文章编号:1000-7601(2020)06-0152-07 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2020.06.21

绿洲灌区地膜利用方式与灌水量对玉米产量形成的协同效应

赵 财,蔡莉娟,柴 强,赵良霞,范 虹,殷 文,
胡发龙,于爱忠,樊志龙

(甘肃省干旱生境作物学重点实验室/甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:通过不同地膜利用方式(NT:前茬玉米覆膜收获后免耕,次年直接播种;RT:秋免耕春覆膜;CT:传统耕作覆膜)和不同灌水水平(I1:全生育期灌水 450 mm;I2:495 mm;I3:540 mm)下玉米干物质积累和产量构成的响应规律,揭示地膜利用方式和灌溉量调控玉米产量形成的机制,为覆膜种植玉米集成利用免耕和限量灌溉技术提供理论和实践依据。结果表明,NT 和 RT 覆膜免耕处理降低了玉米吐丝期前干物质积累量和群体生长率,分别较传统耕作覆膜处理平均降低 32.4%和 45.9%,但吐丝期后使干物质积累量和群体生长率分别提高 7.4%和 32.6%;灌水减量至 495 mm 未造成干物质累积量和生长率降低。NT 和 RT 覆膜免耕处理使玉米单位面积穗数和百粒重较传统耕作覆膜处理平均分别提高 13.4%和 6.6%,进而使 3 a 平均产量提高 5.4%;灌水减量至 495 mm 并未引起减产。通径分析进一步表明,有限灌水条件下覆膜免耕玉米主要通过增加双穗数和增大百粒重来提高籽粒产量。可见,集地膜覆盖和免耕为一体的覆膜免耕技术是干旱地区玉米生产较为理想的种植技术。

关键词:玉米;覆膜免耕;灌水水平;群体生长率;干物质积累;产量构成

中图分类号:S513;S343.1 **文献标志码**:A

Synergetic effect of plastic film mulching and irrigation quota on yield and yield components of maize

ZHAO Cai, CAI Lijuan*, CHAI Qiang, ZHAO Liangxia, Fan Hong,
YIN Wen, HU Falong, YU Aizhong, FAN Zhilong

(*Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Science*, *Faculty of Agronomy*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*)

Abstract: In order to evaluate the yield formation mechanism of maize and provide the theoretical and practical basis for integrated use of no-tillage and limited irrigation, this study investigated dry matter accumulation and yield components response of maize to different plastic film mulching practices (NT: no tillage in fall with mulching and tillage in the next spring; RT: no tillage in fall with mulching and tillage in the next spring; CT: conventional tillage) and various irrigation levels (I1: 450 mm in whole growth period; I2: 495 mm; I3: 540 mm). The results showed that, NT reduced the dry matter accumulation and crop growth rate before tasseling period of maize. Compared to CT, the dry matter accumulation and crop growth rate were decreased by 32.4% and 45.9%. However, after tasseling period, dry matter accumulation and crop growth rate with NT was increased by 7.4% and 32.6%, compared to that of CT. Irrigation reduction at 495 mm didn't reduce dry matter accumulation and crop growth rate. Compared to CT, the ears number per planting area and hundred-kernel weight of maize with NT were improved by 13.4% and 6.6%. Consequently, grain yield with NT was increased by 5.4% compared to CT. There

收稿日期:2019-04-23 **修回日期**:2020-10-28

基金项目:甘肃农业大学盛彤笙科技创新基金(GSAU-STS-1439);国家公益性行业(农业)科研项目(201503125-3);国家自然科学基金项目(31860363)

作者简介:赵财(1978-),男,甘肃武威人,博士,副研究员,主要从事节水农业研究。E-mail: zhaoc@gsau.edu.cn
蔡莉娟(1991-),女,硕士,主要从事旱地与绿洲农作制度研究。E-mail: 1303272117@qq.com *与第一作者同等贡献

通信作者:柴强(1972-),男,博士,教授,主要从事多熟种植和节水农业研究。E-mail: chaiq@gsau.edu.cn

was no significant decrease in the grain yield of maize even when irrigation was reduced. The path analysis revealed that the improvement of grain yield of maize with no-tillage and plastic film mulching was mainly attributable to the increase in spike number per planting area and hundred-kernel weight. Therefore, at water-limited arid area, integrating no-tillage with plastic film mulching can be used as a suitable planting pattern for maize production.

Keywords: maize; no-tillage with plastic mulching; irrigation quota; crop growth rate; dry matter accumulation; yield components

土壤水热因子是影响作物生长发育与产量形成的关键因子。土壤温度通过对作物根系功能和光合作用等影响作物生长发育[1],而土壤水分的变化与作物干物质积累及分配、产量形成等密切相关[2]。地膜覆盖能够改善土壤水热条件,尤其是适量灌水条件下可显著降低土壤水分的无效蒸发和热量散失,提高作物产量[3-5],但传统地膜覆盖方式在作物收获后的翻耕及休闲期地表裸露,其间土壤水分无效蒸发;且长期地膜覆盖造成土壤结构破坏、耕地质量下降、作物减产以及农事操作受阻、次生环境污染等一系列问题[6]。保护性耕作相对于传统翻耕方式具有蓄水保墒、改善土壤物理性状、提高作物水分利用效率等作用,在水资源匮乏的北方旱作农业区有重要应用价值[7],然而部分研究发现,保护性耕作降低了作物生长早期表层土壤温度,使出苗和生长发育延迟[8]。因此,将免耕、地膜覆盖与灌溉制度集成在同一玉米栽培体系中,有望同步优化农田土壤水热环境,调控作物生长发育动态,提高作物生长水热需求与农艺调控效应间的吻合度,建立适于资源性缺水区作物高效生产的农田管理技术。

西北绿洲灌区大面积种植地膜玉米,但资源性缺水严重和"非膜不植"的农业生产方式造成的农田残膜污染已成为玉米规模化种植面临的两大难题,残膜再利用的地膜减量化技术亟待开发。本研究主要针对该地区玉米生产过程中地膜污染和农田水分的无效损耗等突出问题,将不同地膜利用方式和灌溉制度集成应用于大田玉米栽培,重点探讨不同供水条件下覆膜免耕对玉米干物质累积特性的影响,并分析地膜利用方式和水分管理对产量和产量构成因素的协同效应,以期为优化绿洲灌区玉米高产、高效栽培技术提供理论和实践依据。

1　材料与方法

1.1　试区概况

甘肃农业大学绿洲农业科研教学基地(103°5′E, 37°30′N)位于河西走廊东端,为典型的大陆性荒漠气候区,年均降水约 150 mm,年蒸发量约 2 000~3 500 mm,资源性缺水严重。小麦、玉米为该区的主要粮食作物,玉米播种比例大于 30%,生产以深翻耕的传统耕作为主,灌溉量通常高于 7 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$,均采用地膜覆盖。

1.2　试验设计

参试玉米品种为"先玉 335",地膜厚 0.008 mm,宽 1.4 m。试验为二因素三水平裂区设计,主区设覆膜免耕(NT:前茬玉米覆膜收获后免耕,次年直接在旧膜上播种玉米)、秋免耕春覆膜(RT:前茬玉米收获后免耕,次年播前揭去旧膜旋耕覆新膜播种玉米)及传统耕作覆膜(CT:前茬玉米收获后深翻耕,次年春天播前耙磨覆新膜)3 种地膜应用方式,其玉米种植方式为全覆膜平作;副区为 3 个灌水水平,分别为低水(I1:全生育期灌水 450 mm)、中水(I2:495 mm)、高水(I3:540 mm),灌溉方式为畦灌,分别在苗期、拔节期、大喇叭口期、开花期和灌浆期进行(表 1),前一年土壤封冻前冬储灌 120 mm。试验共 9 个处理,每处理 3 次重复。播种密度 9×10^4 株 $\cdot hm^{-2}$,行距 40 cm,小区面积 9.2 m×5 m。3 a 播种时间分别为 2014 年 4 月 20 日、2015 年 4 月 17 日、2016 年 4 月 20 日,收获时间分别为 2014 年 10 月 1 日、2015 年 9 月 27 日、2016 年 9 月 19 日。不同处理的总施氮水平一致,为 300 kg $\cdot hm^{-2}$,基肥施总氮量的 10%;追肥按照玉米生育时期进行,玉米拔节期(六叶期)第一次追肥,为总施氮量的 20%;第二次大喇叭口期(十叶期)追肥,为总施氮量的 50%;第三次于玉米开花后 10 d 追肥,施用对应剩余的氮肥量。磷肥按照N∶P为 1∶0.75 比例全部作为基肥施用。覆膜免耕处理的基肥使用鸭嘴式点播器直接将肥料施于膜下 10 cm 深的土壤中,追肥与传统处理一致,为灌水前撒施。

按照试验设计,覆膜免耕处理和秋免耕春覆膜处理在 2013 年玉米收获后免耕,休闲期保持地膜完整度在 70%以上;传统耕作处理在玉米收获后回收残膜并深翻耕。2014 年春季,秋免耕春覆膜处理将旧膜揭去后进行旋耕并覆新膜,传统覆膜处理进行旋耕耙磨后覆新膜。

1.3　测定指标及方法

干物重(kg $\cdot hm^{-2}$):从玉米出苗后,每隔 20 d 测定玉米的地上部干物质重。苗期至小喇叭口期随机各取 10 株,其后各生育时期各取 5 株。取回的植株

在 105℃烘箱内杀青 30 min,再在 85℃下烘干至恒重,测其干重。

群体生长率(kg · hm^{-2} · d^{-1}):

$$CGR=(W_2-W_1)/(T_2-T_1)$$

式中,W_2 和 W_1 分别为 T_2 和 T_1 时期的干物质积累量,T_2、T_1 为测定时期。

产量及产量构成因素:每小区随机取 10 株考种,测定穗粒数、千粒重,按小区收获、计产并统计穗数,籽粒产量为保留 14%籽粒含水量的重量。

1.4 数据统计分析

试验数据采用 EXCEL 2007 进行整理汇总,用 SPSS 19.0 进行显著性检验及通径分析。

2 结果与分析

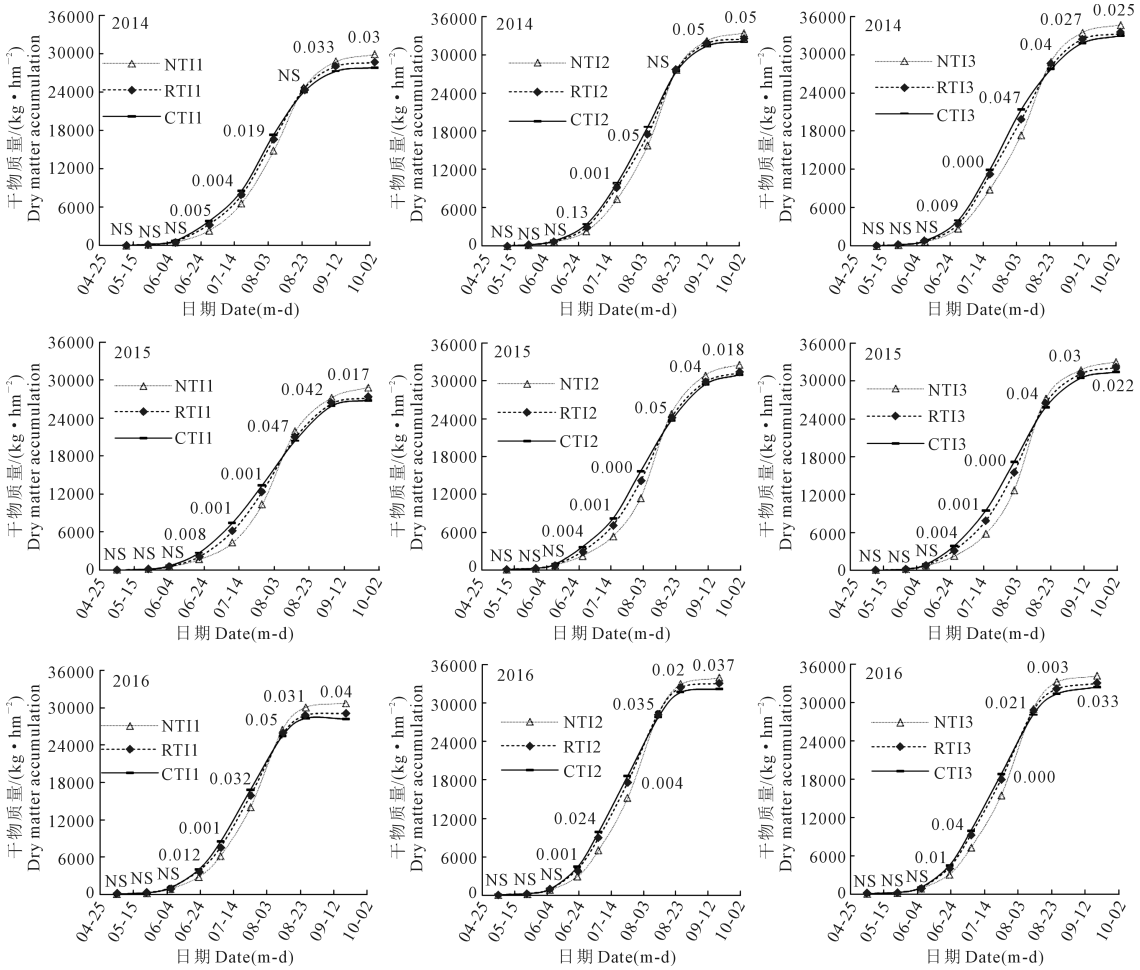
2.1 地膜利用方式和灌水水平对玉米干物质积累的影响

2.1.1 不同处理干物质积累动态 图 1 是 2014—2016 年不同地膜利用方式及灌水处理玉米地上部干物质量在生育期的积累动态。由图 1 可见,在吐丝期(8 月 3 日)以前 NT 处理降低了玉米干物质积累速率,尤其是玉米拔节期(6 月 7 日)到吐丝期,NT 处理干物质积累量较 RT 与 CT 3 a 平均值分别降低 21.3%和 32.4%;而吐丝期后 NT 处理的干物质积累速率显著增加,较 RT 与 CT 分别提高 5.3%和 7.4%。随

表 1 不同灌水处理的灌溉制度/mm

Table 1 Irrigation schedules for different treatments

处理 Treatment	苗期 Seeding	拔节期 Jointing	大喇叭口期 Big trumpet	开花期 Flower	灌浆期 Filling	灌溉总额 Irrigation quota
I1	90	90	90	90	90	450
I2	90	105	105	105	90	495
I3	90	120	120	120	90	540



注:图中的数字表示不同处理的干物质积累方差分析 P 值,NS 表示不同处理干物质积累量在此生育时期无显著差异($P>0.05$)。

Note: The figures indicate the significant values of dry matter accumulation under different treatment at different growth period, NS indicates no-significant at $P>0.05$.

图 1 不同地膜利用方式与灌水处理玉米地上部干物质积累动态

Fig.1 Dynamics of dry matter accumulation of maize under different plastic film mulching and irrigation quotas

灌水水平提高,玉米全生育期干物质积累量逐渐增大,与 I1 相比,I2 和 I3 处理干物质积累量分别提高了 12.6%和 16.6%,但 I2 和 I3 处理间差异不显著。说明覆膜免耕对玉米干物质累积的不利影响主要在前期,而吐丝期后利于干物质积累,且结合充足灌水能显著增加干物质积累量。

2.1.2　群体生长率　分析不同覆膜方式和灌水量的群体生长率(表 2)得出,在玉米拔节期前(6 月 7 日)群体生长率在各处理间无显著差异,且处理间的互作效应不显著;但玉米拔节期到吐丝期(6 月 7 日至 8 月 2 日),NT 处理显著降低了玉米群体生长率,较 RT 和 CT 平均降低 31.7%和 45.9%;灌水水平间相比,I2 和 I3 处理的群体生长率显著高于 I1,较之分别提高 16.9%和 17.3%。覆膜方式与灌水量有显著的互作效应,NT 中、高灌水处理群体生长率较 RT 和 CT 处理分别降低 29.9%、25.4%和 33.0%、33.3%。玉米吐丝期后,NT 处理的群体生长率显著提高,NT 处理的群体生长率 3 a 平均较 RT 和 CT 分别高 19.8%和 32.6%;随灌水水平提高,群体生长率显著增大,NT 处理群体生长率较 RT 与 CT 在低、中、高灌水水平下分别提高11.1%、11.5%、12.9%和 16.1%、16.7 %、23.4%,且覆膜方式与灌水水平互作效应显著。说明覆膜免耕降低了玉米生育前期群体生长率,但提高了其生育后期的群体生长率,进而使干物质形成补偿积累,且中、高灌水水平可提高全生育期群体生长率。

表 2　不同地膜利用方式与灌水处理玉米的群体生长率/(kg · hm^{-2} · d^{-1})

Table 2　Crop growth rate of maize under different plastic film patterns and irrigation quotas

年度 Year	处理 Treatment		04-17—05-07	05-08—06-06	06-07—06-25	06-26—07-14	07-15—08-02	08-03—08-20	08-21—09-08	09-09—10-01
2014	NT	I1	13.7a	23.9a	84.7d	202.8e	410.3c	491.8b	205.5b	45.7ab
		I2	14.3a	28.7a	90.8d	254.0cd	421.0bc	595.6a	226.5a	55.8a
		I3	14.5a	29.5a	104.2cd	287.0c	428.1b	576.1a	229.1a	56.3a
	RT	I1	15.2a	28.0a	113.4c	225.3d	409.4c	396.9c	173.8c	36.3b
		I2	16.0a	30.9a	134.3b	317.6b	433.9b	512.6b	207.8b	30.9c
		I3	16.2a	31.7a	135.1b	386.4a	436.2b	419.1c	217.3ab	39.2ab
	CT	I1	15.8a	33.6a	132.0b	236.1d	440.1b	318.6d	161.8c	31.9c
		I2	16.6a	35.5a	155.0a	322.3b	441.5b	437.9c	186.1bc	35.7bc
		I3	16.6a	36.0a	156.0a	396.7a	473.2a	335.0d	206.1b	41.9b
2015	NT	I1	11.8a	24.8a	67.3d	139.1f	326.5c	644.4c	264.5b	46.5bc
		I2	12.5a	27.1a	86.0c	164.0e	367.1bc	744.4b	290.3a	65.2a
		I3	12.8a	30.2a	89.0c	185.0d	387.4b	811.1a	305.0a	70.9a
	RT	I1	12.2a	27.4a	90.1c	210.4c	367.4bc	477.7d	235.6c	39.1c
		I2	14.4a	32.9a	123.5b	240.2bc	432.4ab	561.1c	262.3b	43.5bc
		I3	14.6a	34.9a	138.3b	266.5a	453.2a	611.1c	270.0b	56.5b
	CT	I1	13.9a	30.9a	105.7bc	237.4bc	378.2.1b	392.8e	225.od	38.7c
		I2	14.4a	36.0a	163.1a	276.8a	440.6a	450.0d	255.1bc	42.2bc
		I3	15.2a	40.5a	171.7a	294.7a	452.9a	483.3d	261.4b	53.3b
2016	NT	I1	13.1a	50.2a	106.0e	260.7f	432.4c	513.9ab	232.7b	31.8c
		I2	13.3a	52.8a	115.7d	317.2d	477.1ab	636.1a	284.2a	42.2a
		I3	13.8a	53.1a	119.4d	326.9d	480.9ab	675.5a	311.4a	44.2a
	RT	I1	15.3a	52.3a	149.3c	291.8e	458.9b	487.7c	207.8c	14.3de
		I2	15.6a	53.5a	174.6b	376.4b	508.4a	539.2b	226.2bc	28.9c
		I3	15.7a	56.6a	178.1b	400.1ab	510.6a	541.6b	248.0b	34.6b
	CT	I1	16.0a	55.8a	163.2b	343.7c	464.3b	421.7d	181.8d	9.0e
		I2	16.5a	58.5a	189.8a	420.1a	515.2a	440.2cd	216.2c	23.7d
		I3	17.0a	61.5a	191.2a	423.3a	519.2a	465.3c	232.5b	32.4b
显著性值(P value)										
年 Year(Y)			NS	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
覆膜 Plastic film mulching(M)			NS	NS	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000
灌水 Irrigation(I)			NS	NS	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002
年×覆膜 Y×M			NS	NS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
年×灌水 Y×I			NS	NS	NS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
覆膜×灌水 M×I			NS	NS	0.007	0.000	0.029	0.001	0.028	0.019
年×覆膜×灌水 Y×M×I			NS	NS	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006

注:NS 表示无显著差异(P>0.05)。同列数字后的不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同。

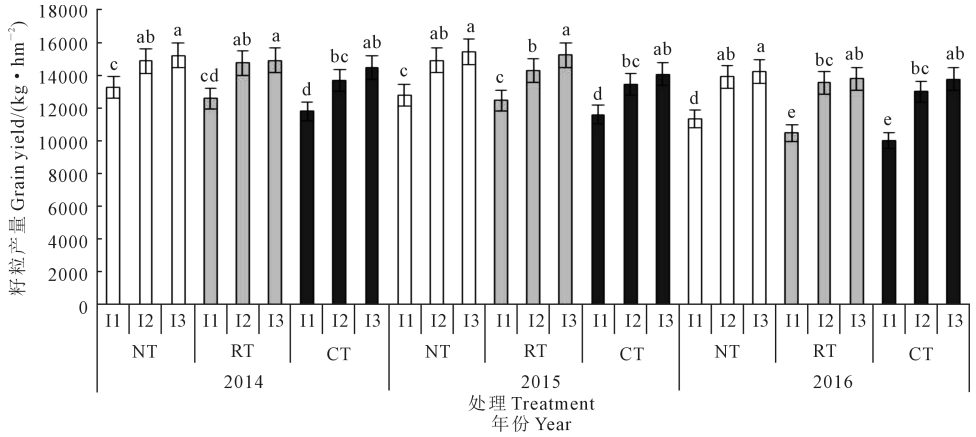
Note: NS indicates non-significant at P>0.05. Different letters within a column show significant difference at P<0.05, the same below.

2.2 不同处理对玉米产量的影响

地膜利用方式、灌溉水平对玉米籽粒产量均有显著影响,且二者交互作用显著。2016 年玉米生育期降雨量仅 110 mm,且在灌浆期受干热风影响,籽粒产量低于 2014 和 2015 年,但地膜利用方式和灌水水平对籽粒产量的影响无年际差异(图 2)。耕作处理间,NT 处理籽粒产量较 RT 与 CT 分别提高 8.7%与 5.4%;灌水水平间,I2 和 I3 处理籽粒产量较 I1 分别提高 23.3%与 18.9%,但 I2 和 I3 间差异不显著。地膜利用方式与灌水水平组合以 NTI2、NTI3 处理籽粒产量最高,3 a 平均达 14 566 kg · hm^{-2}和 14 957 kg · hm^{-2},较 NTI1 分别增产 16.9%和20.0%,与 CTI3 差异不显著。相同灌水水平下,NTI2 较 CTI2 处理平均提高 8.96%,NTI1 较 CTI1 处理平均提高11.91%。说明中、高灌水条件下覆膜免耕与传统覆膜作用相当,但水分亏缺时,覆膜免耕可缓解干旱胁迫对作物产量形成的影响,提高玉米产量。

2.3 不同处理玉米的产量构成因素

地膜利用方式对单位面积穗数、百粒重影响显著,对穗粒数影响不显著;灌水水平对产量构成三因素均有显著影响,覆膜方式、灌水水平的交互作用对百粒重影响显著(表 3)。NT 处理在各灌水水平下单位面积穗数均高于其他处理,较 RT 和 CT 分别高 5.8%和 13.4%。I2 和 I3 处理单位面积穗数较 I1 分别高 13.6%和 21.1%。综合覆膜方式与灌水水平,以 NTI2、NTI3 处理玉米单位面积穗数最多,较 CTI3 分别增加了 16.9%和 6.6%,NTI2 较 NTI3 玉米单位面积穗数增多 9.7%。NT、RT、CT 三种覆膜方



注:不同字母表示同一年内不同处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different letters indicate the significant difference under different treatments within one year(P<0.05).

图 2 不同地膜利用方式与灌水处理的籽粒产量、收获指数

Fig.2 Grain yield and harvest index under different plastic film mulching and irrigation levels

表 3 不同地膜利用方式与灌水处理下玉米的产量及产量构成因素

Table 3 Grain yield and yield component factors under different treatment

处理 Treatment		2014 穗数 EN/(ear · m^{-2})	2014 穗粒数 KSN	2014 百粒重 HKW/g	2015 穗数 EN/(ear · m^{-2})	2015 穗粒数 KSN	2015 百粒重 HKW/g	2016 穗数 EN/(ear · m^{-2})	2016 穗粒数 KSN	2016 百粒重 HKW/g
NT	I1	11.3	554.1	34.3d	11.3	561.6	39.2c	8.5	507.6	40.7e
	I2	12.6	565.3	44.0ab	12.6	581.1	45.3a	8.9	564.8	45.0ab
	I3	12.6	547.1	46.0a	15.2	555.3	46.3a	9.6	595.6	46.5a
RT	I1	9.9	576.6	32.7d	9.9	558.6	38.7c	8.1	522.6	35.7f
	I2	11.7	576.7	44.6a	11.9	553.1	45.6a	8.7	578.8	44.0bc
	I3	12.8	576.8	44.1ab	14.6	548.2	44.0ab	9.0	608.0	44.5b
CT	I1	10.0	569.9	32.1d	9.8	549.8	38.2c	7.4	540.8	34.5f
	I2	10.8	576.1	42.3bc	11.2	543.6	43.0b	7.7	589.0	42.3cd
	I3	11.0	576.1	42.6bc	13.2	533.7	42.4b	7.8	624.4	43.0c
显著性值 (P value)										
覆膜方式 Plastic film mulching (M)		0.016	NS	0.005	0.045	NS	0.032	0.000	NS	0.000
灌水水平 Irrigation(I)		0.000	0.003	0.001	0.039	0.006	0.008	0.000	0.013	0.000
覆膜方式×灌水水平 M×I		NS	NS	0.034	NS	NS	0.040	NS	NS	0.035

注: EN:穗数、KSN:穗粒数、HKW:百粒重。

Notes:EN is ear number per square meter; KSN is kernel number per spike; HKW is hundred-kernel weight.

式下,I2 和 I3 处理百粒重 3 a 平均较 I1 分别增重 17.9%和 18.8%,I2 和 I3 之间差异不显著。覆膜免耕结合中、高灌水较传统耕作覆膜显著提高了玉米百粒重,NTI2 较 CTI2 百粒重提高 5.3%,NTI3 较 CTI3 提高 8.4%。结果表明,覆膜免耕较传统耕作覆膜处理可提高单位面积穗数和百粒重,在高灌水水平下获得最高单位面积穗数和百粒重,但中灌水与高灌水差异不显著,说明在覆膜免耕方式下,可实现灌水减量,并获得较多穗数与较大粒重。

2.4　产量构成因素与产量的通径分析

2014—2016 年不同地膜利用方式在不同灌水水平条件下玉米的籽粒产量与穗数、穗粒数、百粒重的相关分析和通径分析结果表明,玉米籽粒产量与穗数、百粒重呈极显著正相关,与穗粒数有正相关但相关性不显著(表 4)。通过籽粒产量与上述指标的直接通径系数可以看出,3 个试验年度,不同地膜利用方式及灌水水平对玉米籽粒产量构成因素的影响为穗数>穗粒数>百粒重;通过籽粒产量与上述产量构成因素的间接通径系数可知,穗数通过百粒重对籽粒产量的贡献率最大,百粒重通过穗数对籽粒产量的间接贡献最大。由此说明,在覆膜免耕种植方式及适宜灌水量条件下,较多的双穗数才能保证单位面积玉米高产,百粒重的增大是提高籽粒产量的主要途径。

表 4　不同处理玉米籽粒产量与产量因素的相关系数和通径系数

Table 4　Correlation coefficient and path coefficient of maize between grain yield and yield components

指标 Index	与籽粒产量的简单相关系数 Correlation coefficient with yield	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient		
			X_1	X_2	X_3
X_1	0.738**	0.668		−0.069	0.139
X_2	0.371	0.392	−0.117		0.095
X_3	0.722**	0.357	0.260	0.105	

注:*,** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关显著;X_1、X_2 和 X_3 分别表示穗数、穗粒数、百粒重。

Note: *, ** are significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively. X_1, X_2 and X_3 indicate spike number (SN), kernel number per spike (KNS) and hundred-kernel weight (HKW), respectively.

3　讨　论

3.1　玉米干物质积累对不同地膜利用方式及灌水水平的响应

在春玉米整个生育期,籽粒产量大部分来自后期的干物质积累,前期贮存于叶片和茎杆中的光合产物所占比例较小[9]。因此,促进前期茎、叶生长的同时,加强后期玉米生长至关重要。研究表明,改良耕作方式[10]、灌溉制度[11]等农艺措施,可以优化干物质的合成及积累。本研究中,覆膜免耕玉米拔节期至吐丝期玉米群体生长率和干物质积累量显著低于传统耕作覆膜处理,而吐丝期到成熟期的玉米群体生长率显著高于传统耕作。覆膜免耕玉米前期群体生长率和干物质积累量降低主要因为覆膜免耕处理在玉米播种到拔节期的增温效果显著低于传统耕作覆膜,农田 0~25 cm 土壤平均温度较传统耕作覆膜处理低 13.35%,而对玉米生育后期的土壤温度无显著影响[12]。有研究表明,玉米生育期传统耕作覆膜由于根区土壤温度高,导致根系早衰[13],对玉米生长产生不利影响;而免耕覆盖土壤温度低,土壤水分和有机质含量较高[14],表现出较大的生长优势。张明君等[15]的研究也表明,免耕方式下玉米拔节期前的耗水和干物质积累较低,而拔节期后玉米的耗水量和干物质积累量显著增加,最终获得较高产量,这与本研究中覆膜免耕的干物质积累特征相一致。

3.2　产量和产量构成因素对地膜利用方式和灌水水平的响应

作物产量形成与作物生理特征和外界环境密切相关,地膜覆盖方式[16]、水分胁迫[17]、施氮制度[18]等农艺措施通过影响作物本身及土壤水、热状况而影响产量及产量构成因素,免耕条件下可显著改善土壤酶和土壤微生物活性,提高土壤的保水能力和水分利用效率[7]。本研究中,地膜利用方式与灌水水平间的互作效应显著,覆膜免耕低灌水水平下较传统耕作覆膜获得较高的籽粒产量。分析发现,一方面因为覆膜免耕农田较传统耕作覆膜在休闲期储存了更多的冬季灌水和冬季雪水[19],且覆膜免耕处理在作物生育期的棵间蒸发和传统覆膜相当[20],为亏缺灌水农田提供了良好的水分基础;另一方面,覆膜免耕可显著改善农田土壤理化性质,提高耕层土壤有机碳含量[21];此外,本研究证明虽然生育前期覆膜免耕降低了土壤温度导致干物质积累降低,但生育后期的生长补偿效应使覆膜免耕玉米获得和传统耕作覆膜相同的生物产量。可见,覆膜免耕较好的水分条件和土壤理化性质以及作物后期的补偿生长效应可促进玉米获得较高籽粒产量。穗数、穗粒数、百粒重是构成玉米籽粒产量的三大重要因素,三者之间的协调发展是实现高产的基础。本研究表明地膜利用方式对玉米产量构成因素无显著影响,而在灌水水平间存在显著差异,于爱忠等[16]研究表明,覆盖条件下随灌水量的

增加产量构成因素增大,与本研究结果一致。覆膜免耕在中、高灌水处理下较传统耕作覆膜提高了单位面积穗数、百粒重,并且其平均土壤含水量较传统覆膜高。通径分析结果进一步说明,单位面积穗数、百粒重是影响籽粒产量的原因,因此保持产量构成因素间协调的同时提高土壤含水量是覆膜免耕玉米实现高产的基础。因此,在干旱灌区地膜玉米大量种植的区域,采用免耕地膜利用方式配以中灌溉水平的灌溉制度,能够较好地协调产量构成,获得较高的籽粒产量,达到节本、增效的目的,且可有效降低亏缺灌水对作物籽粒产量造成的损失。

4 结 论

覆膜免耕玉米在吐丝期之前的群体生长率和干物质积累量较传统耕作覆膜处理降低了 45.9% 和 32.4%,但吐丝期之后群体生长率显著高于传统耕作覆膜,表现出较强的生长补偿效应,至成熟期获得与传统耕作覆膜处理相当的干物质积累量。不同灌水水平下覆膜免耕较传统耕作覆膜处理显著提高了单位面积穗数和百粒重,平均提高 13.4% 和 6.6%,并由此使产量提高 5.4%。说明覆膜免耕处理生育后期的补偿生长可提高单位面积穗数和粒重进而获取高产,在减量灌水水平下可减缓干旱胁迫,具有提高作物水分利用效率的潜力,是干旱缺水地区理想的玉米栽培技术。

参 考 文 献:

[1] 贾志红,易建华,孙在军.不同覆盖物对烤烟根温及生长和生理特性的影响[J].应用生态学报,2006,17(11):2075-2078.

[2] 徐剑,赵经华,黄红建,等.不同灌水定额对膜下滴灌玉米生长指标及产量的影响[J].节水灌溉,2017,(1):28-32.

[3] Wu Y, Huang F Y, Jia Z K,et al. Response of soil water, temperature, and maize (*Zea may* L.) production to different plastic film mulching patterns in semi-arid areas of Northwest China[J]. Soil & Tillage Research, 2017, 166: 113-121.

[4] 齐智娟,冯浩,张体彬,等.覆膜耕作方式对河套灌区土壤水热效应及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2016,32(20):108-113.

[5] Choudhary V K, Bhambri M C, Pandey N. Effect of drip irrigation and mulches on physiological parameters, soil temperature, picking patterns and yield in capsicum (*Capsicum annuum* L.)[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2012, 58(3): 277-292.

[6] 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.

[7] 余海英,彭文英,马秀,等.免耕对北方旱作玉米土壤水分及物理性质的影响[J].应用生态学报,2011,22(1):99-104.

[8] 高亚军,李生秀.旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J].农业工程学报,2005,21(7):15-19.

[9] 黄智鸿,王思远,包岩,等.超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J].玉米科学,2007,15(3):95-98.

[10] 殷文,冯福学,赵财,等.小麦秸秆还田方式对轮作玉米干物质累积分配及产量的影响[J].作物学报,2016,42(5):751-757.

[11] 马兴祥,陈雷,王鹤龄,等.灌水量对制种玉米干物质积累及产量性状的影响[J].中国农学通报,2014,30(9):180-185.

[12] 赵财,陈桂平,柴强,等.不同灌水水平下少耕地膜覆盖对玉米农田土壤温度和水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2017,30(1):152-157.

[13] 高翔,龚道枝,顾峰雪,等.覆膜抑制土壤呼吸提高旱作春玉米产量[J].农业工程学报,2014,30(6):62-70.

[14] 殷文,陈桂平,柴强,等.前茬小麦秸秆处理方式对河西走廊地膜覆盖玉米农田土壤水热特性的影响[J].中国农业科学,2016,49(15):2898-2908.

[15] 张明君,李玲玲,谢军红,等.耕作方式与施肥对旱农区粮饲兼用玉米耗水特性和干物质积累的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(1):179-185.

[16] 于爱忠,柴强.供水与地膜覆盖对干旱灌区玉米产量的影响[J].作物学报,2015,41(5):778-786.

[17] Stanger T F, Lauer J G. Corn grain yield response to crop rotation and nitrogen over 35 years[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(3): 643-650.

[18] Khalili M, Naghavi M R, Aboughadareh A P, et al. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L)[J]. International Journal of Agronomy and Plant Production, 2013, 4(4): 809-812.

[19] 张雷,牛建彪,张成荣,等.旱地玉米双垄全膜覆盖“一膜用两年”免耕栽培模式研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):8-11.

[20] 赵财,柴强,冯福学,等.不同灌水水平下一膜两年覆盖间作农田耗水特征及经济效益研究[J].中国生态农业学报,2016,24(6):744-752.

[21] Liu C A, Jin S L, Zhou L M,et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31: 241-249.