

灌水量及覆膜对河西地区制种玉米产量的影响

王 婵^{1,2},赵向田^{1,3},李永生^{1,2},郑 荣³,张同祯^{1,2},姚海梅^{1,2},
赵 娟^{1,2},方永丰^{1,2},王汉宁^{1,2*}

(1. 甘肃省作物遗传改良与创新重点实验室/甘肃省干旱生境作物学重点实验室,甘肃 兰州 730070;
2. 甘肃农业大学 农学院,甘肃 兰州 730070; 3. 张掖市农业科学研究院,甘肃 张掖 734000)

摘要:探讨了地膜覆盖方式(全膜覆盖、半膜覆盖和未覆膜)与灌水量[7 050(高)、6 050(中)、5 050 m³/hm²(低)]对制种玉米产量的影响,旨在为河西地区制种玉米节水增效提供理论参考和科学依据。结果表明,覆膜方式、灌水量均对制种玉米产量、双穗率、穗粒数、粒质量及水分利用效率影响显著,二者的互作效应对玉米产量、双穗率、穗粒数、水分利用效率的影响达显著水平,但对粒质量无显著影响。全膜覆盖条件下,高灌水量和中灌水量处理的制种玉米田,产量分别为8 052.5、7 821.4 kg/hm²,分别显著高于半膜覆盖和未覆膜条件下同等灌水量处理,且全膜覆盖中灌水量处理水分利用效率最高,为9.50 kg/(mm·hm²)。全膜覆盖下高、中灌水量和半膜覆盖下高灌水量的双穗率和粒质量显著高于其他各处理。地膜覆盖显著改善了制种玉米生育期内耕层土壤水热状况。通径分析显示,在河西地区,对制种玉米产量因素的影响顺序为:双穗率(直接通径系数1.26)>穗粒数(0.93)>粒质量(0.68)>0~25 cm 土壤温度(0.41)>0~30 cm 土壤含水量(0.35)。由此说明,适宜的地膜覆盖方式与灌水量通过改善土壤水热提高制种玉米的双穗率和粒质量,最终形成较高的制种产量。综合分析认为,全膜覆盖并采用中等灌水量,可作为河西地区制种玉米节水栽培的主要技术措施。

关键词:地膜覆盖;灌水量;制种玉米;产量

中图分类号:S513 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2016)08-0025-06

Effects of Irrigation Quota and Plastic Film Mulching on Yield of Seed Corn in Hexi Area

WANG Chan^{1,2}, ZHAO Xiangtian^{1,3}, LI Yongsheng^{1,2}, ZHENG Rong³, ZHANG Tongzhen^{1,2},
YAO Haimei^{1,2}, ZHAO Juan^{1,2}, FANG Yongfeng^{1,2}, WANG Hanning^{1,2*}

(1. Gansu Key Lab of Crop Improvement & Germplasm Enhancement/Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Lanzhou 730070, China; 2. College of Agronomy, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China;
3. Zhangye Agricultural Science Academy, Zhangye 734000, China)

Abstract: In order to provide theoretical help and scientific basis for sustainable increase of yield of seed corn and production efficiency with high water use efficiency, the effects of different plastic film mulching patterns (full-film, half-film and no mulching) and irrigation quota (7 050, 6 050, 5 050 m³/ha) on the yield of seed corn were studied. The results showed that plastic film mulching patterns and irrigation quotas all had significant effect on seed corn yield, double-ear rate, seed number per ear, seed weight and water use efficiency (WUE). The interactive effect between plastic film mulching patterns and irrigation quotas on seed corn yield, double-ear rate, seed number per ear and WUE except seed weight reached the significant level. The seed corn yield under full-film mulching with high and moderate irrigation quotas

收稿日期:2016-02-20
基金项目:国家星火计划重大项目(2012GA860001);甘肃省创新群体基金项目(1308RJZA005)
作者简介:王 婵(1984-),女,甘肃平凉人,在读硕士研究生,研究方向:玉米育种。E-mail:lele840823@163.com
* 通讯作者:王汉宁(1956-),男,甘肃平凉人,教授,主要从玉米育种及栽培方面的研究。E-mail:wanghn@gsau.edu.cn

were 8 052.5 kg/ha and 7 821.4 kg/ha, respectively, which was higher than that under half-film mulching and no mulching with the same irrigation quota. The highest WUE reached 9.50 kg/(mm·ha) under full-film mulching with moderate irrigation quota. The double-ear rate and seed weight under full-film mulching with high and moderate irrigation and half-film with high irrigation quotas were significantly higher than the other treatments. Plastic mulching significantly improved arable layer soil hydrothermal condition in the growth period of seed corn. Path coefficient analysis showed that the influence order on yield under different plastic film mulching patterns and irrigation quota treatments was double-ear rate (1.26) > seed grain number(0.93) > seed weight(0.68) > 0—25 cm soil temperature(0.41) > 0—30 cm soil moisture content(0.35) in Hexi area. It could be concluded that plastic film mulching and irrigation quota increased the seed corn yield by improving double-ear rate and seed weigh. The results indicated that full-film mulching with moderate irrigation was water-saving cultivation technique in Hexi area.

Key words: plastic film mulching; irrigation quota; seed corn; yield

甘肃河西地区自然条件优越、机械化耕作条件好再加上良好的天然隔离条件,使其成为全国最大的制种基地。该地区杂交玉米种子生产面积已发展到 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 制种玉米种植面积占灌区播种面积的 50% 左右, 产种量为 $5.5 \times 10^8 \text{ kg}$, 占全国杂交玉米种子用量的近 60%^[1]。近年来, 随着社会经济快速发展, 生活用水及工业用水量急剧增加; 此外全球变暖导致祁连山冰川持续退缩、雪线上升; 再加上黑河内蒙分水, 造成河西地区水资源短缺的矛盾日益突出, 水资源已成为制约玉米制种产业发展的重要环境因素。通过提高单位体积水产量及产值进而提高农业用水的效率及效益, 是解决这一矛盾切实可行的方法^[2]。

地膜覆盖在我国已广泛应用, 在玉米生产过程中, 采用地膜覆盖可以提高产量及水分利用效率^[3-5]。地膜覆盖与施肥、起垄等技术相配套, 可充分发挥技术之间的互作效应, 增产效果显著^[6-7]。地膜覆盖还可以改善土壤入渗特征^[8]、增加土壤微生物的数量和活性^[9-12]、缓解养分流失^[13]、提高土壤供肥能力^[14]。一些研究者也分析了地膜覆盖条件下, 河西地区春小麦、玉米的耗水特征及产量效应^[15-16]。目前, 制种玉米已成为河西地区玉米作物的主体, 杂交玉米制种是不同于大田玉米生产的种植体系^[17], 地膜覆盖和灌水量对制种玉米产量耦合效应的研究尚未见报道。鉴于此, 重点探讨了不同灌水量和地膜覆盖方式对河西地区制种玉米产量的影响, 以期为绿洲灌区研发高效节水技术提供理论依据, 对该地区利用有限水资源、发展高效灌溉农业

具有一定的指导意义。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验在张掖市甘州区党寨镇进行, 该区位于黑河灌区, 海拔 1 504 m, 无霜期 155 d 左右, 年降雨量 104 ~ 129 mm, 年蒸发量 2 047 ~ 2 341 mm, 日照时数 3 085.1 ~ 3 088.2 h, 属于典型的绿洲灌溉农业区。试验地前茬作物为制种玉米, 供试土壤为厚淤泥土, 0 ~ 20 cm 土壤有机质含量 25.5 g/kg, 碱解 N 含量 74.68 mg/kg, 速效 P 含量 28.34 mg/kg, 速效 K 含量 115.5 mg/kg, pH 值 8.49。

1.2 试验设计

试验设全膜覆盖、半膜覆盖、未覆膜 3 种覆膜方式。每种覆膜方式下设高、中、低 3 个灌水量水平, 相应灌溉制度见表 1, 共 9 个处理, 采用完全随机区组设计, 重复 3 次。试验小区面积为 24 m² (6 m × 4 m), 走道宽 0.5 m, 试验地周围设有保护行。采用无色聚乙烯薄膜, 宽幅 70 cm, 厚度 0.008 mm。其中半膜覆盖的膜面宽 50 cm, 膜间距 50 cm。

供试玉米品种为郑单 958, 由张掖市农业科学研究院提供。母本郑 58 播种时间为 4 月 20 日, 株距 20 cm、行距 50 cm, 保苗 9.990 万株/hm²; 父本昌 7-2 播种时间分 2 次, 分别为 4 月 22 日、4 月 25 日, 种植方式为满天星 (将父本种于母本行中间), 株距为 50 cm, 保苗 1.995 万株/hm²。其他管理同当地制种田。

表 1 试验处理的灌溉制度							m ³ /hm ²
灌水量水平	冬储灌	拔节期	大喇叭口期	抽雄期	灌浆期	乳熟期	灌水定额
高	1 700	1 050	1 050	1 150	1 050	1 050	7 050
中	1 700	850	850	950	850	850	6 050
低	1 700	650	650	750	650	650	5 050

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤温度 采用曲管地温计测定 5、10、15、20、25 cm 土壤温度,在各生育时期灌水前连续观测 3 d,每天在 8:00、14:00 和 18:00 测定。地温具体测定时间:播种期在 4 月 20—22 日、苗期在 5 月 15—17 日、拔节期在 7 月 9—11 日、抽丝期在 7 月 20—22 日、灌浆期在 8 月 9—11 日。

1.3.2 土壤含水量 0~30 cm 土层用烘干法测定,每 10 cm 为一层;30~110 cm 用水分中子仪(美国 CPN 公司 503DR)测定,每 20 cm 为一层。玉米播种前和收获后各测定一次,生育期内每 15 d 测定一次,灌水前后分别加测一次。全膜覆盖和半膜覆盖分别在小区中央覆膜带和未覆膜带安装一根中子管。

1.3.3 产量及产量性状 按小区单独收获计产(除去取样植株所占面积),并随机选取 10 穗考种,测定穗行数、行粒数和百粒质量。

1.3.4 水分利用效率(WUE) $WUE = Y/ET$,其中 $ET = Pc + I + U - R - Dw - \Delta S$,公式中 Y 为制种玉米种子产量, ET 为制种玉米生育期耗水量, Pc 表示制种玉米生育期有效降雨量, I 为制种玉米生育期内灌水量, U 为补给到作物根区地下水量, R 为地表径流量, Dw 为渗漏量, ΔS 为 0~110 cm 土层范围内土壤含水量的变化^[18]。本研究中试验区地下水埋深超过 15 m,试验条件控制无径流产生,经测定无渗漏。因此, U 、 R 、 Dw 均取值为 0。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 对数据进行统计

分析。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜方式及灌水量对制种玉米产量和 WUE 的影响

由表 2 可见,地膜覆盖方式、灌水量以及二者互作均对制种玉米种子产量、生物产量和 WUE 产生极显著的影响。全膜覆盖和半膜覆盖处理下,玉米种子产量分别为 7 243.3 kg/hm² 和 6 479.3 kg/hm²,较未覆膜处理(5 936.8 kg/hm²)分别高 22.0% 和 9.1%,处理间差异显著;高灌水量和中灌水量处理种子产量分别为 7 512.1 kg/hm² 和 6 634.2 kg/hm²,较低灌水量处理(5 513.0 kg/hm²)分别高 36.3% 和 20.3%,差异显著。其中,全膜覆盖高、中灌水量处理和半膜覆盖高灌水量处理制种玉米种子产量分别为 8 052.5 kg/hm²、7 821.4 kg/hm² 和 7 705.5 kg/hm²,显著高于其他处理。全膜覆盖和半膜覆盖,制种玉米生物产量分别为 24 123.2 kg/hm² 和 20 849.4 kg/hm²,显著高于未覆膜处理。高、中灌水量下,制种玉米生物产量分别为 24 257.2 kg/hm² 和 20 708.1 kg/hm²,显著高于低灌水量处理。全膜覆盖处理下制种玉米 WUE 达到 8.56 kg/(mm·hm²),分别较半膜覆盖和未覆膜处理高 10.7% 和 12.8%,差异显著。全膜覆盖中灌水量下 WUE 最高达到 9.50 kg/(mm·hm²),其次为全膜覆盖和半膜覆盖的高灌水量下,分别为 8.72 kg/(mm·hm²) 和 8.44 kg/(mm·hm²)。由此可知,全膜覆盖条件下适当的灌水量可提高制种产量并获得较高的水分利用效率。

表 2 不同覆膜方式及灌水量下制种玉米的种子产量、生物产量及 WUE

因素	处理	种子产量/(kg/hm ²)	生物产量/(kg/hm ²)	WUE/[kg/(mm·hm ²)]
地膜覆盖方式	全膜覆盖	7 243.3a	24 123.2a	8.56a
	半膜覆盖	6 479.3b	20 849.4b	7.73b
	未覆膜	5 936.8c	17 465.7c	7.59b
灌水量	高灌水量	7 512.1a	24 257.2a	8.35a
	中灌水量	6 634.2b	20 708.1b	8.29a
	低灌水量	5 513.0c	17 473.0c	7.24b
地膜覆盖方式×灌水量	全膜×高灌水量	8 052.5a	26 312.0a	8.72b
	全膜×中灌水量	7 821.4ab	24 366.3b	9.50a
	全膜×低灌水量	5 855.9e	21 691.3d	7.46de
	半膜×高灌水量	7 705.5b	23 654.7bc	8.44b
	半膜×中灌水量	6 282.5d	22 607.3cd	7.64cd
	半膜×低灌水量	5 449.7f	16 286.3e	7.02f
	未覆膜×高灌水量	6 778.4c	22 805.0c	7.72c
	未覆膜×中灌水量	5 798.6e	15 150.7f	7.46cd
	未覆膜×低灌水量	5 233.5f	14 441.3f	7.25ef
地膜覆盖方式		**	**	**
灌水量		**	**	**
地膜覆盖方式×灌水量		**	**	**

注:**表示在 0.01 水平上显著;同列不同小写字母表示同一因素不同处理间在 0.05 水平上差异显著。表 3、4 同。

2.2 不同覆膜方式及灌水量对制种玉米种子产量构成因素的影响

在田间基本苗一致的条件下,统计并分析了不同处理对制种玉米双穗率、穗粒数和百粒质量的影响(表3)。由表3可见,地膜覆盖方式及灌水量均对制种玉米双穗率、穗粒数和百粒质量影响显著;二者互作对制种玉米双穗率和穗粒数的影响显著或极显著,但对百粒质量的影响不显著。就不同覆膜方式而言,全膜覆盖处理双穗率、穗粒数和百粒质量分别为24.33%、393.18粒和24.90g,其中双穗率和穗粒数显著高于半膜覆盖处理,百粒质量与半膜覆

盖处理无显著差异,但以上3个指标较未覆膜处理分别显著增加65.1%、25.0%和16.7%;就不同灌水量而言,高灌水量处理双穗率、穗粒数和百粒质量分别为23.94%、379.62粒和24.87g,均显著高于中、低灌水量。从地膜覆盖方式与灌水量的互作结果来看,全膜覆盖高、中灌水量和半膜覆盖高灌水量的双穗率、穗粒数显著高于其他各处理,且全膜高灌水量与全膜中灌水量在穗粒数上也存在显著差异;全膜覆盖高灌水量下双穗率、穗粒数和百粒质量分别为27.27%、421.21粒、26.83g,为该处理条件下获得高产奠定了基础。

表 3 不同覆膜方式及灌水量下制种玉米的产量构成因素

因素	处理	双穗率/%	穗粒数/粒	百粒质量/g
地膜覆盖方式	全膜覆盖	24.33a	393.18a	24.90a
	半膜覆盖	20.90b	370.87b	24.36a
	未覆膜	14.74c	314.45c	21.34b
灌水量	高灌水量	23.94a	379.62a	24.87a
	中灌水量	19.30b	356.86b	23.70b
	低灌水量	16.74c	342.01c	22.05c
地膜覆盖方式×灌水量	全膜×高灌水量	27.27a	421.21a	26.83a
	全膜×中灌水量	25.31a	396.88b	25.59ab
	全膜×低灌水量	20.42b	361.45d	22.31cde
	半膜×高灌水量	26.52a	392.91c	25.73ab
	半膜×中灌水量	18.85bc	361.14d	24.09bc
	半膜×低灌水量	17.33c	358.55e	23.28cd
	未覆膜×高灌水量	18.03c	324.75f	22.05cde
	未覆膜×中灌水量	13.72d	312.56g	21.41ef
	未覆膜×低灌水量	12.48d	306.04h	20.56f
地膜覆盖方式		**	**	**
灌水量		**	**	**
地膜覆盖方式×灌水量		*	**	NS

注: NS表示不显著, *表示在0.05水平上显著。表4同。

2.3 不同覆膜方式及灌水量对制种玉米田土壤水热状况的影响

由表4可见,覆膜方式、灌水量均对0~30cm土壤含水量和0~25cm土壤平均温度影响显著,但对30~110cm土壤含水量无显著影响;覆膜方式与灌水量互作对制种玉米0~30cm土壤含水量存在显著影响,但对30~110cm土壤含水量和0~25cm土壤平均温度无显著影响。就不同覆膜方式而言,全膜覆盖和半膜覆盖条件下0~30cm土壤含水量分别较未覆膜处理高8.8%和4.4%,0~25cm土壤平均温度分别较未覆膜处理高5.9%和5.2%,差异显著,说明地膜覆盖在提高土壤平均温度的同时提高了土壤含水量,显著改善了制种玉米全生育期耕层土壤水热状况。从灌水量来看,随着灌水量减少,0~30cm土壤含水量呈递减趋势,差异显著;高灌水量土壤平均温度分别较中灌水量和低灌水量高

3.5%和4.8%。从地膜覆盖方式与灌水量的互作结果来看,全膜覆盖高灌水量处理0~30cm土壤含水量最高,为23.43%,显著高于其他处理。但全膜覆盖和半膜覆盖条件下,高、中灌水量处理间耕层土壤平均温度差异不显著。

2.4 制种玉米产量与土壤温湿度及产量构成要素的通径分析

由表5可见,玉米籽粒产量与双穗率、穗粒数、百粒质量、0~30cm土壤含水量、0~25cm土壤温度均呈显著或极显著正相关。但上述指标与产量的简单相关系数不能从本质上揭示其内部的调控关系,近一步通过通径分析探讨关键因子对制种产量的直接与间接效应大小,以明确这些重要因子对制种产量的调控关系。从产量与各项指标的直接通径系数可以看出,各指标对制种玉米产量因素的影响顺序为:双穗率(1.26)>穗粒数(0.93)>百粒质量

(0.68) > 0 ~ 25 cm 土壤温度(0.41) > 0 ~ 30 cm 土壤含水量(0.35);由制种产量与上述指标的间接通径系数可以看出,0 ~ 30 cm 土壤含水量和 0 ~ 25 cm 土壤温度均通过双穗率对制种产量贡献最大。由此说明,适宜的地膜覆盖方式与灌水量通过改善土壤水热状况提高了制种玉米的双穗率,从而提高制种玉米产量。

表 4 不同覆膜方式及灌水量下制种玉米田的平均土壤含水量及土壤温度

因素	处理	土壤含水量/%		0 ~ 25 cm 土壤平均温度/℃
		0 ~ 30 cm	30 ~ 110 cm	
地膜覆盖方式	全膜覆盖	22.34a	23.38	24.08a
	半膜覆盖	21.43b	22.39	23.92a
	未覆膜	20.53c	22.13	22.74b
灌水量	高灌水量	22.77a	23.38	24.22a
	中灌水量	21.98b	22.48	23.41b
	低灌水量	19.55c	22.03	23.11b
地膜覆盖方式 × 灌水量	全膜 × 高灌水量	23.43a	24.47	24.60a
	全膜 × 中灌水量	22.60b	23.27	23.79ab
	全膜 × 低灌水量	21.00d	22.38	23.84ab
	半膜 × 高灌水量	22.63b	22.17	24.38ab
	半膜 × 中灌水量	22.29c	22.33	23.99ab
	半膜 × 低灌水量	19.37e	22.67	23.40bc
	未覆膜 × 高灌水量	22.27c	23.50	23.69ab
	未覆膜 × 中灌水量	21.06d	21.84	22.44cd
	未覆膜 × 低灌水量	18.28f	21.04	22.09d
地膜覆盖方式		**	NS	**
灌水量		**	NS	**
地膜覆盖方式 × 灌水量		**	NS	NS

表 5 制种玉米产量与土壤水热和农艺性状的相关系数和通径系数

指标	与产量的简单相关系数	直接通径系数	间接通径系数				
			X1	X2	X3	X4	X5
X1	0.91 **	1.26		-0.89	0.64	0.54	-0.37
X2	0.80 *	0.93	1.20		0.66	0.24	-0.36
X3	0.87 **	0.68	1.18	-0.90		0.26	-0.35
X4	0.88 **	0.35	0.99	-0.64	0.51		-0.33
X5	0.76 *	0.41	1.12	-0.81	0.58	0.28	

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著、极显著相关；X1、X2、X3、X4 和 X5 分别表示制种玉米双穗率、穗粒数、百粒质量、0 ~ 30 cm 土壤含水量和 0 ~ 25 cm 土壤温度。

3 结论与讨论

玉米种子生产对土壤水热条件的要求较高,水分亏缺和制种玉米生育前期低温均可限制制种产量。灌溉是调节土壤水分的主要措施^[18],地膜覆盖一方面可以减少土壤水分蒸发,另一方面还可以提高土壤温度,为作物增产提供适宜的生长环境。本研究发现,在河西地区,相对于露地栽培,采用全膜覆盖或半膜覆盖均能明显改善制种玉米田耕层土壤水热状况,这一结果与干旱半干旱地区覆膜栽培的研究结果较为一致^[3,5,19];地膜覆盖对制种玉米的增产效应主要表现为对双穗率的提高。由此说明,在河西地区,采用地膜覆盖技术是一项改善制种玉米生长水热环境的有效措施。

对于禾谷类作物而言,各产量构成因素之间协

调是实现高产的关键,地膜覆盖增产的主要原因是双穗率和粒质量的增加。也有研究表明,地膜覆盖可明显增加玉米的光合面积和光合势,从而提高同化能力^[20]。本研究发现,无论采用全膜覆盖还是半膜覆盖,制种玉米产量均显著高于不覆盖处理,这一结果与 Liu 等^[4]在我国半干旱区的研究结果一致。通径分析结果进一步说明,对制种产量贡献最大的因素是双穗率,地膜覆盖可以显著改善耕层土壤水热状况,进而提高制种玉米双穗率、穗粒数和粒质量,成为其增产的主要原因。本研究结果还表明,地膜覆盖方式与灌水量互作效应对制种玉米产量的影响显著;在全膜覆盖条件下,高灌水量、中灌水量处理玉米制种产量分别为 8 052.5、7 821.4 kg/hm²,二者差异不显著,且全膜覆盖中灌水量处理下可获得最高的 WUE,其原因是相对于露地栽培,全膜覆盖

可有效隔断土壤与大气间的水分交换,提高作物 WUE^[21]。综合分析认为,全膜覆盖并采用中灌水量在提高制种玉米种子产量的同时又节约了用水量,是河西地区制种玉米产业发展和经济社会可持续发展急需推广的节水高效栽培技术。

参考文献:

- [1] 丁林,孟彤彤,王以兵.节水灌溉技术在制种玉米上的应用研究[J].水土保持通报,2013,33(2):160-164.
- [2] 王玉宝,吴普特,赵西宁,等.我国农业用水结构演变态势分析[J].中国生态农业学报,2010,18(2):399-404.
- [3] Zhou L M, Li F M, Jin S L, *et al.* How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China [J]. Field Crops Research, 2009, 113 (1): 41-47.
- [4] 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 (4): 241-249.
- [5] 李尚中,王勇,樊廷录,等.旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J].中国农业科学,2010,43(5):922-931.
- [6] Gao Y H, Xie Y P, Jiang H Y, *et al.* Soil water status and root distribution across the rooting zone in maize with plastic film mulching [J]. Field Crops Research, 2014, 156(2):40-47.
- [7] Hu B, Jia Y, Zhao Z H, *et al.* Soil P availability, inorganic P fractions and yield effect in a calcareous soil with plastic-film-mulched spring wheat [J]. Field Crops Research, 2012, 137(3):221-229.
- [8] 谢文,潘木军,翟均平.不同垄作覆盖栽培对土壤理化性状耗水特性和玉米产量的影响[J].西南农业学报,2007,20(3):365-369.
- [9] 李世朋,蔡祖聪,杨浩,等.长期定位施肥与地膜覆盖对土壤肥力和生物学性质的影响[J].生态学报,2009,29(5):2489-2498.
- [10] 员学锋,吴普特,汪有科,等.免耕条件下秸秆覆盖保墒灌溉的土壤水、热及作物效应研究[J].农业工程学报,2006,22(7):22-26.
- [11] 王丽宏,胡跃高,杨光立,等.农田冬季覆盖作物对土壤有机碳含量和主作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):64-67.
- [12] 林雁冰,薛泉宏,颜霞.覆盖模式及小麦根系对土壤微生物区系的影响[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1389-1393.
- [13] 罗付香,林超文,涂仕华,等.氮肥形态和地膜覆盖对坡耕地玉米产量和土壤氮素流失的影响[J].水土保持学报,2012,26(6):11-16.
- [14] Li F M, Wang J, Xu J Z, *et al.* Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China [J]. Soil & Tillage Research, 2004, 78(1):9-20.
- [15] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China [J]. Agric Water Manag, 2005, 75 (1): 71-83.
- [16] Li S, Kang S, Zhang L Z, *et al.* Measuring and modeling maize evapotranspiration under plastic film-mulching condition [J]. Journal of Hydrology, 2013, 503 (1): 153-168.
- [17] 韩顺斌,索东让,孙宁科.垄膜沟灌模式下制种玉米施肥效率研究[J].土壤通报,2014,45(5):1188-1194.
- [18] 陈金平,尹志刚,周国勤,等.不同生育时期浇水对小麦生长发育和产量的影响[J].河南农业科学,2016,45(3):39-42.
- [19] 王红丽,宋尚有,张绪成,等.半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响[J].生态学报,2013,33(18):5580-5588.
- [20] 卜玉山,苗果园,邵海林,等.对地膜和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J].作物学报,2006,32(7):1090-1093.
- [21] 张清涛,邱国玉,李莉,等.抑制农田土壤蒸发的研究进展[J].中国生态农业学报,2006,14(1):87-89.