

西北旱区碎麦秸垫式膜上灌对玉米 出苗及产量的影响

张金霞,贾生海,成自勇
(甘肃农业大学工学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:针对西北旱区秸秆覆盖的生态适应性和地膜覆盖的残膜难回收问题,设置了覆盖方式和灌水定额两个主导因素,研究了碎麦秸垫式膜上灌对玉米出苗和产量的影响。覆盖方式设有四个水平:无覆盖(N),秸秆覆盖(S),地膜覆盖(F),碎麦秸垫膜覆盖(SF);灌水定额设有高(H,900 m³·hm⁻²)、中(M,750 m³·hm⁻²)、低(L,600 m³·hm⁻²)三个水平;结果表明:SF明显提高了出苗率和产量,与S相比,出苗率提高了49.50%,子粒产量提高了4 415.79 kg·hm⁻²,所以SF使解决秸秆覆盖在西北旱区的出苗低和产量低等问题有了可能。从产量方面来看,最佳组合为FL,SFM,分别可将灌水定额降至L(600 m³·hm⁻²)和M(750 m³·hm⁻²)水平,这凸显了SF和F的节水增产效果。SF中的碎麦秸有利于土膜剥离回收,解决了地膜覆盖中残膜难回收的环境问题。

关键词:碎麦秸垫膜覆盖;膜上灌;玉米;出苗率;产量
中图分类号: S513.048;S275.3 **文献标志码:** A

Effects of irrigation on film by crushed wheat straw padding to the corn seedling and yield in Northwest Arid Region, China

ZHANG Jin-xia, JIA Sheng-hai, CHENG Zi-yong
(Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Pointed at the practical problems about ecological adaptability by straw mulch and residual film difficult recovery by film mulch, set up two dominant factors as mulch mode and irrigation quota, researched the effects of irrigation on film by crushed wheat straw padding to corn seedling and yield. The mulch mode designed as four levels: Without mulch (N), straw mulch (S), plastic film mulch (F) and plastic film mulch by crushed wheat straw padding (SF). The irrigation quota designed as three levels: High (H, 900 m³·hm⁻²), Middle (M, 750 m³·hm⁻²), and Lower (L, 600 m³·hm⁻²). The results showed that: The SF significantly increased the seedling emergence rate and yield, compared with S, the seedling emergence rate was increased 49.50% and the grain yield was increased 4 415.79 kg·hm⁻². So the SF can be possible to solve the problem “Lower emergence rate and low yield” by straw mulch in Northwest Arid Regions, China. From the yield point of view, the best combinations were FL and SFM, which the irrigation quota can be reduced to L(600 m³·hm⁻²) and M (750 m³·hm⁻²), these were highlighted the effects of water-saving and yield-increasing with SF and F. Among the SF, the crushed wheat straw was useful to recover the plastic film stripping from soil and to solve the environmental problem of residual film difficult recovery in film mulching.

Keywords: crushed wheat straw padding plastic film mulch; irrigation on film; corn; seedling emergence rate; yield

近年来,秸秆覆盖在蓄水保墒、培肥土壤、保护环境等方面表现出了其它耕作方式不可替代的作用,产生了良好的社会、经济和生态效益,已成为当前研究的热点^[1-8]。然而,在西北旱区由于秸秆覆盖的“冷环境”导致的出苗率低、产量低等问题仍然没有得到实际有效的解决^[9-11],从而影响了秸秆覆盖技术的推广。因此解决秸秆覆盖的出苗和产量低等问题是西北旱区秸秆覆盖技术需要亟待解决的问题之一。

地膜覆盖技术在现代农业发展中发挥了巨大的作用^[12-16],但在长期使用过程中,塑料地膜残留在土壤中不降解引起土壤肥力下降,造成了严重的污

收稿日期:2015-04-29
基金项目:国家自然科学基金项目(51509039);甘肃农业大学工学院青年教师科技创新基金。
作者简介:张金霞(1976—),女,甘肃肃宁人,博士,研究方向为农业节水和灌区荒漠化防治。E-mail:zhangjinxia@gsau.edu.cn。

染问题,从而导致农作物减产^[17-20]。因此,找出有利于残膜回收的方式有利于地膜覆盖技术的持续推广。

研究发现,地膜秸秆二元覆盖有增温、蓄水保墒、肥田改土作用,可明显减少水分散失、提高产量和水分利用效率^[21-26]。在河西绿洲灌区实行带膜还田前景广阔,秸秆粉碎后还田优于整株还田^[27]。碎麦秸垫式膜上灌,是将粉碎后的小麦秸秆加地膜覆盖后,使土壤表面与地膜间形成 1~2 cm 厚的碎麦秸隔层的一种新型膜上灌模式;既有地膜覆盖的增温作用及秸秆覆盖的肥田改土作用,又有双重的蓄水抑蒸保墒效应,也有膜上灌的节水增产效益,更重要的是由于碎麦秸的阻隔作用有利于改善土壤环境和土壤剥离回收,是旱区节水灌溉与保护性耕作中“二元覆盖”结合的创新技术,在灌区具有良好的荒漠化防治效应^[28]。

因此,本文针对西北旱区降雨稀少、蒸发强烈、水资源紧缺、生态环境脆弱、秸秆覆盖产量低等特点,研究西北旱区碎麦秸垫式膜上灌的玉米出苗和产量效应,对实现田间水分高效利用、提高中低产田产量、提高土地生产力和农业综合生产能力都具有十分重要的意义;同时对解决秸秆覆盖引起的“冷环境、出苗率低、产量低”等科学问题具有一定的学术

价值;对解决地膜覆盖引起的残膜回收难的环境问题和利用其提高经济效益之间的矛盾具有重要的实际生产意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在甘肃省水利科学研究院民勤试验基地进行。该试验基地位于民勤县城以北约 13.5 km 处的大滩乡东大村,地理坐标为东经 130°05′,北纬 38°37′,海拔 1 250 m 左右。处于绿洲和腾格里沙漠交界地带,属典型的大陆性荒漠气候。太阳辐射强,多年平均气温 7.8℃,极端最高气温 39.5℃,极端最低气温 -27.3℃,平均湿度 45%,多年平均降水 110 mm,多年平均蒸发量 2 644 mm,蒸发量是降水量的 24 倍。年平均风速 2.2 m·s⁻¹,全年平均扬沙日数 59 d,全年沙尘暴日数 37 d,风大沙多,气候环境十分恶劣,自然灾害频繁。民勤县境内无自产地表水资源,唯一的地表水资源为石羊河。年日照时数 3 028 h,光热资源丰富,≥0℃积温 3 550℃,≥10℃积温 3 145℃,无霜期 150 d,最大冻土深 115 cm。试验区土质 0~60 cm 为粘壤土,60 cm 以下逐渐由粘壤土变为沙壤土,土壤平均容重为 1.54 g·cm⁻³。试验田土壤理化性质见表 1。

表 1 试验田土壤理化性质
Table 1 The soil physical and chemical properties in experimental field

测定项目 Determination items	土层深度 Soil depth/cm					
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120
干容重 Dry bulk density/(g·cm ⁻³)	1.38	1.48	1.56	1.61	1.68	1.54
比重 Specific weight/(g·cm ⁻³)	2.61	2.63	2.62	2.56	2.61	2.61
孔隙率 Porosity/%	49.81	45.94	41.21	38.75	38.63	42.80
田间持水率 Field capacity/%	21.73	22.15	22.87	23.69	24.56	23.00
有机质 Organic matter/%	0.80	0.68	0.57	0.34	0.38	0.39
全氮 Total nitrogen/%	0.063	0.061	0.054	0.023	0.045	0.026
全磷 Total phosphorus/%	0.16	0.12	0.11	0.09	0.10	0.11
全钾 Total potassium/%	1.75	1.75	1.75	1.50	1.50	1.75
碱解性氮/(mg·kg ⁻¹) Alkali-hydrolyzable nitrogen	33.00	23.00	18.60	16.10	11.60	10.50
速效磷 Available phosphorus/(mg·kg ⁻¹)	72.06	7.45	2.98	4.58	3.44	5.38
速效钾 Available potassium/(mg·kg ⁻¹)	180.00	170.00	190.00	120.00	110.00	160.00
pH 值 pH value	8.92	7.45	8.05	7.97	7.79	7.60

1.2 试验内容与方法

为研究碎麦秸垫式膜上灌对玉米出苗和产量的影响,本试验选择覆盖方式和灌水定额两个控制因素,采用双因素完全随机设计试验。覆盖方式设有四个水平:无覆盖(N),秸秆覆盖(S),地膜覆盖(F),碎麦秸垫膜覆盖(SF);灌水定额设有高(H,900 m³·hm⁻²)、中(M,750 m³·hm⁻²)、低(L,600 m³·hm⁻²)三

个水平;形成 4×3=12 个处理水平,重复 3 次,共布设 36 个试验小区,小区面积均为 35 m²(17.5 m×2 m),完全随机排列。各个处理在整个生育期内的灌水次数和灌溉时间相同。为确保出苗条件一致,播种时灌水定额都为 900 m³·hm⁻²。具体试验设计方案如表 2 所示。

供试玉米品种为兴达 3 号,各个小区的底肥量、

播种量、锄草等农艺措施均相同。施底肥:尿素(含 $N\geq 46.3\%$) $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 复合肥 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和磷酸二铵 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。播种深度为 3 cm , 每小区 4 行, 行距 $45\sim 50\text{ cm}$, 株距 20 cm 。

表 2 试验设计
Table 2 Experiment design

处理代号 Treatment code	灌水方法 Irrigation method	灌水定额 Irrigation quota/($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)			覆盖方式 Mulch mode
NH	畦灌 Border irrigation	900	H	无覆盖 No mulch	N
SH	畦灌 Border irrigation	900	H	秸秆覆盖 Straw mulch	S
FH	传统膜上灌 Traditional irrigation on film	900	H	地膜覆盖 Plastic film mulch	F
SFH	碎麦秸垫式膜上灌 Irrigation on film by crushed wheat straw padding	900	H	麦秸垫膜 Plastic film mulch by crushed wheat straw padding	SF
NM	畦灌 Border irrigation	750	M	无覆盖 No mulch	N
SM	畦灌 Border irrigation	750	M	秸秆覆盖 Straw mulch	S
FM	传统膜上灌 Traditional irrigation on film	750	M	地膜覆盖 Plastic film mulch	F
SFM	碎麦秸垫式膜上灌 Irrigation on film by crushed wheat straw padding	750	M	麦秸垫膜 Plastic film mulch by crushed wheat straw padding	SF
NL	畦灌 Border irrigation	600	L	无覆盖 No mulch	N
SL	畦灌 Border irrigation	600	L	秸秆覆盖 Straw mulch	S
FL	传统膜上灌 Traditional irrigation on film	600	L	地膜覆盖 Plastic film mulch	F
SFL	碎麦秸垫式膜上灌 Irrigation on film by crushed wheat straw padding	600	L	麦秸垫膜 Plastic film mulch by crushed wheat straw padding	SF

1.3 观测项目及方法

记录全生育期的灌溉时间、灌水次数、灌溉水量;灌水量由水表控制。从播种开始日常的观测工作,记录播种时间、播种量、出苗情况、出苗数和各生育阶段的进入时间和最终收获时间。收获时,每个小区中随机取 5 株,测定产量,然后估算小区产量。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件和 SPSS 统计软件进行数据处理和分析,方差分析用 Duncan 法比较。

2 结果与分析

2.1 碎麦秸垫膜覆盖对玉米出苗的影响

出苗率是种子破土出苗数和种子总数的百分比。出苗率的高低由种子的质量和种子所在的外部环境决定。为保证初始条件一致,播种时各处理的灌水定额相等,故在此时只考虑覆盖方式单个因素对出苗率的影响。碎麦秸垫式膜上灌对作物出苗率的影响如图 1,可以看出,覆盖方式对玉米出苗率的影响极显著($P<0.01$)。F 的出苗率最高,均值为 88.12% ,SF 的次之,均值为 76.18% ,N 的均值为 62.77% ,S 的均值为 50.96% 。其中,SF 与 N 的差异显著($P<0.05$),与 S 的差异极显著($P<0.01$);SF 的玉米出苗率比 S 的提高了 49.50% ,比 N 的提高

了 21.36% 。F 与 N、S 的差异都达到了极显著水平($P<0.01$);S 与 N 差异显著($P<0.05$)。可见,与秸秆覆盖相比,碎麦秸垫膜覆盖大大提高了玉米出苗率,足可解决在西北旱区秸秆覆盖引起的出苗率低的问题。

2.2 碎麦秸垫式膜上灌对玉米生物产量的影响

覆盖方式和灌水定额对玉米生物产量的影响如表 3 所示。结果表明:覆盖方式对玉米收获时生物产量的主效应极显著($P<0.01$)。对生物产量在覆盖方式的各水平上的均值进行多重比较后,发现覆盖方式各水平上的生物产量差异极显著($P<0.01$),均值大小次序是:F>SF>S>N。F 与 SF 之间差异不显著($P>0.05$),与 N、S 之间差异极显著($P<0.01$),F 的生物产量比 N、S、SF 分别高 $10\,779.77$ 、 $8\,865.29$ 、 $1\,008.59\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;SF 与 N、S 之间差异极显著($P<0.01$),SF 比 N、S 的生物产量分别高 $9\,771.18$ 、 $7\,856.70\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;N 与 S 差异不显著($P>0.05$),N 的生物产量最小,比 S 的生物产量还要低 $1\,914.47\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。另外,在平衡覆盖方式各水平之间效应的前提下,生物产量在灌水定额的各水平上的均值不存在差异($P>0.05$)。虽然 $M>H>L$,但是灌水定额各水平上的生物产量两两之间也没有显著差异($P>0.05$)。

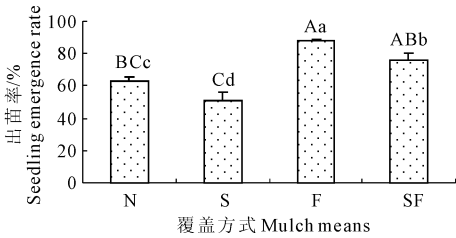


图 1 覆盖方式对玉米出苗率的影响

Fig.1 The effects of mulching mode on seedling emergence rate of corn

方差分析结果表明,覆盖方式与灌水定额的交互作用的显著度 $P<0.01$,说明除了覆盖方式对生物产量存在极显著的单独影响外,在不同覆盖方式和灌水定额水平的组合上还存在极显著的附加影响。SF 与 H、L 间,F 与 H、L 间,S 与 H、L 间、N 与 H、M 间,N 与 H、L 间的 99% 区间无重叠,说明 SFH 与 SFL、FH 与 FL、SH 与 SL、NH 与 NM、NH 与 NL 之

间对生物产量的影响有极显著性差异。SF 和 M 与 SF 和 L、F 和 M 与 F 和 H、F 和 M 与 F 和 L、S 和 M 与 S 和 H、S 和 M 与 S 和 L 的 95% 区间无重叠,说明 SFM 与 SFL、FM 与 FH、FM 与 FL、SM 与 SN、SM 与 SL 之间对生物产量的影响有显著性差异。SFH、FH、SH、NH 的估计值分别为 35 872.92、28 555.84、31 099.07、14 947.32 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。SFM、FM、SM、NM 的估计值分别为 34 115.78、30 484.45、21 667.85、24 570.76 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。SFL、FL、SL、NL 的估计值分别为 25 130.83、39 105.00、18 782.50、26 287.91 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。可见,在不同的灌水定额水平上,覆盖方式之间的生物产量差异是不一样的。仅仅从生物产量方面来看,最佳组合为 FL, SFH 次之,紧跟的是 SFM,即地膜覆盖与灌水定额为 L 的组合最优,碎麦秸垫膜覆盖与灌水定额为 H 的组合次之,然后是碎麦秸垫膜覆盖与灌水定额为 M 的组合。

表 3 覆盖方式和灌水定额对玉米生物产量的影响/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

灌水定额 Irrigation quota/($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)			覆盖方式 Mulch modes			
L	M	H	N	S	F	SF
27618.79Aa	27709.71Aa	27326.56Aa	21935.33Bb	23849.81Bb	32715.10Aa	31706.51Aa

2.3 碎麦秸垫式膜上灌对玉米子粒产量的影响

覆盖方式和灌水定额对玉米子粒产量的影响研究见表 4。结果表明,在平衡灌水定额各水平之间效应的前提下,子粒产量在覆盖方式的各水平上的均值存在极显著差异。覆盖方式各水平上的子粒产量差异极显著 ($P<0.01$),均值大小次序是:F>SF>N>S。F 与 SF 之间差异不显著 ($P>0.05$),与 N、S 之间差异极显著 ($P<0.01$),F 的子粒产量比 N、

S、SF 分别高 4 291.62、5 262.68、846.89 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;SF 与 N、S 之间差异极显著 ($P<0.01$),SF 比 N、S 的子粒产量分别高 3 444.72、4 415.79 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;N 与 S 差异不显著 ($P>0.05$),S 的子粒产量最小,比 N 的子粒产量还要低 971.07 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。灌水定额对子粒产量的主效应不显著 ($P>0.05$),虽然 M>L>H,但是灌水定额各水平上的子粒产量两两之间也没有显著差异 ($P>0.05$)。

表 4 覆盖方式和灌水定额对玉米子粒产量的影响/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

灌水定额 Irrigation quota/($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)			覆盖方式 Mulch modes			
L	M	H	N	S	F	SF
11583.50Aa	12303.68Aa	12104.25Aa	10305.83Bb	9334.76Bb	14597.44Aa	13750.55Aa

方差分析结果还表明,除了覆盖方式对子粒产量存在极显著的单独影响外,在不同覆盖方式和灌水定额水平的组合上还存在极显著的附加影响 ($P<0.01$)。FH 与 FL、SH 与 SL、NH 与 NM、NH 与 NL 之间对子粒产量的影响存在极显著性差异(99% 区间无重叠)。SFM 与 SFL、FM 与 FL 之间对子粒产量的影响有显著性差异(95% 区间无重叠)。SFH、FH、SH、NH 的估计值分别为 14 353.42、13 131.58、11 705.83、7 143.18 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。SFM、FM、SM、NM 的估计值分别

为 15 083.08、13 516.88、9 085.18、11 529.60 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。SFL、FL、SL、NL 的估计值分别为 11 815.16、17 143.87、7 213.27、12 244.70 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。可发现,在不同的灌水定额水平上,覆盖方式之间的子粒产量差异是不一样的。仅仅从子粒产量方面来看,最佳组合为 FL,SFM 次之,然后是 SFH,即地膜覆盖与灌水定额为 L 的组合最优,碎麦秸垫膜覆盖与灌水定额为 M 的组合次之,然后是碎麦秸垫膜覆盖与灌水定额为 H 的组合。

3 结论与讨论

覆盖方式对玉米出苗率的影响极显著 ($P < 0.01$),SF 的玉米出苗率比 S 的提高了 49.50%,比 N 的提高了 21.36%。说明与秸秆覆盖(S)和无覆盖(N)相比,碎麦秸垫膜覆盖(SF)大大提高了玉米出苗率,可解决西北旱区秸秆覆盖引起的出苗率低的问题。

覆盖方式对玉米收获期生物产量、子粒产量的主效应极显著 ($P < 0.01$),均值大小次序是: $F > SF > N > S$;F 与 SF 之间差异不显著 ($P > 0.05$),即碎麦秸垫膜覆盖(SF)与地膜覆盖(F)对玉米产量的影响无差异,SF 与 N、S 之间差异极显著 ($P < 0.01$),比 N、S 的子粒产量分别高 3 444.72、4 415.79 kg·hm⁻²。灌水定额对玉米生物产量、子粒产量的主效应不显著 ($P > 0.05$)。覆盖方式与灌水定额的交互作用对玉米生物产量、子粒产量的显著度 $P < 0.01$ 。仅仅从产量方面来看,最佳组合为 FL、SFH、SFM。

综上,碎麦秸垫膜覆盖(SF)与地膜覆盖(F)在玉米出苗和产量方面同时具有优越性。从玉米产量角度来看,较优的组合为 FL、SFM,分别可将灌水定额降至 L 和 M 水平,凸显了 SF 和 F 的节水增产效果。然而,碎麦秸垫膜覆盖(SF)既有地膜覆盖的增温作用及秸秆覆盖的肥田改土作用,又有双重的蓄水抑蒸保墒效应,也有膜上灌的节水增产效益^[28]。SF 中的碎麦秸阻隔了土壤与膜的直接粘接,这有利于土膜剥离回收,解决了长期以来地膜覆盖中残膜回收难的环境问题和利用其提高经济效益之间的矛盾;同时,碎麦秸有肥田改土作用,再加上秸秆覆盖中麦秸粉碎后优于整株^[27],使得碎麦秸垫膜覆盖(SF)在改善农田土壤环境、防治灌区荒漠化方面有一定的生态效应。另外,SF 中地膜的增温作用改善了秸秆覆盖引起的“冷环境、出苗率低、产量低”等情况,提高了其出苗率和产量。该研究为在西北旱区利用碎麦秸垫膜覆盖技术进行土壤环境改善、灌区荒漠化防治等目标提供了可能。

参 考 文 献:

[1] 梁建财,史海滨,杨树青,等. 秸秆覆盖对盐渍土壤水盐状况及向日葵产量的影响[J]. 土壤通报,2014,45(5):1202-1206.

[2] 张金珠,王振华,虎胆·吐马尔白. 秸秆覆盖对滴灌棉花土壤水盐运移及根系分布的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(12):1467-1476.

[3] Bastian F, Bouziri L, Nicolardot B, et al. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009,41(2):262-275.

[4] 张金霞,施炯林,刘成元. 绿洲灌区留茬覆盖免耕储水灌溉在休闲期的节水效应[J]. 甘肃农业大学学报,2007,42(1):114-118.

[5] 张金霞. 秸秆覆盖免耕储水灌溉对春小麦耗水特征及灌溉水分

利用效率的影响[J]. 中国沙漠,2012,32(5):1501-1506.

[6] Shen J Y, Zhao D D, Han H F, et al. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants[J]. Plant, Soil and Environment – UZEI, 2012,58(4):161-166.

[7] Blanco-Canqui H, Lal R, Post W M, et al. Changes in long-term no-till corn growth and yield under different rates of stover mulch[J]. Agronomy Journal, 2006,98:1128-1136.

[8] 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等. 连续秸秆覆盖对土壤无机氮供应特征和作物产量的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(9):1741-1749.

[9] 张金霞,刘成元,施炯林,等. 河西灌区免耕秸秆覆盖对春小麦播种及出苗的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2006,41(4):31-34.

[10] 张金霞. 黑河流域秸秆覆盖免耕储水灌节水效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2006.

[11] 翟治芬,赵元忠,景 明,等. 秸秆和地膜覆盖下春玉米农田腾发特征研究[J]. 中国生态农业学报,2010,18(1):62-66.

[12] Li R, Hou X, Jia Z, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on soil water, temperature, and maize yield in Loess Plateau region of China[J]. Soil Research, 2012,50(2):105-113.

[13] 卜玉山,李 伟,周秋香,等. 寒旱区地膜覆盖与施肥对土壤作物的效应分析[J]. 中国农学通报,2013,29(3):69-75.

[14] 李援农,刘玉洁,李芳红,等. 膜上灌水技术的生态环境效应研究[J]. 农业工程学报,2005,21(11):60-63.

[15] 毕继业,王秀芬,朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(11):172-175.

[16] 韩丙芳,田军仓,杨金忠. 玉米膜上灌溉条件下土壤水、热运动规律的研究[J]. 农业工程学报,2007,23(12):85-89.

[17] 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.

[18] 何文清,严昌荣,赵彩霞,等. 我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J]. 农业环境科学学报,2009,28(3):533-538.

[19] 刘伟峰,赵满全,田海清,等. 农用地膜带来的环境污染和回收技术的分析研究[J]. 中国农机化,2003,(5):34-36.

[20] Jia R Y, Zhao X G, Huang Z G. Correlative analyses between quantities of microbial populations and soil physicochemical property under different accumulation of soil plastic film[J]. Advanced Materials Research, 2012,610 – 613:3091-3095.

[21] 韩泽华. 玉米生物覆盖技术[J]. 农业技术与装备,2012,(16):60-61.

[22] 杨安中,王 敏,张从宇. 秸秆与地膜二元覆盖对小麦田间生态环境及产量影响[J]. 水土保持学报,2003,17(3):181-183.

[23] 买自珍,程炳文,王 勇,等. 麦草与地膜覆盖对玉米田间生态环境及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(2):66-68.

[24] 张建兵,杨劲松,姚荣江,等. 有机肥与覆盖方式对滩涂围垦农田水盐与作物产量的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(15):116-125.

[25] 王 婧,逢焕成,任天志,等. 地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(15):52-59.

[26] 赵永敢,王 婧,李玉义,等. 秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J]. 农业工程学报,2013,29(23):109-117.

[27] 卢秉林,车宗贤,包兴国,等. 河西绿洲灌区玉米秸秆带膜还田腐解特征研究[J]. 生态环境学报,2012,21(7):1262-1265.

[28] 张金霞. 西北旱区碎麦秸垫式膜上灌的高效用水机理及土壤环境效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.