

# 覆膜时期与施氮量对旱地玉米土壤耗水特征及产量的影响

张建军<sup>1,2</sup>, 樊廷录<sup>1,2</sup>, 党翼<sup>1</sup>, 赵刚<sup>1</sup>, 王磊<sup>1</sup>, 李尚中<sup>1</sup>, 王淑英<sup>1</sup>, 程万莉<sup>1</sup>

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 兰州 730070)

**摘要:** 为了研究覆膜时期与施氮量对陇东旱地春玉米田土壤耗水特征、产量及籽粒品质的影响, 达到高产高效优质生产的目的。采用大田试验方式, 运用裂区设计, 主处理为覆膜时期, 设秋季覆膜(休闲期覆膜)和春季覆膜(播前覆膜)2个水平, 副处理为施氮量, 分别为施纯 N 0(CK), 75(N75), 150(N150), 225(N225), 300(N300), 375(N375), 450(N450) kg/hm<sup>2</sup> 7个施氮水平。测定了春玉米休闲期与各生育时期 0—300 cm 土壤含水量、产量性状、干物质积累及籽粒品质。结果表明: (1) 秋季覆膜能显著提高 0—200, 0—300 cm 土壤贮水量, 较春季覆膜增幅分别为 54.0~97.7, 53.9~108.8 mm。(2) 无论何时覆膜, 长期施氮较 CK 极显著降低了各生育时期 0—300 cm 土壤贮水量。(3) 休闲期覆膜较不覆膜极显著降低了土壤耗水量, 减少幅度为 47.2~55.7 mm。(4) 全生育期各处理玉米耗水量基本呈前期少、中期多、后期少的趋势, 秋季覆膜较春季覆膜增幅为 38.6~86.7 mm, 与播前底墒密切相关。(5) 无论何时覆膜, 施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 春玉米产量和水分利用效率均较高, 超过 225 kg/hm<sup>2</sup> 时, 产量下降。各施氮处理平均产量秋季覆膜较春季覆膜增加 5.2%。各生育时期干物质积累量和收获指数以施 N 225 kg/hm<sup>2</sup> 较高。另外, 施氮极显著影响粗蛋白、粗脂肪和灰分含量。因此, 覆膜尤其是秋季覆膜垄沟种植结合施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 能明显提高春玉米产量和水分利用效率, 优化产量构成, 改善籽粒品质, 是陇东旱塬区玉米高效优质生产的适宜种植模式。

**关键词:** 黄土旱塬; 覆膜时期; 施氮量; 耗水特征; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S157.4; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)06-0072-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.06.012

## Effect of Film Mulching Period and Nitrogen Application Rate on Soil Water Consumption Characteristics and Maize Yield in Dryland

ZHANG Jianjun<sup>1,2</sup>, FAN Tinglu<sup>1,2</sup>, DANG Yi<sup>1</sup>, ZHAO Gang<sup>1</sup>,

WANG Lei<sup>1</sup>, LI Shangzhong<sup>1</sup>, WANG Shuying<sup>1</sup>, CHENG Wanli<sup>1</sup>

(1. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070;

2. Gansu Key Laboratory of Efficiency Water Utilization of Dry Land Farming, Lanzhou 730070)

**Abstract:** In order to obtain a high-yield, high-efficiency and high-quality cultivation technique, this study was carried out to research the effects of film mulching period and nitrogen application rate on the soil water consumption characteristics, grain yield and quality of spring maize in dry lands of eastern Gansu province of China. The field experiment used a split-plot design. The main plot treatment was film mulching period. There were two levels of film mulching in autumn (mulching in farm slack season) and in spring (film mulching before seeding). The subplot treatment was nitrogen application rates, which include seven levels of nitrogen, 0 kg/hm<sup>2</sup> (CK), 75 kg/hm<sup>2</sup> (N75), 150 kg/hm<sup>2</sup> (N150), 225 kg/hm<sup>2</sup> (N225), 300 kg/hm<sup>2</sup> (N300), 375 kg/hm<sup>2</sup> (N375), and 450 kg/hm<sup>2</sup> (N450). The 0—300 cm soil moisture content of autumn time and spring maize season, yield traits, dry matter accumulation and grain quality were measured. The results showed that: (1) Compared with film mulching in spring, film mulching in autumn significantly increases the soil water storage by 54.0~97.7 mm at 0—200 cm depth, and by 53.9~108.8 mm in 0—300 cm depth. (2) Long-term nitrogen application significantly reduced soil water storage at 0—300 cm during each growth period compared with CK. (3) Compared with the no film mulching, film mulching in autumn significantly reduced soil water consumption by 47.2~55.7 mm. (4) The water consumption was higher at middle maize growth stage than at early stage and late stage. The total water consumption of maize in the whole growth stage was 38.6~86.7 mm higher in autumn mulching than in spring mulching. This was closely related to soil water content before seeding. (5) The highest grain yield and water use efficiency was in treatment N225

收稿日期: 2018-04-24

资助项目: 国家自然科学基金项目(41561067); 甘肃省自然科学基金项目(17JR5RA182, 18JR3RA255); 公益性农业行业科研专项(201503124)

第一作者: 张建军(1977—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事农田土壤地力培育及栽培生理研究。E-mail: hnszjj@163.com

kg/hm<sup>2</sup>. The average grain yield of different N application treatments in autumn mulching was 5.2% higher than that of spring mulching. The pure N225 kg/hm<sup>2</sup> treatment also had the highest dry matter accumulation in different growth stages and harvest index. In addition, nitrogen application significantly affected crude protein, crude fat, and ash content. Therefore, the combination of film mulching in autumn and N 225 kg/hm<sup>2</sup> could significantly increase the yield and water use efficiency of spring maize, optimize the yield composition, and improve grain quality. It is a suitable planting mode for efficient and high-quality maize production in the drylands of the eastern Gansu Province.

**Keywords:** dryland in the Loess Plateau; mulching period; nitrogen application rate; water consumption characteristics; yield; water use efficiency

西北黄土旱塬区降雨偏少且季节分布不均、氮肥偏多且缺少有效的保水栽培措施是西北旱地作物生产面临的主要问题<sup>[1]</sup>。水分和氮素对旱地作物生长发育具有协同效应<sup>[2]</sup>。已有研究<sup>[3-4]</sup>表明,随着肥料投入量的增加,农田生产力提高,但随着养分的高水平投入,农田生产力的限制因子由肥力限制转变为水分限制。氮肥施用要合理,施用过少,达不到应有的增产效果,施用过量,不仅浪费肥料,还污染土壤<sup>[5]</sup>,适量施氮能增产<sup>[6-7]</sup>、减轻不良气体排放<sup>[8]</sup>以及改善不同生育时期氮素分配比例<sup>[9]</sup>,尤其是旱作农田施肥量过高,也会导致土壤水分的过度消耗<sup>[10]</sup>。土壤水分状况是影响作物生长的关键因素,对旱作玉米生长发育状况和产量水平具有决定性影响<sup>[11]</sup>。地膜覆盖可显著提高土壤含水量和水分利用效率,秋季覆盖能保墒蓄水<sup>[12]</sup>。适宜的覆膜时期有利于蓄水保墒,而合理施用氮肥能实现以肥调水,是实现旱地玉米提质增效的两大技术措施。因此,开展合理施用氮肥、高效蓄保降水和提高水分利用效率的研究,无疑成为旱作玉米研究的重大问题<sup>[13]</sup>。

鉴于西北旱作区特殊的生态环境,水肥管理与保水栽培一直是旱地作物增产增效研究的重点,但目前多集中于覆膜方式及施肥单项技术对产量和水分利用效率的影响,对关键生育期耗水特征,特别是覆膜时期与施氮量组合模式下的土壤耗水特征的报道相对甚少。因此,选择在陇东典型的旱作农业区研究旱地调控氮肥用量及覆膜时期组合模式对春玉米关键生育期土壤耗水特征、产量及籽粒品质的影响,筛选出高产和高水分利用效率的覆膜时期与施氮量组合模式,为该区域春玉米增产增效优质生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验设在甘肃省庆阳市镇原县(35°29'42"N, 107°29'36"E)的甘肃省农业科学院试验基地进行,土壤类型为发育良好的覆盖黑垆土。该区多年降水量540 mm,其中7—9月占60%,年蒸发量1532 mm,年均气温8.3℃,无霜期170 d,海拔1279 m,为暖温带半湿润偏旱大陆性季风气候,属典型的旱作雨养

农业区。本试验玉米生育期降水量454.1 mm,休闲期降水量94.4 mm,其中拔节至抽雄和抽雄至灌浆降水量仅占全生育期降水量的9.7%和9.4%,且7月中下旬遇>35℃以上持续高温1周左右,干旱影响籽粒灌浆,玉米生理成熟较正常年份早6~8天(图1)。本文仅对2017年玉米田耗水特征、产量、干物质积累及籽粒品质进行分析。

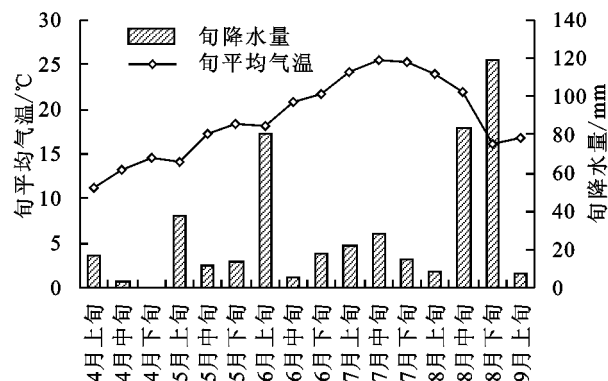


图1 旬降水量及旬平均气温变化

### 1.2 试验设计

试验为大田长期定位试验,始于2013年,采用裂区设计,主处理为覆膜时期(A),设秋季覆膜(休闲期覆膜)和春季覆膜(播前覆膜)2个水平;副处理为施氮量(B),设施纯N450 kg/hm<sup>2</sup>(N450),375 kg/hm<sup>2</sup>(N375),300 kg/hm<sup>2</sup>(N300),225 kg/hm<sup>2</sup>(N225),150 kg/hm<sup>2</sup>(N150),75 kg/hm<sup>2</sup>(N75),0 kg/hm<sup>2</sup>(CK)7个施氮水平。3次重复,小区面积22.0 m<sup>2</sup>(4.4 m×5.0 m),其中秋季和春季覆膜均采用全膜双垄沟播种植技术,春季覆膜在冬春休闲期地表裸露;地膜为普通黑色聚乙烯膜,幅宽1.2 m,厚度0.01 mm,玉米品种“先玉335”,为耐密、抗逆性好的高产品种,行距55.0 cm,株距22.5 cm,8行区,密度7.5万株/hm<sup>2</sup>,4月25日播种,人工穴播,每穴保1苗。氮肥用量的50%作基肥,50%作追肥于拔节期用追肥枪人工施入;覆膜前施过磷酸钙1000 kg/hm<sup>2</sup>(除CK)。其他栽培管理措施同一般高产田。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 测定方法

(1)水分测定:采用土钻人工分层取土,取样点均

在垄沟,烘干称重法测定,测定时间段为秋季覆膜(2016年11月)至翌年玉米收获(2017年9月)。分别在秋季覆膜期、播种前、拔节期、抽雄期、灌浆期、收获期由地表向下依次取0—300 cm土层水分,每20 cm作为一个取样层,先称湿土重,在105℃恒温下烘干12 h后称干土重,3个重复分别测定。

(2)产量测定:成熟时每小区按整行逐株取40株测产,采用PM-8188-A谷物水分测定仪测定含水量,然后换算成标准含水量(14%)下的公顷产量。

(3)品质测定:成熟时每个重复分别取样,采用多功能近红外分析仪(丹麦Foss,DS 2500)测定籽粒粗蛋白质、粗脂肪、灰分及粗淀粉含量。

### 1.3.2 计算公式

土壤重量含水量=(湿土质量-烘干土质量)/烘干土质量 $\times 100\%$  (1)

土壤贮水量  $w = \rho \times h \times \omega \times 10$  (2)

式中: $w$ 为土壤贮水量(mm); $\rho$ 为该土层的土壤容重( $g/cm^3$ ); $h$ 为土层厚度(cm); $\omega$ 为土壤重量含水量(%)。

作物不同生育阶段耗水量

$ET = P + U - R - F + \Delta W$  (3)

式中: $ET$ 为作物不同生育阶段耗水量(mm); $P$ 为降水量(mm),通过Campbell cr1000(美国)自动气象站记录仪获得; $R$ 为径流量(mm); $U$ 为地下水补给量(mm); $F$ 为深层渗漏量(mm); $\Delta W$ 为生育时期初土壤贮水量与生育时期末土壤贮水量之差(mm)。研究区域地下水埋深80 m以下,其上移补给可忽略不计;同时试验田地势平坦,土壤疏松多孔,无地表径流产生,所以 $F$ 、 $U$ 、 $R$ 可忽略不计。

因此,公式(3)可简化为:

$$ET = P - \Delta W \quad (4)$$

$$\text{水分利用效率 } WUE = Y/ET \quad (5)$$

式中: $WUE$ 为水分利用效率( $kg/(hm^2 \cdot mm)$ ); $Y$ 为含水量14%时玉米籽粒产量(kg)。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2010进行数据处理、表格制作和作图,采用DPS 7.01统计软件进行方差分析(ANOVA),利用LSD法多重比较( $P$ 为0.05和0.01)。

## 2 结果与分析

### 2.1 春玉米不同生育时期0—300 cm土层贮水量变化

播前底墒反映了冬春休闲期栽培措施的蓄水保墒效果。不同生育时期春玉米田0—300 cm土壤贮水量比较分析见表1。方差分析结果显示,覆膜时期和施氮量均对播前底墒影响显著。覆膜时期为秋季覆膜播前底墒高于春季覆膜,增幅为53.9~108.8 mm,说明秋季覆膜能有效蓄积降水,减少冬春休闲期土壤水分的无效损失。对不同施氮量而言,无论何时覆膜,长期施氮播前底墒随施氮量增加呈先减少后增加趋势,均低于CK,以N300最低,秋季覆膜为616.5 mm,较其他施氮处理减少7.7~87.7 mm,较CK减少105.9 mm;春季覆膜为549.9 mm,较其他施氮处理减少3.7~74.9 mm,较CK减少118.6 mm。同时,施氮极显著影响了各生育时期0—300 cm土壤贮水量,表现为玉米进入拔节期后,随着气温升高和玉米生长加速,蒸发蒸腾加强,玉米根系对土壤水分的利用逐渐加强,各施氮处理在0—300 cm土层的贮水量迅速下降,明显低于CK,至收获期土壤贮水量有所升高,达到或超过播前水平。说明施肥增强了春玉米关键生育时期对土壤水分的利用,促进玉米籽粒形态建成。

表1 0—300 cm土层不同生育时期土壤贮水量变化

覆膜 时期	施氮量/ ( $kg \cdot hm^{-2}$ )	播前0—300 cm土层				
		底墒/mm	拔节期	抽雄期	灌浆期	收获期
秋季覆膜 (休闲期覆膜)	CK	722.4aA	735.1aA	604.8aA	562.2aA	761.5aA
	N450	630.6cC	647.1bC	543.4bcAB	440.4bcC	620.6cdB
	N375	624.2cC	662.3bC	518.5cB	426.1cC	619.5cdB
	N300	616.5cC	674.1bBC	533.3bcB	445.3bcC	616.4cdB
	N225	628.7cC	663.2bC	529.5cB	443.0bcC	594.1dB
	N150	676.4bB	709.7aAB	571.5abAB	467.9bBC	639.0cB
	N75	704.2aAB	734.8aA	610.6aA	518.8aAB	715.0bA
春季覆膜 (播前覆膜)	CK	668.5aA	691.1aA	587.0aA	496.3aA	691.3aA
	N450	569.2cB	630.2bcBC	520.8bABC	431.9bcAB	628.1bB
	N375	568.5cB	613.1cC	512.2bBC	425.6cB	614.6bB
	N300	549.9cB	623.1cBC	500.7bC	445.2bcAB	600.6bB
	N225	553.6cB	607.1cC	504.3bBC	418.8cB	595.3bB
	N150	567.6cB	628.1cBC	506.1bBC	432.9bcAB	617.7bB
	N75	624.8bA	663.4abAB	573.1aAB	478.1abAB	685.5aA
$P$	A因素	0.0196*	0.0838	0.2957	0.1656	0.1403
	B因素	0.0001**	0.0001**	0.0006**	0.0001**	0.0001**
	A $\times$ B	0.2594	0.3379	0.8522	0.5819	0.3054

注:同列数据后不同大小写字母表示不同施氮量下差异达5%和1%显著水平;\*表示 $P < 0.05$ ; \*\*表示 $P < 0.01$ 。下同。

## 2.2 春玉米各生育阶段 0—200 cm 土层耗水量变化

采用该生育阶段初期与末期土壤贮水量差值研究不同处理春玉米各生育阶段土壤水分的利用状况。从表 2 可以看出,在休闲期降雨 94.4 mm 条件下,覆膜较不覆膜显著降低了土壤耗水量,减少幅度为 47.2~55.7 mm。可见,秋季覆膜明显降低了休闲期土壤水分的无效消耗,更进一步说明秋季覆膜栽培休闲期蓄积的水分能够保证特殊降雨年份玉米生长发育对水分的需求,实现特殊降雨年份的防灾减灾。从全生育期耗水量来看,降雨量 454.1 mm,覆膜时期耗水量差异极显著,表现为秋季覆膜高于春季覆膜,增幅为 38.6~86.7 mm,这与播前底墒有关。另外,无论何时覆膜,施氮处理耗水量均高于CK,秋覆膜增加 3.8~39.8 mm,春覆膜增

加 2.9~20.8 mm。

全生育期各处理玉米耗水量基本呈前期少,中期多,后期少的趋势。播种至拔节期耗水量较少,此阶段降雨量为 142.9 mm,此生育阶段不同处理玉米耗水量均小于降雨量,各处理均表现为土壤水分的补充阶段。拔节至抽雄和抽雄至灌浆期为土壤水分消耗的高峰期,此阶段降雨量分别为 44.1,42.5 mm,耗水量远大于降雨量,为土壤水分的亏缺阶段,各施氮处理秋覆膜耗水量占全生育期耗水量的 72.4%~81.2%,春季覆膜占 73.1%~79.3%,CK 最低,较秋季覆膜降低了 9.5%~18.1%,较春季覆膜降低了 7.4%~14.0%,实现以肥调水,以水促肥效应,而此时随着地上冠层覆盖度的增加,水分消耗主要用于玉米籽粒形态建成,对提高玉米产量具有一定促进作用。

表 2 0—200 cm 土层不同生育阶段玉米耗水量变化

覆膜时期	施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	休闲期 耗水量/mm	玉米生长期				总耗水量/ mm
			播种—拔节期 耗水量/mm	拔节—抽雄期 耗水量/mm	抽雄—灌浆期 耗水量/mm	灌浆—收获期 耗水量/mm	
秋季覆膜 (休闲期覆膜)	N75	13.4bcB	123.4aA	167.2ab	136.6a	32.0b	459.5abc
	N150	10.3bcB	106.9bcABC	199.6a	126.1a	44.2ab	476.8a
	N225	18.7bB	102.1cBCD	184.7ab	124.1a	62.2a	480.0a
	N300	20.0bB	83.5dD	194.3a	119.7a	46.5ab	444.0bc
	N375	11.6bcB	93.3cdCD	190.2a	129.1a	30.1b	446.0bc
	N450	7.0Cb	121.8abAB	161.8b	127.4a	46.6ab	463.9ab
	CK	37.7aA	128.7aA	161.3b	96.5b	46.1ab	440.2c
春季覆膜 (播前覆膜)	N75	68.1bcB	109.6abA	147.6a	120.2a	30.7b	408.1a
	N150	66.0bcdB	83.0cb	170.3a	105.3ab	31.6b	390.2a
	N225	65.9bBCD	92.9bcAB	154.7a	109.2ab	36.5ab	393.3a
	N300	68.3bAB	83.8cB	161.7a	99.7ab	60.2a	405.4a
	N375	62.3bcdB	94.3bcAB	156.4a	114.8ab	32.5b	398.0a
	N450	56.7bdB	83.5cB	153.3a	124.2a	32.3b	393.2a
	CK	86.8aA	114.2aA	140.1a	93.6b	39.4ab	387.3a
P	A 因素	0.0143*	0.2108	0.1350	0.1036	0.4314	0.0158*
	B 因素	0.0001**	0.0004**	0.1604	0.0597	0.2821	0.4178
	A×B	0.9675	0.1611	0.9637	0.9531	0.5986	0.2146

## 2.3 春玉米 0—200 cm 底墒、产量及水分利用效率变化

施氮影响作物长势和对土壤水分的消耗程度,且其影响程度与休闲期及生育期降水量有关。从表 3 可以看出,无论何时覆膜,0—200 cm 土层播前底墒随施氮量增加呈先减少后增加趋势,与多年产量变化趋势一致。施肥区与无肥区产量和水分利用效率的差值反映了不同栽培模式组合下的施肥效应,施氮能显著提高春玉米产量和水分利用效率。施氮量在 75~225 kg/hm<sup>2</sup> 范围内,随施氮量增加,春玉米产量、水分利用效率均逐渐增加,施氮较 CK 秋覆膜和春覆膜产量分别提高了 48.0%,73.7%,77.1%和 47.8%,59.6%,59.7%,水分利用效率分别提高了 42.8%,59.6%,62.1%和 39.4%,57.5%,55.9%,进一步提高施氮量,产量不再增加。可见,在施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 范围内,施氮能提高春玉米产量和水分利用效率,但施氮量超过 225

kg/hm<sup>2</sup>,产量下降。因此,本试验条件下无论何时覆膜,施氮量 225 kg/hm<sup>2</sup> 产量和水分利用效率均较高,秋季和春季覆膜产量分别为 12 505.0,11 797.1 kg/hm<sup>2</sup>,水分利用效率分别为 26.1,24.7 kg/(mm·hm<sup>2</sup>);而秋季覆膜较春季覆膜产量和水分利用效率分别增加 6.0%和 5.7%,施氮处理平均产量和水分利用效率秋季覆膜较春季覆膜分别增加 5.2%和 3.9%。另外,无论何时覆膜,施氮极显著影响行粒数,显著影响百粒重,施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 处理明显高于其他施氮处理,其中行粒数秋季覆膜增幅在 5.5%~30.2%,较 CK 增加 59.7%;春季覆膜增幅在 2.5%~15.1%,较 CK 增加 40.3%;百粒重秋季覆膜增幅在 4.7%~13.8%,较 CK 增加 19.9%;春季覆膜增幅在 1.4%~7.4%,较 CK 增加 12.9%。因此,覆膜尤其是秋季覆膜垄沟种植结合施 N 225 kg/hm<sup>2</sup> 组合能较大幅度提高春玉米产量和水分利用效率,优化产量构成,实现旱地春玉米高产与水分高效。

表 3 各处理春玉米水分消耗、产量、WUE 与产量组成

覆膜 时期	施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	底墒/ mm	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	水分利用效率/ (kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	穗行数/ 行	行粒数/ 粒	百粒重/ g
秋季覆膜 (休闲期覆膜)	N75	509.0aAB	10451.8ab	22.1ab	16.1a	32.0b	28.7ab
	N150	488.4bB	12264.2ab	25.2ab	16.4a	32.1b	29.9a
	N225	455.9cC	12505.0a	25.3ab	16.3a	34.5a	31.3a
	N300	437.3dC	12461.3a	26.8a	16.1a	32.7ab	29.3ab
	N375	444.2cdC	12061.0ab	26.4a	16.1a	32.7ab	29.0ab
	N450	454.8cC	9939.3ab	21.1ab	16.8a	26.5c	27.5bc
	CK	520.3aA	7061.5c	15.1c	16.0a	21.6d	26.1c
春季覆膜 (播前覆膜)	N75	444.2aA	10918.4a	23.0a	16.8ab	31.1a	28.1a
	N150	390.7bB	11791.0a	25.7a	16.0b	31.9a	28.5a
	N225	378.2bB	11797.1a	24.7a	16.1b	32.7a	28.9a
	N300	378.0bB	10623.5a	22.3a	16.3ab	31.7a	28.1a
	N375	383.7bB	11003.8a	23.4a	17.1a	30.8a	26.9ab
	N450	384.3bB	10094.8a	22.3a	16.3ab	28.4b	27.9a
	CK	466.3aA	7386.4b	14.7b	16.7ab	23.3c	25.6b
P	A 因素	0.0271*	0.6064	0.5318	0.2587	0.5573	0.4067
	B 因素	0.0001**	0.0055**	0.0036**	0.8497	0.0001**	0.0186*
	A×B	0.1733	0.958	0.8917	0.2863	0.1274	0.6757

#### 2.4 各处理春玉米单株干物质积累及收获指数变化

从表 4 可以看出,无论何时覆膜,随着生育时期推进,各处理玉米干物质积累逐渐增加,进入拔节期后,干物质积累迅速增长,成熟期后增长又趋于缓慢。施氮对不同生育时期干物质积累影响显著,以施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 在不同生育时期干物质积累最多,秋季覆膜拔节期、抽雄期、灌浆期、收获期较其他施氮处理增幅分别为 11.0%~43.3%,2.6%~39.7%,4.2%~45.7%,9.2%~59.3%,春季覆膜拔节期、抽雄期、灌浆期、收获期较其他施氮处理增幅分别为 5.9%~75.8%,0.8%~13.5%,0.4%~69.9%,

21.3%~62.7%。与 CK 相比,施氮处理能显著增加玉米不同生育时期地上部干重,秋季覆膜拔节期、抽雄期、灌浆期、收获期较 CK 增幅分别为 75.8%~202.6%,62.9%~127.6%,98.4%~189.1%,66.8%~59.3%,春季覆膜拔节期、抽雄期、灌浆期、收获期较 CK 增幅分别为 31.9%~131.9%,38.6%~57.3%,58.5%~169.4%,9.7%~63.7%。覆膜时期与施氮交互显著提高了玉米收获指数,秋季覆膜和春季覆膜以施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 收获指数较高,分别为 0.53 和 0.52,较其他施氮处理增幅为 1.9%~35.9%和 4.0%~13.0%,较 CK 分别提高了 35.9%和 13.0%。

表 4 各处理春玉米单株干物质积累和收获指数比较

覆膜 时期	施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	单株干物质积累/g				收获 指数
		拔节期	抽雄期	灌浆期	收获期	
秋季覆膜 (休闲期覆膜)	N75	36.0bcde	121.7cd	207.7cd	226.4de	0.39f
	N150	41.7abcd	138.3bcd	286.0ab	330.3abc	0.49abcde
	N225	46.3a	170.0a	302.7a	360.7a	0.53a
	N300	41.3abcd	165.7ab	290.3ab	308.4abcd	0.51abcde
	N375	32.3de	161.7ab	276.0abc	322.9abc	0.52abc
	N450	34.7cde	152.3abc	288.7ab	297.1abcde	0.53ab
	CK	15.3g	74.7e	104.7f	135.7f	0.39f
春季覆膜 (播前覆膜)	N75	27.7ef	148.3abc	180.3de	229.4de	0.47cde
	N150	46.0ab	152.7abc	227.3bcd	282.3abcde	0.50abcde
	N225	48.7a	168.3ab	306.3a	342.3ab	0.52abcd
	N300	44.3abc	167.0ab	253.7abcd	260.5bcde	0.46e
	N375	38.7abcd	158.7ab	233.0abcd	247.4cde	0.47de
	N450	35.3cde	156.7ab	305.0a	249.4cde	0.47bcde
	CK	21.0fg	107.0d	113.7ef	209.1ef	0.46e
P	A 因素	0.3020	0.0783	0.1261	0.1742	0.9289
	B 因素	0.0001**	0.0001**	0.0008**	0.0002**	0.2608
	A×B	0.4634	0.5432	0.6887	0.1812	0.0022**

#### 2.5 各处理春玉米籽粒品质变化

从表 5 可以看出,施氮量对粗蛋白、粗脂肪、灰分含量影响极显著,覆膜时期及覆膜时期与施氮量交互对粗蛋白质含量影响显著。无论何时覆膜,在施 N375 kg/hm<sup>2</sup> 水平以下,粗蛋白含量随施氮量的增加而提高,超

过该施氮量则下降,均高于 CK,秋季覆膜和春季覆膜较 CK 增幅分别为 1.2%~54.3%和 7.2%~45.4%,粗脂肪含量随施氮量增加而降低,超过该施氮量则增加,均低于 CK,秋季覆膜和春季覆膜较 CK 分别减少 1.3%~14.3%和 1.0%~15.0%。

表 5 各处理玉米籽粒品质的比较

覆膜时期	施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	粗蛋白	粗淀粉	粗脂肪	灰分
		含量/%	含量/%	含量/%	含量/%
秋季覆膜 (休闲期覆膜)	CK	6.67±0.40dC	73.50±0.03bcBC	3.76±0.02aA	1.18±0.01abA
	N450	10.06±0.45abA	73.42±0.04eD	3.39±0.10bB	1.20±0.02aA
	N375	10.29±0.53aA	73.47±0.10cdCD	3.22±0.15bB	1.21±0.04aA
	N300	9.83±0.59abA	73.45±0.09deD	3.35±0.11bB	1.18±0.03abA
	N225	9.58±0.21bA	73.58±0.03aA	3.36±0.08bB	1.15±0.02bA
	N150	7.81±0.76cB	73.53±0.01bABC	3.69±0.12aA	1.18±0.04abA
	N75	6.75±0.25dC	73.54±0.06abAB	3.71±0.16aA	1.18±0.04abA
	CK	6.99±0.69cD	73.53±0.04aA	3.86±0.16aA	1.18±0.03aA
春季覆膜 (播前覆膜)	N450	9.90±0.08aAB	73.39±0.02cC	3.41±0.15bBC	1.17±0.03aA
	N375	10.16±0.06aA	73.38±0.01cdC	3.29±0.17bC	1.18±0.02aA
	N300	9.78±0.21aABC	73.38±0.03cdC	3.28±0.15bC	1.17±0.03aA
	N225	9.96±0.41aAB	73.35±0.04dC	3.43±0.27bBC	1.18±0.03aA
	N150	9.13±0.15bBC	73.46±0.07bB	3.63±0.13aAB	1.18±0.01aA
	N75	7.49±0.23cD	73.48±0.01abAB	3.82±0.25aA	1.19±0.03aA
	A 因素	0.0120*	0.3390	0.3124	0.4751
P	B 因素	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.7788
	A×B	0.0374*	0.0001**	0.8787	0.6560

### 3 讨论

#### 3.1 不同处理对春玉米田耗水特征的影响

在西北半湿润偏旱区,水分对旱地玉米生长发育至关重要。乔灵芝等<sup>[14]</sup>、张玉玲等<sup>[15]</sup>分别在陕西半湿润区和辽西半干旱半湿润区研究认为,秋季覆膜显著提高了播前土壤蓄水量和含水量;秦红灵等<sup>[16]</sup>也指出无论是何种耕作方式,除生育期降雨外,底墒是土壤供水的重要组成部分。本研究结果表明,秋季覆膜(休闲期)显著增加了 0—200 cm 和 0—300 cm 播前底墒,较春季覆膜(播前覆膜)增幅分别为 54.0~97.7 mm 和 53.9~108.8 mm。虽然本研究区域与乔灵芝等<sup>[14]</sup>研究区域生态条件不同,但研究结果相似,再次表明秋季覆膜能有效改善西北旱作区春播前耕层土壤水分条件,在春旱发生时,秋季地膜覆盖更能有效解决因春旱而不能适时播种等生产实际问题。玉米进入拔节期后,无论何时覆膜,各施氮处理在 0—300 cm 土层的贮水量迅速下降,低于 CK,至收获期土壤贮水量有所升高。由于试验已进行 5 年,说明休闲期降雨不能完全补充多年连作玉米造成的土壤水分亏缺,但秋季覆膜不同生育时期的贮水量明显高于春季覆膜,表明只有通过覆膜尤其是秋季覆膜措施来提高播前底墒,增加玉米不同生育时期的土壤贮水量来满足玉米生长发育所需的土壤水分。

玉米耗水量由自身蒸腾和裸间蒸发两部分构成,所耗水分来源主要为播前土壤贮水和生育期降雨,其高低受降雨年型、气象因素、土壤温湿度及玉米生长发育状况的影响较大,具有较高的时空变异性<sup>[17]</sup>。李凤民等<sup>[18]</sup>认为,播种期土壤有效贮水量与降雨量影响作物出苗、生长及产量形成,对生育期水分不足

有补偿作用。同时,地膜覆盖可在玉米需水较少的苗期贮存水分,供需水旺盛期利用<sup>[19-20]</sup>。本研究结果显示,秋季覆膜(休闲期覆膜)较春季覆膜(播前覆膜)显著降低了土壤耗水量,减少幅度为 7.2~55.7 mm。无论何时覆膜,玉米全生育期总耗水量随播前底墒增加而提高,表现为秋季覆膜高于春季覆膜,增幅为 38.6~86.7 mm。另外,施氮处理较 CK 明显增加了不同生育时期耗水量,表现为前期少、中期多、后期少的趋势,尤其是抽雄至灌浆阶段为玉米耗水高峰期。

#### 3.2 不同处理对春玉米产量和水分利用效率的影响

刘芬等<sup>[21]</sup>、朱兆良等<sup>[22]</sup>研究认为,提高施氮量可以显著提高玉米产量和水分利用效率;李青军等<sup>[23]</sup>认为氮素合理运筹可有效提高玉米产量,施 N 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 处理比农户习惯施肥产量提高 1.42 个百分点;马兴华等<sup>[24]</sup>认为,适当增施氮肥可以补偿因土壤水分不足造成的部分生长负效应。本研究结果显示,在一定范围内施氮,能增加春玉米产量和水分利用效率,过量施氮二者均不再增加,具体表现为施氮量在 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 范围内,随施氮量增加,春玉米产量和水分利用效率均逐渐增加,施氮量超过 225.0 kg/hm<sup>2</sup>,春玉米产量不再提高。同时,施氮 225.0 kg/hm<sup>2</sup> 增加了春玉米各生育时期干物质积累和收获指数,优化了产量构成,并且在一定程度上改善了春玉米籽粒品质。原因:一方面覆膜的蓄水保墒效应,提供了春玉米关键生育期的土壤水分供应;另一方面,施氮增加了单位水资源生产的籽粒产量。同时,本研究结果还显示,各施氮处理平均产量秋季覆膜较春季覆膜增加 5.2%,这与买自珍等<sup>[25]</sup>的研究结论一致。说明黄土旱原区冬春休闲期地膜覆盖能有效降低土壤水分无效蒸发,有利于增加播前土壤贮水,为玉米高产提供水分保证。

## 4 结论

(1)春玉米对土壤水分的消耗量与播前底墒密切相关,表现为随底墒提高而增加。秋季覆膜(休闲期)能显著提高 0—200 cm 和 0—300 cm 土壤贮水量,与春季覆膜相比,增幅在 54.0~97.7 mm 和 53.9~108.8 mm。同时,无论何时覆膜,与 CK 相比,施氮极显著降低了各生育时期 0—300 cm 土壤贮水量。

(2)玉米全生育期耗水量为秋季覆膜高于春季覆膜,增幅为 38.6~86.7 mm。休闲期覆膜较不覆膜显著降低了土壤耗水量,减少幅度为 47.2~55.7 mm。无论何时覆膜,全生育期内,各处理玉米的耗水量基本呈前期少、中期多、后期少的趋势,拔节至灌浆期为耗水高峰期。

(3)在施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 范围内,施氮能提高春玉米产量和水分利用效率,超过 225 kg/hm<sup>2</sup> 时,产量下降。各施氮处理平均产量秋季覆膜较春季覆膜增加 5.2%,各生育时期干物质积累量和收获指数以施 N 225 kg/hm<sup>2</sup> 均较高。另外,施氮极显著影响籽粒粗蛋白、粗脂肪和灰分含量。

因此,在陇东旱塬春玉米田,覆膜尤其是秋季覆膜垄沟种植结合施氮 225 kg/hm<sup>2</sup> 能明显提高春玉米产量和水分利用效率,增加干物质积累和收获指数,优化玉米产量性状,改善籽粒品质,是该地区玉米高效优质生产较为适宜的种植模式。

### 参考文献:

[1] 李强,王朝辉,李富翠,等. 氮肥管理与地膜覆盖对旱地冬小麦产量和氮素利用效率的影响[J]. 作物学报, 2014,40(1):93-100.

[2] 王小彬,代快,赵全胜,等. 农田水氮关系及其协同管理[J]. 生态学报,2010,30(24):7001-7015.

[3] 代快,蔡典雄,张晓明,等. 不同耕作模式下旱作玉米氮磷肥产量效应及水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2011,27(2):74-82.

[4] 钟良平,邵明安,李玉山. 农田生态系统生产力演变及驱动力[J]. 中国农业科学,2004,37(4):510-515.

[5] 柴育红,陈亚慧,夏训峰,等. 测土配方施肥项目生命周期环境效益评价:以聊城市玉米为例[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(1):229-236.

[6] Fois S, Motzo R, Giunta F. The effect of nitrogenous fertilizer application on leaf traits in durum wheat in relation to grain yield and development[J]. Field Crops Research,2009,110:69-75.

[7] Hiroshi N, Satoshi M, Osamu K. Effect of nitrogen application rate and timing on grain yield and protein content of the bread wheat cultivar minaminokaori in South-western Tapan[J]. Plant Production Science, 2008, 11 (1):151-157.

[8] Ma J, Li X L, Xu H, et al. Effects of nitrogen fertilizer and wheat straw application on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from a paddy rice field[J]. Australian Journal of Soil Research,2007,45:359-367.

[9] Elvira G L, Rafael J L, Luis L B. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions[J]. Field Crops Research,2004,85:213-236.

[10] 李芳林,郝明德,杨晓,等. 黄土旱塬施肥对土壤水分和冬小麦产量的影响[J]. 麦类作物学报,2010,30(1):154-157.

[11] 付国占,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(1):52-56.

[12] 李国华. 全膜双垄沟播技术不同覆膜时期水分生产效率研究[J]. 中国农学通报,2009,25(18):205-207.

[13] Hatfield J L, Sauer T J, Pruceger J H. Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review[J]. Agronomy Journal,2001,93(2):271-280.

[14] 乔灵芝,王俊鹏,张春,等. 秋覆盖的保水效应及对春玉米生长的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3):13-18.

[15] 张玉玲,张玉龙,黄毅,等. 辽西半干旱地区深松中耕对土壤养分及玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009,27(4):114-118.

[16] 秦红灵,李春阳,高旺盛,等. 干旱区保护性耕作对土壤水分的影响研究[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(4):166-170.

[17] 石岩,林琪,位东斌,等. 土壤水分胁迫对冬小麦耗水规律及产量的影响[J]. 华北农学报,1997,12(2):76-81.

[18] 李凤民,刘小兰,王俊. 底墒与磷肥互作对春小麦产量形成的影响[J]. 生态学报,2001,21(11):1941-1946.

[19] 王同朝,卫丽,王燕,等. 夏玉米垄作覆盖对农田土壤水分及其利用影响[J]. 水土保持学报,2007,21(2):129-132.

[20] Zhang S L, Li P R, Yang X Y. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 112 (1):92-97.

[21] 刘芬,王小英,赵业婷,等. 渭北旱塬土壤养分时空变异与养分平衡研究[J]. 农业机械学报,2015,46(2):110-119.

[22] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.

[23] 李青军,张炎,胡伟,等. 氮素运筹对玉米干物质积累、氮素吸收分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):755-760.

[24] 马兴华,王东,于振文,等. 不同施氮量下灌水量对小麦耗水特性和氮素分配的影响[J]. 生态学报,2010,30 (8):1955-1965.

[25] 买自珍,余萍,买娟,等. 半干旱区不同覆膜时期、方式与膜色对土壤水分及马铃薯水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(1):1-10.