8):1618-1622.