

免耕旧膜再利用对玉米产量及灌溉水生产力的影响

苏永中, 张珂, 刘婷娜, 王婷

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽内陆河流域研究站/中国科学院内陆河流域重点实验室, 甘肃兰州 730000)

摘要:在河西走廊中段边缘绿洲安排田间试验,明确保护性耕作地膜再利用栽培对玉米产量及灌溉水生产力的影响,探讨降低农田残膜污染、节本增效和可持续土地利用的耕作栽培管理方式。试验涉及3种不同质地与肥力水平的土壤,设3个处理:(1)传统耕作与冬灌、覆新膜栽培(NM);(2)免耕少冬灌、旧膜直播(RM);(3)免耕少冬灌、旧膜直播行间秸秆覆盖(RMS)。结果表明,在玉米播种后至拔节期前,日平均土壤温度2个免耕旧膜直播处理较传统覆新膜处理仅低0.6~1.0℃(5cm土层)和0.5~0.8℃(15cm土层),表明旧膜直播仍具地膜覆盖提高地温的效应。玉米产量免耕旧膜直播较覆新膜降低4.4%~10.6%,但节省了耕作和地膜投入,收益增加。免耕旧膜直播结合秸秆覆盖栽培方式玉米产量与新覆膜栽培持平,净收入提高12.5%~17.1%。免耕旧膜直播栽培减少了冬灌量,灌溉水生产力提高。土壤质地与肥力水平对作物吸氮量、灌溉水生产力影响显著。在水资源紧缺的干旱区绿洲,适时进行保护性耕作地膜再利用栽培技术是节本增效、土地可持续利用的一种选择。

关键词:地膜再利用;免耕;玉米产量;灌溉水利用率;绿洲农田

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-6819(2016)05-0491-08 **doi:**10.13254/j.jare.2016.0055

引用格式:

苏永中, 张珂, 刘婷娜, 等. 免耕旧膜再利用对玉米产量及灌溉水生产力的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(5): 491-498.

SU Yong-zhong, ZHANG Ke, LIU Ting-na, et al. Effects of No-tillage Combined with Reused Plastic Film Mulching on Maize Yield and Irrigation Water Productivity[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(5):491-498.

Effects of No-tillage Combined with Reused Plastic Film Mulching on Maize Yield and Irrigation Water Productivity

SU Yong-zhong, ZHANG Ke, LIU Ting-na, WANG Ting

(Linze Inland River Basin Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Eco-Hydrology in Inland River Basin, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: A field experiment was conducted to determine the effects of reused plastic film mulching and no-tillage on maize yield and irrigation water productivity(IWP) in the marginal oasis in the middle of Hexi Corridor region of northwestern China. The aim is to provide an alternative tillage and cultivation pattern for reducing plastic film pollution, saving cost and increasing income, and improving resource use efficiency. The field experiment was carried out in three soils with different textures and fertility levels. Three treatments for each soil were set up: (1)conventional tillage, winter irrigation, and new plastic mulching cultivation(NM); (2)no tillage, less winter irrigation and reused plastic mulching cultivation(RM); (3)no tillage, less winter irrigation and reused plastic mulching combined with straw mulching(RMS). The results showed that the average daily soil temperature in the two reused plastic mulching treatment(RM and RMS) during maize sowing and elongation stage was lower 0.6~1.0℃(5cm depth) and 0.5~0.8℃(15cm depth) than that in the NM. This result suggested that no tillage and reused plastic mulching cultivation still had the effect of increasing soil temperature. Maize grain yield in the RM was reduced by 4.4%~10.6% compared with the conventional cultivation(NM), while the net income increased due to saving in plastic film and tillage expenses. There was no significant difference in maize grain yield between the RMS and NM treatment, but the net income in the RMS was increased by 12.5%~17.1% than that in the NM. Compared with the NM, the two reused plastic film mulching treatments (RM and RMS) decreased the volume of winter irrigation, but maize IWP increased. Soil texture and fertility level affected significantly maize nitrogen uptake and IWP. In the arid oases with the shortage of water resources, cultivation practices of conservation tillage with recycle of plastic film is an ideal option for saving cost and increasing income, and improving irrigation water productivity.

Keywords: recycle of plastic film; no tillage; maize yield; irrigation water productivity; oasis farmland

收稿日期:2016-03-11

基金项目:国家自然科学基金(91425302, 41401337)

作者简介:苏永中(1966—),男,甘肃古浪人,博士,研究员,主要从事干旱区土壤学与绿洲农业生态学研究。E-mail: suyzh@lzb.ac.cn

地膜覆盖栽培能够有效提高土壤温度、降低土壤蒸发、保持土壤水分、促进养分吸收、抑止农田杂草生长,进而大幅度提高作物产量和品质^[1-3]。但聚乙烯地膜的持续利用,由于其难降解性以及残留膜清理的费时费工和不易操作性,导致覆膜土壤及农田环境的污染问题日益突出^[1,4]。生物降解膜的应用有很好的前景,但在短期内仍无法替代聚乙烯地膜^[1]。近年来一些区域尝试旧膜再利用(一年覆膜两年利用)保护性耕作栽培技术,为有效降低地膜使用量、减少地膜污染提供了一种模式^[5-7]。一些田间试验表明,旧膜再利用免耕栽培技术较不覆膜栽培有显著的保水、增产效应,与传统新覆膜栽培比较,也未表现出明显的减产。在内蒙古河套地区的研究显示,地膜覆盖种植玉米第二年,利用旧膜种植向日葵(*Helianthus annuus*),其茎粗、盘径、地上部生物量均显著高于露地栽培,籽粒产量增加 11.4%~16.8%;与新膜覆盖栽培相比,向日葵产量降低 2.6%~3.4%,并无显著差异^[5]。在甘肃定西地区,全膜双垄沟播玉米收获后,保护旧膜,第二年免耕直播胡麻(*Linum usitatissimum* L.),产量较不覆膜栽培增加 10.1%,但较免耕覆盖新膜产量降低 9.7%^[7]。前茬作物覆膜栽培收获后,免耕保护旧膜留至翌年,仍具有一定的增温保墒、促进土壤养分供应等作用^[7],与不覆膜栽培比较,旧膜免耕栽培能够有效促进作物出苗及幼苗生长、加速作物各生育期干物质积累^[6,8]、提高水分利用效率^[7-8]。尽管近年来一些试验对旧膜再利用的增温保墒效果、对作物生长发育、生理指标及产量效应进行了研究^[5-9],实践中也在一些区域进行了示范应用。但地膜的再利用不仅是覆盖措施的变化,也是对耕作、施肥、灌溉等一系列农田管理方式的改变。因此,进一步完善地膜再利用技术体系,仍需进行系统的研究。

农业生产以玉米制种为主导的甘肃河西走廊张掖绿洲,是国内地膜用量较大的区域之一。近十几年来,地膜制种玉米的连续种植,在大幅提高农户收益的同时,也导致区域农田生态系统结构单一、多样性缺失,以及地膜残留及农田环境污染问题日益凸显,长期连作也存在土壤质量退化的隐患。另外,对于水资源紧缺的干旱区河西绿洲,通过水资源的合理配置和高效利用、以及种植结构的优化,发展节水生态农业是绿洲可持续发展的根本途径,对此已成共识^[10]。河西绿洲传统的耕作方式,在玉米收获后进行秋耕冬灌,实现土壤储水,便于翌年春季播种。但一方面土地翻耕后冬灌,需水量巨大,特别是边缘绿洲新垦的

沙质农田,大部分冬灌水淋溶至根系分布层以下,同时造成养分的淋失;冬春季节多风干燥的气候也使耕层土壤水分难以保持,大部分区域在春季播种时仍需进行灌溉,是河西绿洲农田水分利用效率低下的原因之一。张掖绿洲已成为重要的玉米制种基地,地膜制种玉米的连作在短期内很难改变,如何将节水生态农业模式中的高效栽培技术应用于连作的地膜玉米农田,提高资源利用效率、降低农田污染,是实现绿洲农田生态系统良性循环的重要措施。在地膜玉米连续种植的情形下,能否通过耕作、覆盖等管理方式的改变,如应用地膜再利用免耕栽培方式减少地膜应用、通过免耕方式减少冬灌量实现区域节水、结合秸秆覆盖等技术,实现节本增效和可持续的土地利用。本研究通过不同质地土壤的田间试验,研究地膜再利用免耕栽培方式对玉米产量、灌溉水生产力、氮素利用的影响,为区域农田资源高效利用和节水生态农业发展提供技术模式。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验安排在甘肃河西走廊中段临泽北部边缘绿洲中国生态系统研究网络站——临泽内陆河流域研究站(39°24'N,100°21'E,海拔 1 350 m)。所在区域为近几十年来由老绿洲向荒漠扩展的新垦绿洲,绿洲外围为沙漠和戈壁。该区域为典型的荒漠气候,多年平均降水量为 116.8 mm,年蒸发量 2 390 mm,年均气温 7.6 °C,无霜期 165 d。近年来,该区域主要种植制种玉米,农作物生产主要依赖于灌溉和高量的化肥投入,近年以地下水为主要灌溉用水,采用传统耕作方式:作物收获后,进行翻耕,11 月份进行冬灌,第二年开春,耙耱整地后施基肥、覆膜、播种、灌溉^[11]。

1.2 试验设计

田间试验涉及 3 种不同质地与肥力水平的土壤:土壤类型为灌溉风砂土和灌漠土,按质地分为砂土(S1)和砂壤土(S2,S3),剖面耕层土壤粒级组成及有机质和养分含量见表 1。每种土壤有 9 个小区,小区面积 20 m²(4 m×5 m),小区之间 0~100 cm 深度由隔水材料分隔,小区中间埋设有中子管。试验地地下水位波动在 3.8~5.0 m,随灌溉用水时期而波动。2013 年覆膜种植棉花^[12]。2013 年 10 月下旬棉花收获后进行了试验的前处理:每种土壤选择 3 个小区进行常规耕作翻地,3 个小区将秸秆移出、免耕作,其余 3 个小区将秸秆保留到第二年播种时收割并覆盖于玉米种植

表1 试验地土壤理化性状

Table 1 Soil physical and chemical properties of the experiment fields

土壤 Soil	土层 Soil layer	砂粒 Sand/%	粉粒 Silt/%	粘粒 Clay/%	容重 BD/g·cm ⁻³	有机质 SOM/g·kg ⁻¹	全氮 Total N/g·kg ⁻¹	全磷 Total P/g·kg ⁻¹	全钾 Total K/g·kg ⁻¹	田间持水量 FWC/%
S1	0~20	65.5	18.2	16.3	1.49	7.62	0.41	0.43	17.4	20.4
	20~40	76.7	11.5	11.8	1.55	5.74	0.26	0.33	17.4	19.6
	40~60	87.6	4.9	7.5	1.55	3.34	0.08			
	60~80	91.8	2.3	5.8	1.56	2.32	0.10			
	80~100	92.3	2.1	5.6	1.56	1.80	0.08			
S2	0~20	57.8	24.4	17.8	1.39	10.28	0.63	0.56	18.3	22.3
	20~40	55.4	26.3	18.3	1.44	6.72	0.39	0.42	16.6	21.2
	40~60	72	14.7	13.3	1.45	7.12	0.43			
	60~80	85.1	5.5	9.4	1.55	3.21	0.20			
	80~100	90.8	2.6	6.7	1.56	2.82	0.14			
S3	0~20	54.1	27.7	18.2	1.39	12.23	0.78	0.62	18.3	26.2
	20~40	50.6	27.7	21.7	1.44	8.74	0.51	0.50	17.4	26.8
	40~60	55.1	26.7	18.2	1.49	7.48	0.59			
	60~80	76.5	11.5	12	1.55	6.52	0.30			
	80~100	90.3	3.0	6.7	1.56	2.56	0.15			

行间;11月中旬对所有小区进行不同灌溉量的冬灌处理,对翻耕处理,按当地农户冬灌量进行灌溉。2014年4月中旬整地覆膜,每种土壤设3个处理(表2),每个处理3次重复,随机排列。

1.3 农田管理

覆盖与播种:2014年4月17—18日覆膜播种,玉米品种为高台隆丰种业提供的隆丰9号,所用膜为黑色地膜,膜宽70cm;覆膜宽为60cm,覆膜间距40cm,播种时一膜两行,玉米行距40cm,株距25cm。RM、RMS处理在旧膜上直播,RMS处理将收获的秸秆覆盖于两膜之间。

施肥:施肥量为N-P₂O₅-K₂O:300-150-150kg·hm⁻²,所用化肥为尿素(含N量460g·kg⁻¹)和史丹利复合肥(N-P₂O₅-K₂O含量为18%-18%-18%),P、K肥全部在播种时基施,50%的N肥作基肥,其余分2次分别在拔节期和孕穗期追施。基肥NM处理在播种前整地时施于膜下,RM和RMS处理在播种前开沟施于膜两侧。

灌溉:不同处理之间冬灌和播种时灌溉量不同,

在生育期每次灌水量一致;不同土壤持水性能的差异导致灌溉间隔期和灌溉次数不同,在玉米生育期,每次灌溉时间的确定依据土壤含水量和玉米叶片萎蔫程度确定,灌水量用灌水管末端的水表控制计量。不同土壤不同处理灌溉次数和灌溉量见表3。

1.4 农田观测

土壤温度观测:利用便携式数字温度计在播种后至收获前间隔10d测定5cm和15cm土层地温,每次测定时间为8:00、12:00和18:00,日平均地温为3个时间测定的平均值。

土壤水分观测:对每种质地土壤,在玉米叶片发生萎蔫后,用中子管测定土壤含水量,在玉米叶片连续发生萎蔫、0~40cm土层含水量低于田间持水量的50%以下,进行灌溉。

1.5 收获计产

2014年9月30日进行收获,在每个小区选取中间两行(5m²)进行收获计产,并随机选取10株玉米进行考种,测定株高、穗长、穗粒数和百粒重,并取秸秆和籽粒样在60℃下烘干、粉碎,用元素分析仪

表2 田间试验处理

Table 2 Field experiment treatment

处理 Treatment	农田管理 Farmland management
(1)常规耕作与冬灌、覆新膜播种(NM)	收获后进行常规耕作、冬灌,翌年整地覆新膜播种。
(2)免耕少冬灌、旧膜直播(RM)	收获后移出秸秆、免耕保护旧膜、减少冬灌量50%,翌年在旧膜上播种。
(3)免耕少冬灌旧膜直播、行间覆盖秸秆(RMS)	收获时保留秸秆保护旧膜、免耕、减少冬灌量50%,翌年秸秆收获后覆盖于玉米种植行间,在旧膜上直接播种。

表 3 不同土壤与处理的灌溉量

Table 3 Irrigation volume in the three soils under different treatments

土壤 Soil	处理 Treatment	冬灌量/m ³ ·hm ⁻²	播种后灌溉量/m ³ ·hm ⁻²	生育期灌溉次数	生育期灌溉量/m ³ ·hm ⁻²	总灌溉量/m ³ ·hm ⁻²
S1	NM	2 250	750	7	7 350	10 350
	RM	1 125	1 050	7	7 350	9 525
	RMS	1 125	1 050	7	7 350	9 525
S2	NM	2 250	750	5	5 250	8 250
	RM	1 125	1 050	5	5 250	7 425
	RMS	1 125	1 050	5	5 250	7 425
S3	NM	2 250	750	4	4 200	7 200
	RM	1 125	1 050	4	4 200	6 375
	RMS	1 125	1 050	4	4 200	6 375

(Elementar Micro cube, Germany)测定氮含量。

玉米灌溉水生产力(kg·m⁻³)=玉米产量(kg)/总灌水量(m³)^[13];氮内在利用效率(kg·kg⁻¹)=玉米籽粒产量/玉米总吸氮量;氮收获指数(%)=籽粒吸氮量/(籽粒吸氮量+秸秆吸氮量)^[14]。

1.6 数据处理

试验数据采用 SPSS 软件进行方差分析及显著性检验。由于不同土壤所需的灌溉量及作物产量有显著差异^[1],统计分析时只对不同土壤分别进行处理间的单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜与耕作处理对地温的影响

3 种不同粒级组成的土壤(S1、S2、S3)整个生长期土壤日平均温度均为覆新膜处理(NM)略高于两个免耕旧膜覆盖处理(RM、RMS),但差异并不明显(图

1)。处理间地温差异在玉米生长前期(拔节期前)较后期大。3 种土壤平均不同处理之间 5 cm 土层日平均土壤温度在玉米拔节期前 NM 处理较 RM 和 RMS 处理分别高 1.0 ℃和 0.6 ℃,15 cm 土层平均分别高 0.8 ℃和 0.5 ℃。处理间表层土壤温度的差异砂土(S1)较砂壤土(S2 和 S3)更为明显。行间覆盖秸秆处理(RMS)与 RM 处理之间地温并无差异。

2.2 不同覆膜与耕作处理对玉米生长及产量的影响

由表 4 可知,与覆新膜处理(NM)比较,旧膜再利用结合行间秸秆覆盖处理(RMS),玉米产量基本持平(砂壤土 S2 和 S3)或下降 5.9%(砂土 S1),差异不显著;RM 处理玉米产量较 NM 处理下降幅度为 4.4%(S3)~10.6%(S1),差异显著。RM 和 RMS 处理之间玉米产量也有显著的差异。茎干生物量砂土(S1)NM 处理显著高于 RM 和 RMS 处理,但砂壤土(S2)不同覆膜各处理之间差异不显著;S3 覆新膜处理(NM)和

表 4 不同处理的玉米产量、生物量及灌溉水生产力

Table 4 Maize yield, biomass and irrigation water productivity(IWP) of different treatments

土壤 Soil	处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield/kg·hm ⁻²	茎干生物量 Straw biomass/kg·hm ⁻²	株高 Height/cm	穗长 Ear length/cm	穗粒数 Number of grain per ear	百粒重 Hundred grain weight/g	玉米灌溉水生产力 IWP/kg·m ⁻³
S1	NM	9 956±231a	5 772±350a	221.7±3.5a	20.6±0.8a	282.0±6.6a	34.5±1.9a	0.96±0.02a
	RM	9 003±289b	4 398±238b	213.3±3.7a	19.4±1.2a	234.1±27.1a	33.7±2.5a	0.95±0.03a
	RMS	9 402±262a	4 768±524b	215.1±3.5a	19.7±0.3a	267.0±33.2a	32.5±2.1a	0.99±0.03a
S2	NM	10 770±264a	6 420±567a	237.6±1.3a	21.0±0.7a	273.7±15.4a	33.6±1.2a	1.31±0.03b
	RM	9 865±290b	5 807±782a	234.1±5.6a	20.0±0.7a	267.7±8.1a	32.7±3.6a	1.28±0.04b
	RMS	10 677±815a	6 607±194a	228.5±5.4a	21.1±1.5a	265.7±20.2a	34.8±2.9a	1.44±0.06a
S3	NM	11 842±304a	10 167±192a	257.7±6.5a	20.9±1.6a	273.7±27.1a	35.5±2.1a	1.64±0.04c
	RM	11 338±190b	9 226±537b	251.7±9.9a	20.7±0.6a	260.7±9.0a	33.8±0.4a	1.78±0.03b
	RMS	11 843±135a	10 237±51a	248.6±6.1a	20.7±1.6a	274.3±25.5a	35.7±2.2a	1.86±0.01a

注:表中不同字母表示同一土壤不同处理之间玉米产量、生物量及灌溉水生产力的差异显著性(P<0.05)。

Note: Different letters show significant differences(P<0.05) in yield of maize, biomass and IWP between the three treatments in the same soil.

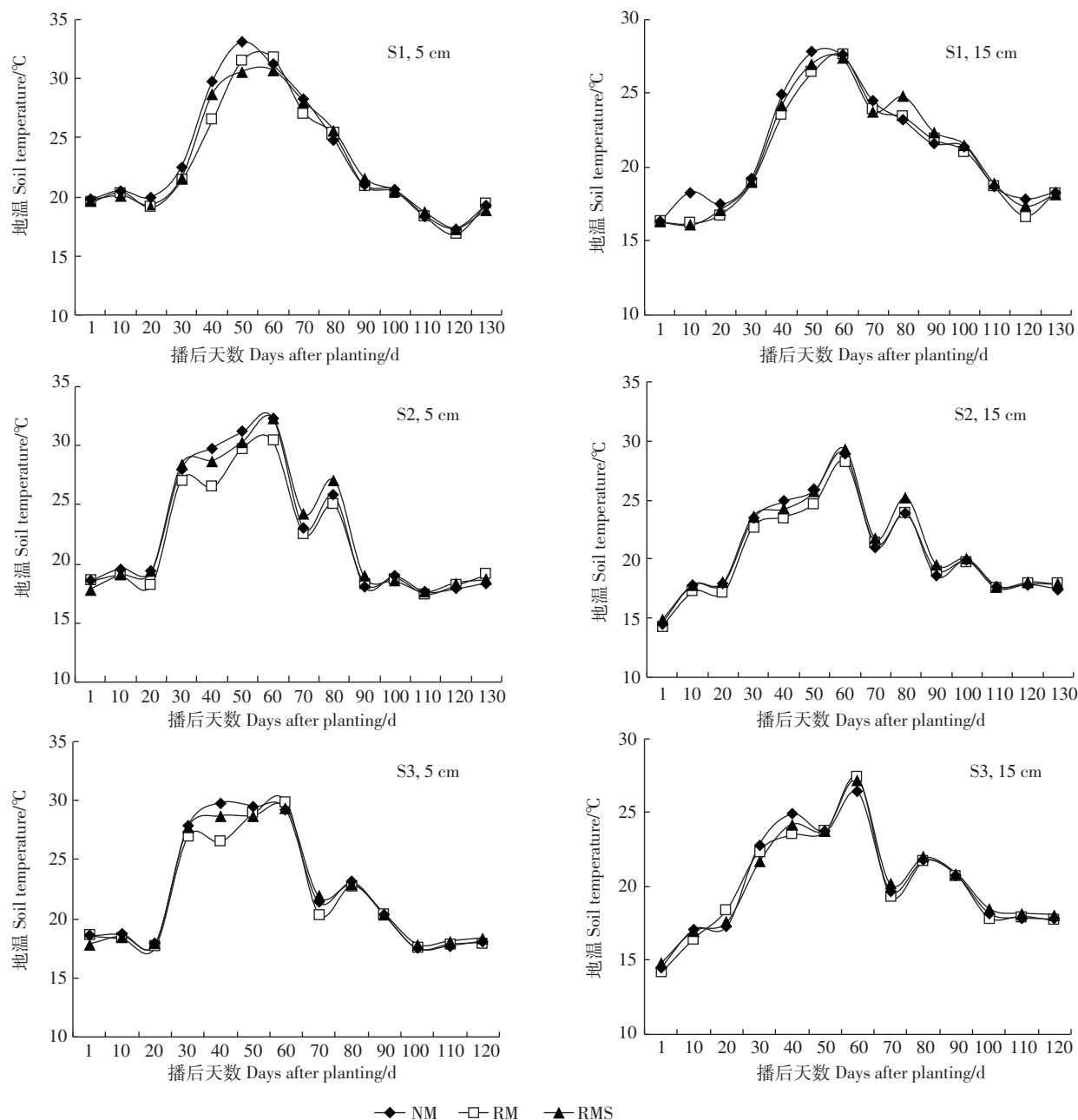


图 1 不同土壤不同覆膜处理下玉米生育期土壤温度变化

Figure 1 Changes in soil temperature during maize growing period in different treatments under different soils

RMS 处理之间茎干生物量差异不显著, 但两者显著高于 RM 处理。玉米株高及产量构成因素穗长、穗粒数、百粒重不同处理之间差异不显著。

2.3 不同覆盖处理对玉米灌溉水生产力及氮素吸收利用的影响

从表 4 可知, 玉米灌溉水生产力(IWP)介于0.95~1.86 kg·m⁻³, 土壤肥力水平越高, 灌溉水生产力越高。玉米 IWP, 砂土(S1)不同处理间差异不显著, 砂壤土(S2)RMS 处理显著高于 NM 和 RM 处理, RM 和 NM

处理没有显著差异; 肥力水平最高的砂壤土(S3), 不同处理间差异显著, RMS 处理 IWP 最高。

由表 5 可知, 砂土(S1)玉米籽粒和茎干含氮量各处理间差异不显著, 但总吸氮量覆新膜处理(NM)高于两个旧膜覆盖的处理。砂壤土(S2)籽粒含氮量 NM 处理显著高于 RM 和 RMS 处理, 而茎干含氮量为 RMS 处理高于 NM 和 RM 处理, 总吸氮量 NM 和 RMS 处理显著高于 RM 处理, NM 和 RMS 处理间无显著差异。

砂土(S1)的 N 内在利用效率 RMS 处理显著高于 NM 处理,但氮收获指数处理间差异不显著;砂壤土(S2)N 内在利用效率和氮收获指数处理之间差异均不显著;肥力水平最高的砂壤土(S3), N 内在利用效率和氮收获指数均为 RM 处理最高,NM 处理最低,差异显著,而 RMS 处理与其余两个处理差异均不显著。

2.4 不同覆盖处理的投入与产出分析

投入产出分析(表 6),传统耕作栽培方式(NM)较免耕旧膜再利用栽培(RM 和 RMS)每 hm^2 增加产出 1 008~1 906 元;但由于 RM 和 RMS 处理降低了冬灌量,节省了地膜和耕作费用,其净收入较 NM 处理每 hm^2 分别增加 877~1 775 元和 1 675~2 785 元,增加幅度分别为 6.4%~10.2%和 12.5%~17.1%。

3 讨论

地膜覆盖栽培提高土壤温度、保持土壤水分、促进养分吸收,进而提高作物产量^[1]。本试验结果表明,旧膜再利用处理,玉米全生育期耕作层日平均土壤温度较新覆膜处理仅降低 0.6~1.0 $^{\circ}\text{C}$,其温度的差异主要在玉米拔节期前。史建国等^[6]在内蒙古河套地区的试验表明,旧膜再利用种植向日葵在播种到苗期耕层土壤温度较露地栽培高 2.2~5.2 $^{\circ}\text{C}$,较覆新膜低 0.3~1.3 $^{\circ}\text{C}$,在苗期以后旧膜与新膜保温增温效果并无差异。说明在地膜覆盖一季作物后,在冬季进行有效保护,第二年继续利用仍具有地膜覆盖的增温效果。但秸秆覆盖并无增温效应,甚至在玉米生长的大部分时间其温度低于不覆盖秸秆的处理,这与 Subrah-

表 5 不同处理的玉米氮吸收

Table 5 Maize nitrogen (N) uptake under different treatments

土壤 Soil	处理 Treatment	籽粒氮含量 N concentration in grain/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	茎干氮含量 N concentration in straw/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	籽粒氮吸收 Grain N uptake/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	茎干氮吸收 Straw N uptake/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	氮总吸收 Total N uptake/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	氮内在利用效率 Internal N use efficiency/ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	氮收获指数 N harvest index/ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
S1	NM	13.2±0.6a	5.7±0.4a	131.1±8.5a	34.5±5.2a	165.6±10.0a	60.9±2.5b	0.80±0.01a
	RM	12.4±0.7a	6.6±1.0a	111.6±8.0b	29.1±4.0a	140.7±4.3b	64.0±1.1ab	0.79±0.03a
	RMS	12.0±0.1a	5.9±0.5a	112.8±2.7b	32.8±1.9a	145.6±7.9b	66.7±2.0a	0.80±0.03a
S2	NM	14.1±0.3a	8.3±0.2b	152.3±1.5a	53.1±3.6ab	205.3±3.9a	52.5±2.1a	0.74±0.02a
	RM	14.0±0.6b	8.7±0.4b	128.5±1.6b	50.5±4.5b	179.0±3.0b	51.2±0.9a	0.72±0.02a
	RMS	13.9±0.6b	9.0±0.1a	148.3±9.4a	59.5±2.3a	207.8±10.3a	51.3±1.8a	0.72±0.01a
S3	NM	16.3±0.5a	9.9±0.7b	192.8±1.6a	100.2±7.8a	292.9±7.3a	40.5±1.7b	0.66±0.02b
	RM	15.6±0.5b	8.8±0.7c	176.7±7.2b	80.7±4.0b	257.4±10.7b	44.1±1.6a	0.69±0.01a
	RMS	15.0±0.3b	10.0±0.3a	177.6±3.4b	102.3±3.3a	279.9±1.5a	42.3±0.3ab	0.63±0.02ab

注:表中不同字母表示同一土壤不同处理之间玉米氮吸收及氮内在利用率的差异显著性($P<0.05$)

Note: The different letters show significant differences($P<0.05$) in maize nitrogen uptake and internal N use efficiency between the three treatments in the same soil.

表 6 不同处理的投入产出

Table 6 Analysis of input and output under different treatments

土壤 Soil	处理 Treatment	产量 Maize yield/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	产出 Output/ $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$	投入 Input/ $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$					合计 Total	净收入 Net income/ $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$
				种子 Seed	化肥 Fertilizer	农膜 Plastic film	耕作 Tillage	灌溉用水 Irrigation		
S1	NM	9 956	19 912	792	2 022	900	1 800	1 035	6 549	13 363
	RM	9 003	18 006	792	2 022	0	0	953	3 767	14 240
	RMS	9 402	18 804	792	2 022	0	0	953	3 767	15 038
S2	NM	10 770	21 540	792	2 022	900	1 800	825	6 339	15 201
	RM	9 865	19 730	792	2 022	0	0	743	3 557	16 174
	RMS	10 677	21 354	792	2 022	0	0	743	3 557	17 798
S3	NM	11 842	23 684	792	2 022	900	1 800	720	6 234	17 450
	RM	11 338	22 676	792	2 022	0	0	638	3 452	19 225
	RMS	11 843	23 686	792	2 022	0	0	638	3 452	20 235

注:2014 年玉米价格按每公斤 2.0 元计。

Note: Maize price in 2014 was 2.0 yuan· kg^{-1} .

maniyan 等^[15]和 Li 等^[16]研究结果一致。

从玉米产量及其生长性状分析,传统的覆新膜(NM)与旧膜利用结合秸秆行间覆盖处理(RMS),其株高、穗长、穗粒数均优于旧膜直播处理,尽管差异不显著,但其叠加效应及氮吸收的差异,RM处理的玉米产量较NM和RMS处理平均降低8.1%和5.7%,差异显著。这主要是地膜覆盖一年后,存在不同程度的破损,其增温、保水效应低于新膜覆盖栽培,导致作物生长进程、干物质积累的降低。但在前茬作物收获后,将秆秸保留,可最大程度的保护地膜,在第二年将秸秆覆盖于玉米行间,可有效降低土壤水分蒸发,提高水分利用效率。闫志利等^[7]在甘肃定西地区的研究也表明,作物收获后在旧膜上覆盖玉米秸秆,翌年除去秸秆免耕播种以及在旧膜上覆一薄层土进行栽培,胡麻产量显著高于旧膜留至翌年免耕播种的处理。因此对前茬作物收获后对旧膜进行有效保护是免耕旧膜再利用栽培技术的重要环节,旧膜利用与秸秆覆盖的结合可以实现资源的高效利用和高产稳产。在冬春季节将部分农作物秸秆保留,对风蚀严重的河西边缘绿洲区,也是降低土壤风蚀的有效措施。

作物对氮的吸收与氮利用效率受多个因素的影响,如施氮量、施肥时期、土壤、灌溉和气候因素等^[14]。本研究表明,玉米对氮的吸收受土壤性状的影响极其明显,对于沙质土壤,粘粉粒含量决定着土壤持水与保肥性能、肥力水平及氮的淋溶损失^[11-12],因此粘粉粒含量与肥力水平较高的砂壤土比砂土有显著高的吸氮量。覆膜与耕作处理对氮吸收也有显著影响,一方面覆新膜后作物生长前期地温高于旧膜直播,促进作物生长,并有利于养分的活化和吸收^[1],另一方面,新膜栽培基肥施于膜下,挥发损失小,免耕旧膜直播将基肥集中施于膜两侧,根系对肥料氮的接触面减少。另外,对砂质土壤,集中施肥可能会加大灌溉引起的氮淋溶损失。氮的内在利用效率在砂壤土(S2)上各处理间差异不显著,在砂土(S1)和砂壤土(S3)上新膜处理(NM)甚至低于旧膜直播(RM)处理,表明覆新膜栽培尽管有较高的氮吸收量,但并未显著提高氮的转化效率,导致氮收获指数NM处理与RM、RMS处理之间差异不显著,在砂壤土(S3)上甚至低于RM处理。土壤性状对氮内在利用效率有显著影响,砂土有最高的氮内在利用效率,表明肥力水平极低的砂土作物对氮的吸收主要来源于肥料氮,而土壤供给的氮极其有限,而随着肥力水平的提升,对砂壤土作物吸收的氮一部分源于土壤^[17]。

在相同的气候条件下,作物灌溉水生产力主要受土壤、灌溉管理以及耕作、施肥等影响^[11-13,18]。本研究玉米灌溉水生产力介于 $0.95\sim 1.86\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,由于持水保水能力的差异,土壤对玉米灌溉水生产力影响显著,与笔者前期的研究一致^[11]。免耕旧膜再利用栽培由于降低了冬灌量,总灌溉量降低8.0%(砂土S1)~11.5%(砂壤土S3),而灌溉水生产力持平和有显著提高。表明在边缘绿洲砂质土壤,通过免耕和保护旧膜减少冬灌量,尽管减少了土壤储水量,但相应地减少了淋溶损失量,旧膜覆盖也减少了冬春季的土壤水分蒸发损失量。因此对于河西边缘绿洲新垦砂质土壤,通过免耕减少冬灌溉量是提高作物灌溉水生产力、实现区域节水的有效途径。

免耕与秸秆覆盖还田也是提升土壤肥力和改善土壤结构的重要措施。在目前农业水管理对策中,越来越强调对土地的管理,通过合理的土壤耕作管理改善土壤结构、培肥土壤,成为提高农田灌溉水生产力最具潜力的途径^[19]。从经济效益分析,免耕旧膜再利用栽培尽管较传统的覆新膜栽培产量有一定幅度的下降,但节省了秋耕和地膜费用,使净收入增加,特别是免耕地膜再利用结合秸秆覆盖,有节本增效的显著效应。

免耕地膜再利用栽培技术改变了传统的灌溉、耕作、施肥方式,从前茬作物收获后残膜的保护到合理施肥,以及与其他措施的结合,其技术体系尚需进一步完善。

4 结论

地膜覆盖一季作物后,在冬春季进行有效保护,第二年继续利用仍具有地膜覆盖提高地温的效果。与新覆膜栽培比较,免耕旧膜直播玉米产量与茎干生物量有一定幅度的下降,但投入降低,净收入增加,灌溉水生产力提高。免耕旧膜利用结合玉米行间秸秆覆盖,可以维持与新覆膜栽培同样的产量水平,净收入和灌溉水生产力显著提高。优化耕作、覆盖和灌溉管理是实现干旱区绿洲资源高效利用、降低环境污染、提高作物产量和灌溉水生产力的有效途径。

参考文献:

- [1] Kasirajan S, Ngouajio M. Polyethylene and biodegradable mulches for agriculture applications: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012, 32: 501-529.
- [2] Miles C, Wallace R, Wszelaki A, et al. Durability of potentially biodegrad-

- able alternatives to plastic mulch in three tomato production regions[J]. *Hort Science*, 2012, 47(9):1270-1277.
- [3] Liu X J, Wang J C, Lu S H, et al. Effects of non-flooded mulching cultivation on crop yield, nutrient uptake and nutrient balance in rice-wheat cropping systems[J]. *Field Crops Research*, 2003, 83: 297-311.
- [4] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269-272.
YAN Chang-rong, MEI Xu-rong, HE Wen-qing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(11): 269-272. (in Chinese)
- [5] 史建国, 刘景辉, 闫雅非, 等. 地膜再利用对河套地区向日葵农艺性状及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(24):157-160.
SHI Jian-guo, LIU Jing-hui, YAN Ya-fei, et al. Effects of re-used plastic film mulching on sunflower agronomic characters and yield in Hetao region[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(24):157-160. (in Chinese)
- [6] 史建国, 刘景辉, 闫雅非, 等. 旧膜再利用对土壤温度及向日葵生育进程和产量的影响[J]. 作物杂志, 2012(1):130-134.
SHI Jian-guo, LIU Jing-hui, YAN Yan-fei, et al. Effects of re-used plastic film mulching on soil temperature and sunflower's growth, development and yield in Hetao area[J]. *Crops*, 2012(1):130-134. (in Chinese)
- [7] 闫志利, 吴兵, 党占海, 等. 农田旧膜再利用方式对胡麻生理指标及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2):197-202.
YAN Zhi-li, WU Bing, DANG Zhan-hai, et al. Effect of treatment patterns of used plastic film in field on oil flax physiological index and yield[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(2):197-202. (in Chinese)
- [8] 吴兵, 高玉红, 赵利, 等. 旧膜再利用方式对旱地胡麻干物质生产及水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1457-1463.
WU Bing, GAO YU-hong, ZHAO Li, et al. Effects of used plastic film disposal patterns on dry matter production and water use efficiency of oil flax in arid areas[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(11): 1457-1463. (in Chinese)
- [9] 艾海舰, 李志熙, 边利军. 地膜再利用对土壤水盐及油菜幼苗生长的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 14-19.
AI Hai-jian, LI Zhi-xi, BIAN Li-jun. Effects of reuse technique of plastic film mulch on soil moisture, soil salt and oil sunflower seedling growth[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(3):14-19. (in Chinese)
- [10] 康绍忠, 栗晓玲, 杨秀英, 等. 石羊河流域水资源合理配置及节水生态农业理论与技术集成研究的总体框架[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(1):1-9.
KANG Shao-zhong, SU Xiao-ling, YANG Xiu-ying, et al. Research frame for reasonable allocation of water resources and water-saving in ecology and agriculture in Shiyanghe river basin[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2005, 16(1):1-9. (in Chinese)
- [11] 苏永中, 杨荣, 刘文杰, 等. 基于土壤条件的边缘绿洲典型灌区灌溉需水研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6):1128-1139.
SU Yong-zhong, YANG Rong, LIU Wen-jie, et al. Irrigation water requirement based on soil conditions in a typical irrigation district in a marginal oasis[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(6): 1128-1139. (in Chinese)
- [12] 苏永中, 杨荣, 杨晓, 等. 不同土壤条件下节水灌溉对棉花产量和灌溉水生产力的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(6):24-33.
SU Yong-zhong, YANG Rong, YANG Xiao, et al. Effects of water-saving irrigation on cotton yield and irrigation water productivity relative to soil conditions[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(6): 24-33. (in Chinese)
- [13] Ali M H, Talukder M S U. Increasing water productivity in crop production: A synthesis[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 1201-1213.
- [14] Peng S, Buresh R J, Huang J, et al. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management: A review[J]. *Agronomy*, 2010, 30: 649-656.
- [15] Subrahmaniyan K, Zhou W J. Soil temperature associated with degradable, non-degradable plastic and organic mulches and their effect on biomass production, enzyme activities and seed yield of winter rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2008, 32: 611-627.
- [16] Li R, Hou X Q, Jia Z K, et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China[J]. *Agriculture Water Management*, 2013, 116: 101-109.
- [17] Ahmadi S H, Andersen M N, Plauborg F, et al. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97: 1923-1930.
- [18] Arora V K, Singh C B, Sidhu A S, et al. Irrigation, tillage, and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture[J]. *Agricultural Water Management*, 2011, 98: 563-568.
- [19] Bossio D, Geheb K, Critchley W. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97: 536-542.