

旱地小麦黑膜全覆盖穴播栽培的效应与模式研究

张立功,李国斌,苏忠太,崔志峰,马建辉

(甘肃省庄浪县农业技术推广中心,甘肃 庄浪 744699)

摘 要:本研究通过对黑膜、无色膜、垄作、平作、沟播等因素进行组合,探讨了旱地冬小麦地膜全覆盖穴播不同栽培模式的膜下茎和杂草发生规律、土壤温度和水分变化动态及增产增收效果。结果表明,小麦采用黑膜覆盖,自动出苗率比无色膜覆盖平均提高 63.73%,膜下茎密度和鲜重分别降低 74% 以上和 98% 左右,杂草盛发期的密度和鲜重分别比无色膜覆盖降低 62.03% 和 96.70%,比露地栽培降低 70.00% 和 92.93%。黑膜覆盖小麦全生育期 0~25 cm 土壤积温比无色膜覆盖降低 108.8℃,比露地降低 62.9℃,但在播种至拔节阶段,比露地增加 72.8℃,拔节至成熟比露地降低 135.7℃。水分利用效率黑膜覆盖比无色膜覆盖提高 4.48%,比露地提高 45.75%。黑膜覆盖比无色膜增产 3.05%,比露地增产 47.81%。3 种起垄方式中,垄作比平作小麦自动出苗率平均提高 44.00%,沟播则降低 23.80%;膜下茎密度垄作降低 35.59% 以上,沟播增加 25.64% 以上;膜下茎鲜重垄作降低 30.62% 以上,沟播增加 12.09% 以上。垄作提高土壤积温 90.5℃,沟播降低 23.5℃;垄作增产 3.24%,沟播增产 4.90%。以黑色全膜垄作穴播为最佳模式,较全膜覆土穴播自动出苗率平均提高 146.93%,膜下茎密度降低 98.74% 以上,杂草鲜重降低 99.90% 以上,全生育期增加土壤积温 52.0℃,水分利用效率提高 10.75%,增产 8.68%,节本 4 020 元·hm⁻²,增加纯收益 5 422 元·hm⁻²。且膜面覆土量减少 75%,易于清除残膜。其中通用垄沟半微垄模式具有宽窄行距的特点,较微垄模式增产 3.89%,增收 11.33%,并且适宜机械化作业。

关键词: 黑色地膜;全覆盖;穴播;垄作;微垄;通用垄沟;自动出苗;冬小麦;旱地

中图分类号: S318; S512.1 **文献标志码:** A

Study on the effects and mode of black plastic mulch and hole seeding cultivation of winter wheat in dryland

ZHANG Li-gong, LI Guo-bin, SU Zhong-tai, CUI Zhi-feng, MA Jian-hui
(Zhuanglang Agro-technology Extension Center, Zhuanglang, Gansu 744699, China)

Abstract: This study selected the optimum compose of the factors that are: black plastic film, colourless plastic film, hill culture, convention planting, furrow sowing, discussed the occurrence of stem occurrence of weeds, soil temperature, soil water dynamic changes and increase production and income of plastic mulch and hole seeding cultivation of winter wheat in dryland. The results showed the treatment of black plastic mulch coverage could increase the rate of emergence by 63.73% compared to the colourless plastic film, and declined the density of the stem and its fresh weight, the decreasing rate were 74% and 98% respectively, the major on set of density ruderal weed and its fresh weight, the decreasing rate were 62.03% and 96.7% respectively, and compared to the open field, the reduction rate were 70% and 92.93% respectively. Also the treatment in 0~25 cm soil layer of black plastic mulch coverage had decreased the accumulated temperature by 108.8℃ compared to colourless plastic mulch, but increased by 62.9℃ compared to open field, from sowing to jointing stage, the black plastic mulch coverage's temperature was higher than 72.8℃ compared to open field, from jointing to ripening, the temperature was lower than 135.7℃ compared to open field. The black plastic mulch coverage's water utilization efficiency was 4.48% higher than the colourless plastic film, and 45.75% higher than that of the open field. The corresponding yield was higher than 3.05% and 47.81% respectively. During the three planting methods, the treatment of ridge culture could increase the rate of emergence by 44.00% compared to the flat sowing but 26.14 % lower than that of furrow sowing. The corresponding density of the stem was 35.59% lower than

收稿日期:2016-02-08
基金项目:庄浪县农业技术推广中心自选项目“旱地小麦黑膜微垄穴播栽培技术研究与示范”
作者简介:张立功(1966—),男,甘肃庄浪人,高级农艺师,主要从事旱作农业技术及土壤肥料的研究与推广工作。E-mail:gszhlzhl@163.com。
通信作者:李国斌(1979—),男,甘肃庄浪人,高级农艺师,主要从事旱作农业技术推广管理工作。E-mail:735236602@qq.com。

ridge culture but higher than 25.64%, The corresponding fresh weight of the stem was 30.62% lower than ridge culture but higher than 12.09%. The ridge culture increased the accumulated temperature of 90.5℃, but the furrow sowing decreased the accumulated temperature of 23.5℃. The ridge culture and furrow sowing treatment had increased the yield of 3.24% and 4.90% respectively. So, the mode of black plastic mulch and hole seeding was the optimal pattern, the rate of emergence by 146% compared to the plastic film as mulch combined with bunch planting, the density of the stem and its fresh weight with the decreasing rate were 98.74% and 99.9% respectively, between living winter stage to green stage, which could increase the accumulated temperature of 52.0℃ during the whole growing period, water use efficiency, yield, cost saving, net profit per hectare were improved by 10.75%, 8.68%, 4 020 yuan·hm⁻² and 5 422 yuan·hm⁻² respectively. Covering depth decreased by 75% and easy to clear. One of the trait that the general half micro mode had the wide and narrow row planting, and the yield and improved by 3.89%, 11.33% respectively, and suit to mechanized operation.

Keywords: black film mulching; full coverage; hole sowing; ridge culture; micro ridge; universal ridge furrow; free-seeding; winter wheat; dry land

甘肃省是我国主要小麦产区之一,小麦常年播种面积 85×10^4 hm² 左右,其中旱地面积约占 76%^[1]。甘肃旱作麦区年均气温 8℃~12℃,降水量 300~700 mm,其中小麦生育期 100~300 mm,雨量少且时空不匀,并以 <10 mm 小雨和无效降雨为主要特征,小量降水占到总量的 40% 左右。旱、寒是该区小麦生产的主要制约因素和自然灾害^[2-4]。长期研究和实践表明,采用地膜覆盖栽培能显著改善田间水热环境,大幅度提升旱地小麦产量和降水利用效率^[5-9],尤其是全地面覆盖沟垄栽培,有效集流叠加雨水和最大程度降低了土壤水分的无效蒸发,是提升旱地小麦生产效能的有效途径之一^[10-11]。我国小麦地膜覆盖栽培自 20 世纪 80 年代以来,取得了长足的发展。尤其是 1983—1991 年甘肃省农科院李守谦等总结出了全生育期覆盖穴播技术,1990—1996 年山西省闻喜县王仪春实践总结出了膜侧条播技术^[12-13],创立了我国小麦地膜覆盖以甘肃为代表的膜面打孔穴播和以山西为代表的膜侧条播两个基本模式。在起垄方式上,1997 年天水市农科所把穴播和沟播技术结合研究出了全膜沟穴播^[14]。由于膜侧条播栽培覆盖度只能达到 50%~60%,其保墒、增温、增产作用明显低于全膜穴播^[15-19]。因此,甘肃省以全膜穴播为定位,于 1992—1996 年大面积应用全膜不覆土穴播技术,但因膜下茎发生量大、放苗费工、膜下杂草难以防治等突出问题,制约了生产应用。2006 年甘肃省农业技术推广总站总结甘谷县采取膜面覆土、防止地膜移位以提高出苗率和减少膜下茎发生的做法,提出了全膜覆土穴播技术,并于 2008—2013 年全省年推广 10×10^4 hm² 左右,取得了显著的增产效果,使小麦单产提高了 40% 以上,局部增产 70% 左右^[20-21]。然而,因大部分冬麦区小麦出苗期正值雨季,降雨导

致膜上覆土发生板结现象的频次很高,以致多数麦田出苗困难,加之覆土量较大,残膜清除难,是全膜穴播必须突破的瓶颈。从理论上分析,无色膜覆盖是导致小麦膜下茎和草害发生的主因,膜上覆土是板苗的成因。但国内外对小麦地膜覆盖栽培研究主要局限于无色膜,而对黑膜覆盖和垄作等报道极少。本研究立足旱地,以高效利用降雨为前提,探讨简约化全膜穴播技术,为大田生产提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验概况

庄浪县地处陇中黄土高原丘陵沟壑区第三副区东缘,属北方秋播麦区^[22],小麦常年播种面积 2×10^4 hm² 以上,是甘肃省主要冬麦区之一。试验地位于柳梁乡,海拔 1 900 m,土质为黄绵土。其年均气温 7.9℃,无霜期 145 d,≥0℃ 的积温 3 310℃,≥10℃ 的活动积温 2 690℃;年均降雨量 514 mm,其中 <10 mm 的降雨占总量的 47.73%,平均蒸发量 1 289.1 mm,空气相对湿度 67%,干燥度 1.55。小麦于 9 月下旬播种,7 月上、中旬成熟。试验实施期 2009—2014 年年度降雨分别是 433.9、458.7、699.4、703.0 mm 和 588.3 mm,小麦播前基础降雨依次为 234.1、257.2、473.7、305.7 mm 和 574.1 mm,生育期降雨分别为 226.1、256.1、311.0、473.4 mm 和 254.0 mm。

1.2 供试材料

指示品种为冬小麦兰天 26 号良种;供试地膜为厚 0.010 mm,宽 120 cm 的无色膜和黑色膜(透光率 <5%),氮肥为尿素(纯 N 46%),磷肥为普钙(P₂O₅ 12%)。

1.3 试验设计及实施方法

试验选择垄作、平作、沟播 3 种起垄方式,采用

黑色膜和无色膜全覆盖,共设 8 个处理。T1,黑膜全覆盖微垄穴播,微垄沟 + 黑膜 + 垄作,垄型呈拱形,垄底宽 18 cm,垄高 8~10 cm,垄沟全覆膜,沟内覆土压膜,并按 15 cm 距离打直径约 0.2~0.3 cm 的渗水孔。两幅地膜接于沟内,地膜用量 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。先覆膜后播种,小麦于垄上穴播 1 行,行距 18 cm,穴距 13.4 cm,穴数 $41.46\times 10^4\cdot\text{hm}^{-2}$,每穴播 13 粒,播深 3 cm。播后播种孔保持自然开张。T2,黑膜全覆盖通用垄沟半微垄穴播,即通用垄沟模式,半微垄沟 + 黑膜 + 垄作,垄呈梯形,垄底宽 33~36 cm,垄面宽 20 cm,垄高 8~10 cm,垄上播 2 行小麦,小麦窄行距 13 cm,宽行距 23 cm。其它同 T1。T3,黑膜全覆盖微沟穴播,微垄沟 + 黑膜 + 沟播,种子于沟内穴播 1 行,播后沟内覆土自然封严播种孔。其它均同 T1。T4,黑膜全覆盖平作穴播,平地面 + 黑膜,地膜用量 $113\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,在膜上均匀覆土覆盖 30% 以下地膜,并隔 1~2 m 打一横土带压膜,穴播,行距 18 cm,其它同 T1。T5,无色膜全覆盖微垄穴播,微垄沟 + 无色膜 + 垄作,地膜用量 $105\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其它同 T1。T6,无色膜全覆盖微沟穴播,微垄沟 + 无色膜 + 沟播,其它同 T5。T7,全膜覆土穴播(CK2),平地面 + 无色膜,膜上均匀覆盖 1 cm 左右的细土,穴播,行距 18 cm,地膜用量 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其它同 T1。T8,露地条播(CK1),平地条播,行距 16 cm。各处理同施纯 N $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷肥与 70% 氮肥底施,30% 氮肥于返青期追施;播量亦同为 539×10^4 粒 $\cdot\text{hm}^{-2}$,保苗 500×10^4 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,于 9 月下旬播种。其它管理措施同大田。试验小区面积 30.8 m^2 ,重复 3 次,随机区组排列。

1.4 试验记载、测定及统计

1.4.1 生育期 记载生育期,每处理观察记载 1 次重复。用 T1 和 T3、T5 和 T6、T1 和 T5、T3 和 T6、T4 和 T7 的平均数分别代表黑膜覆盖、无色膜覆盖、垄作、沟播、平作,下同。

1.4.2 经济性状及产量 成熟后按 5 点取样法取 30 株考种,考查株高、穗粒数、千粒重,按小区单独收获计实产。单位面积产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 小区产量(kg)/小区面积(m^2) $\times 10000$,每处理测定 3 次重复;单位面积纯收益($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 单位面积产值($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$) - 单位面积成本($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$),产值和成本均按市场价格计算,成本包括从整地到收获、残膜捡拾的各个环节的物化成本和非物化成本,物化成本包括地膜、种子、肥料、农药、机械;非物化成本仅为人工。每处理按 3 次重复计算。

1.4.3 自动出苗与膜下茎和杂草调查 于小麦出苗期调查自动出苗穴数,计算自动出苗穴率;越冬

前、返青末期和拔节期 5 点取样,每点取 0.25 m^2 扒开地膜,统计小麦的膜下茎,然后剪地上部分取称鲜重。杂草于其发生盛期即小麦拔节期调查,方法同膜下茎调查,每个处理测定 3 次重复。膜下茎是指在地膜下面生长的小麦主茎或分蘖,俗称串苗。自动出苗系指不需要人工辅助措施,幼苗自行从播种孔长出的现象。

1.4.4 地温测定 以 5 cm 为变幅,在小麦各生育期用曲管地温计测定 11 时 0~25 cm 5 个层次的土壤温度,每处理测定 3 次重复。计算土壤平均温度和积温。

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad T_i = t_i \times d_i$$

式中, T 为全生育期土壤积温($^{\circ}\text{C}$); T_i 为某生育时段土壤积温($^{\circ}\text{C}$); t_i 为该生育时段上下界点的土壤温度算数平均数($^{\circ}\text{C}$); d_i 为该生育时期段天数(d)。

1.4.5 土壤水分测定与水分利用效率计算 用土钻在小区中间位置小麦播种行取土样,用烘干法测定水分,烘干温度 105°C ,时间 8 h。于小麦出苗期至灌浆期测定 0~100 cm 土壤水分,播前和成熟期测定 0~200 cm 土壤水分,每处理测定 3 次重复。计算土壤含水量、土壤贮水量、作物耗水量、水分利用效率等。

土壤含水量:

$$SWC = (W_1 - W_2)/W_2 \times 100$$

式中, SWC 为土壤含水量(%); W_1 为土壤湿重(g); W_2 为土壤干重(g)。

土壤贮水量:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i r H_i \times 10$$

式中, W 为土壤贮水量(mm); W_i 为第 i 层土壤含水量(%); r 为土壤容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); H_i 为第 i 层土层厚度(cm)。

作物耗水量:

$$\Delta SWS = W_{i1} - W_{i2} \quad ET = \Delta SWS + P$$

式中, ΔSWS 为作物耗水量(mm); W_{i1} 为播前贮水量(mm); W_{i2} 为收后贮水量(mm); ET 为作物生育期蒸散量(mm); P 为作物生育期降水量(mm)。

水分利用效率:

$$WUE = yd/ET$$

式中, WUE 为水分利用效率($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$); yd 为经济产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); ET 为蒸散量(mm)。

1.4.6 降雨量测定 降雨量采用雨量器法测定。年度降雨量统计范围为上季小麦收获至下一季收获的一个年度周期,生育期降雨量为小麦播种至收获的一个生育周期,基础降雨量为小麦播前 6 月 1 日

—9 月 25 日的降雨。

1.5 数据分析

试验用 Microsoft Excel 进行数据处理,用 DPS7.50 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 对小麦自动出苗和膜下茎的发生及杂草生长的影响

2009—2014 年调查显示(表 1),小麦自动出苗穴率 T1、T2、T4、T5 较 CK2 大幅提升,分别提高 145.14%、148.72%、65.24% 和 36.80%。膜下茎密度 T1 ~ T5 比 CK2 显著下降,其中 T1、T2 降幅

98.68% 以上,T4 下降 85.61% ~ 80.99%,T6 则微幅上升;膜下茎鲜重 T1 ~ T5 比 CK2 降低显著,其中 T1 ~ T4 下降 96.25% ~ 99.94%,T6 增加 11.11% 以上。盛期杂草的密度,T1 ~ T4 比 CK1 减少 68.97% ~ 70.32%,鲜重减少 92.01% ~ 92.98%;T5 和 T6 杂草密度下降 20.20% ~ 23.37%,鲜重增加 105% ~ 121.5%。

黑膜覆盖比无色膜覆盖小麦自动出苗率提高 63.73%,越冬前和返青末期膜下茎密度分别降低 74.42% 和 78.22%,鲜重降低 97.96% 和 98.98%,杂草盛期密度和鲜重分别降低 62.03% 和 96.7%。垄作比平作小麦自动出苗率平均提高 44.00%,越

表 1 2009—2014 年小麦自动出苗穴数、膜下茎和杂草数发生量
Table 1 The seedlings number per hill, stem and weeds from 2009 to 2014

处理 Treatment	项目 Item	出苗期自动 出苗穴率 The rate of seedling at emergence /%	膜下茎发生穴 占调查穴比例 The incidence of stem/%		膜下茎密度 /(茎·m ⁻²) The density of stem		膜下茎鲜重/(g·m ⁻²) The fresh weight of stem		盛发期杂草草发生量 The quantity amount of ruderal weed on shengfa period	
			越冬前 Pre- winter	返青末期 The last returning green stage	越冬前 Pre- winter	返青末期 The last returning green stage	越冬前 Pre- winter	返青末期 The last returning green stage	密度/(株·m ⁻²) Number of each cave stub	鲜重/(g·m ⁻²) Fresh weight
观测值 Observed value										
T1	平均 Mean	96.58aA	3.02fF	4.28eE	1.66fF	2.47eE	0.02cC	0.11dC	16.60cC	2.54cC
	CV/%	0.957	18.197	8.618	26.052	25.181	35.355	42.633	24.157	23.699
T2	平均 Mean	97.99aA	2.82fF	4.41eE	1.54fF	2.73eE	0.03cC	0.10dC	17.35cC	2.90cC
	CV/%	1.030	14.491	8.190	12.397	19.117	47.507	34.149	27.123	19.030
T3	平均 Mean	46.27dCD	46.86dD	59.62cC	64.72dD	81.29cC	1.23cC	1.86dC	16.96cC	2.58cC
	CV/%	8.540	23.354	11.459	25.606	46.708	26.238	31.673	28.965	28.135
T4	平均 Mean	65.10bB	25.35eE	37.96dD	21.43eE	39.37dD	0.51cC	0.71dC	16.90cC	2.81cC
	CV/%	7.568	26.392	19.467	30.983	62.312	49.039	56.959	23.690	26.957
T5	平均 Mean	53.90cC	56.50cC	73.00bB	85.81cC	156.26bB	23.18bB	72.83cB	44.63bAB	80.25aA
	CV/%	21.102	19.329	11.023	31.907	26.641	46.945	35.798	26.049	30.076
T6	平均 Mean	33.35fE	84.75aA	89.72aA	173.65aA	228.35aA	38.24aA	120.55aA	43.76bB	76.54aA
	CV/%	3.812	7.709	5.803	12.497	17.320	26.458	30.182	27.621	25.247
T7	平均 Mean	39.40eDE	78.14bB	87.05aA	148.93bB	207.08aA	32.92aA	108.49bA	42.86bB	74.37aA
	CV/%	9.305	5.506	7.529	8.736	17.513	12.634	27.938	25.812	25.170
T8	平均 Mean	—	—	—	—	—	—	—	55.93aA	36.23bB
	CV/%	—	—	—	—	—	—	—	20.884	38.122
F 值 F value		210.597	527.54	163.804	448.344	159.161	73.058	255.616	36.704	151.365
P 值 P value		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
比 CK2 增加或减少(-) Increasing or decreasing higher than CK2/%									比 CK1 增加或减少(-) Increasing or decreasing higher than CK1/%	
T1	平均 Mean	145.14	- 96.14	- 95.09	- 98.89	- 98.81	- 99.94	- 99.90	- 70.32	- 92.98
T2	平均 Mean	148.72	- 96.39	- 94.93	- 98.97	- 98.68	- 99.92	- 99.91	- 68.97	- 92.01
T3	平均 Mean	17.45	- 40.04	- 31.50	- 56.54	- 60.74	- 96.25	- 98.29	- 69.67	- 92.87
T4	平均 Mean	65.24	- 67.55	- 56.39	- 85.61	- 80.99	- 98.44	- 99.34	- 69.79	- 92.24
T5	平均 Mean	36.80	- 27.69	- 16.14	- 42.38	- 24.54	- 29.60	- 32.87	- 20.20	121.50
T6	平均 Mean	- 15.34	8.46	3.07	16.60	10.27	16.15	11.11	- 21.77	111.25
T7	平均 Mean	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	- 23.37	105.27
T8	平均 Mean	—	—	—	—	—	—	—	0.00	0.00

注:同列大写字母表示 1% 的显著水平,小写字母表示 5% 的显著水平。下同。
Note: in the same column, capital and lowercase letters indicate significant levels at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ respectively. The same as below.

冬前和返青末期膜下茎密度降低 48.65%和 35.59%,鲜重降低 30.62%和 33.21%,盛期杂草密度和鲜重分别增加 2.48%和 7.30%;沟播比平作小麦自动出苗率降低 23.8%,越冬前和返青末期膜下茎密度分别增加 39.93%和 25.64%,鲜重增加 18.05%和 12.09%,杂草密度和鲜重分别增加 1.61%和 2.50%。

2.2 对小麦生育进程的改变

通过 5 a 观察,不同覆盖方式对小麦出苗、分蘖、越冬、返青和孕穗有影响明显。T1~T7 总生育天数与 CK1 最大相差 6.2 d,其中播种至分蘖分别减少 1.6、1.6、1.2、1.4、2.6、2.2 d 和 2.6 d;分蘖至越冬延长 4.6、4.6、4.2、4.4、7.4、5.6 d 和 4 d;越冬至拔节减少 8.8、8.8、8.4、8.6、12、9.8 d 和 7.4 d;拔节至孕穗延长 3.4、3.4、3.4、3.4、0.2、1.2 d 和 3.4 d。T1~T6 与 CK2 相比差异不明显。

黑膜覆盖比无色膜覆盖小麦出苗和分蘖期均延迟 0.5 d,提前越冬 2.1 d,返青期、拔节、孕穗期分别延长 2.0、0.3 d 和 2.7 d,抽穗期和灌浆期减少 0.7 d 和 1.0 d,灌浆至成熟期增加 2.3 d,全生育期增加 2.4 d。垄作、平覆、沟播对小麦生育进程无明显影响。

2.3 对小麦个体和群体的影响

越冬前分蘖数、次生根数、主茎片数和拔节茎数处理间差异十分显著(表 2)。T1~T7 越冬前单株分蘖数较 CK1 分别增加 1.98 个、2.11 个、1.69 个、1.87 个、2.31 个、2.14 个和 1.70 个;次生根分别增加 3.48 条、3.70 条、2.95 条、3.26 条、4.24 条、3.77 条和 3.15 条;拔节茎数分别提高 86.92%、91.28%、82.26%、80.30%、93.53%、90.53%、77.59% 和 58.20%。与 CK2 比较,T1~T6 越冬前单株分蘖数分别增加 0.28 个、0.41 个、-0.01 个、0.17 个、0.61 个和

表 2 2009—2014 年小麦农艺性状
Table 2 The agronomic traits from 2009 to 2014

处理 Treat- ment	年份 Year	基本苗 Basic seeding /(10 ⁴ · hm ⁻²)	越冬前单株性状 Main agronomic characters in pre-winter				拔节期茎数/(茎·株 ⁻¹) Stem number jointing stages		株高 Plant height /cm	产量构成因素 Yield components		
			分蘖数/个 Average tillers	次生根条 数/条 Secondary root number	主茎片数 /片 Main stem number	总叶片数/片 The number of leaves per plant	最高茎数 The number of the highest stem	拔节茎数 The number of the stem number		有效穗数 Spike number /(10 ⁴ ·hm ⁻²)	穗粒数 /粒 Grains per spike	千粒重 1000- grain weight/g
T1	2010	429.3	4.19	6.31	6.4	14.4	5.24	1.68	76.5	464.1	31.7	41.8
	2011	429.9	4.54	7.43	5.8	15.7	5.42	2.06	94.6	467.8	33.3	43.2
	2012	423.5	5.43	8.85	6.8	17.2	6.44	3.17	108.1	478.2	35.0	45.9
	2013	426.8	4.17	6.13	6.4	16.5	7.52	3.12	91.8	482.5	36.2	47.9
	2014	469.2	4.22	6.84	6.1	11.3	7.33	2.40	114.2	605.6	26.1	49.5
	平均 Mean	435.7aA	4.51aA	7.11bcAB	6.3bcdAB	15.0abcA	6.39abcAB	2.49aA	97.0aAB	499.7aAB	32.5abA	45.7aA
	CV/%	4.331	11.886	15.408	5.939	15.481	16.462	26.288	15.216	11.949	12.146	6.992
T2	2010	431.4	4.26	6.49	6.6	14.9	5.33	1.71	74.5	458.8	32.5	42.2
	2011	428.6	4.61	7.58	5.9	16.2	6.37	1.98	94.5	469.2	33.3	43.7
	2012	423.9	5.53	8.90	6.8	17.4	6.58	3.08	108.8	491.7	34.8	45.8
	2013	426.2	4.45	6.72	6.6	16.6	7.88	3.35	91.7	494.7	37.4	48.2
	2014	470.4	4.37	6.95	6.3	11.5	7.50	2.60	114.2	591.3	29.0	52.9
	平均 Mean	436.1aA	4.64aA	7.33abAB	6.4abcAB	15.3abcA	6.73abAB	2.54aA	96.7aAB	501.1aA	33.4aA	46.6aA
	CV/%	4.443	11.013	13.212	5.446	15.136	14.905	27.472	16.141	10.499	9.245	9.026
T3	2010	426.9	3.92	6.17	6.1	13.9	4.15	1.59	74.3	466.3	32.4	41.6
	2011	420.2	4.35	7.21	5.6	14.9	5.44	1.85	95.2	451.4	32.8	42.6
	2012	422.7	5.20	8.40	6.4	17.1	5.37	3.11	109.7	464.7	34.7	45.2
	2013	425.0	4.11	5.36	5.8	13.8	6.91	3.27	91.8	451.9	33.3	47.6
	2014	468.5	3.51	5.77	5.7	10.1	6.83	2.30	113.8	551.6	28.6	50.8
	平均 Mean	432.6aA	4.22aA	6.58cB	5.9dB	14.0cA	5.74cBC	2.42aA	97.0aAB	477.2bC	32.4abA	45.6aA
	CV/%	4.667	14.917	18.641	5.525	18.147	20.076	30.780	16.218	8.839	7.029	8.227
T4	2010	428.1	4.17	6.44	6.3	14.1	5.31	1.46	76.3	436.5	30.2	41.2
	2011	424.8	4.45	7.38	5.8	15.5	6.12	1.82	94.1	454.0	31.4	42.4
	2012	423.2	5.37	8.80	6.6	17.3	6.07	3.12	108.1	467.7	34.7	45.1
	2013	426.0	4.25	5.71	6.1	14.1	7.20	3.19	91.6	473.4	34.7	47.7
	2014	469.4	3.78	6.10	5.9	10.7	7.25	2.40	114.2	586.9	26.5	48.6
	平均 Mean	434.3aA	4.40aA	6.89bcB	6.1bcdB	14.3bcA	6.39abcAB	2.40aA	96.9aAB	483.7bABC	31.5bA	45.0aA
	CV/%	4.537	13.448	17.944	5.227	16.893	12.946	32.048	15.357	12.284	10.903	7.154

续表 2

T5	2010	428.7	4.47	6.75	6.7	16.4	5.56	1.91	74.0	453.9	30.9	42.2
	2011	431.3	4.92	7.86	6.9	17.8	6.49	2.24	94.1	464.3	33.1	42.4
	2012	423.3	5.81	9.10	7.5	19.7	6.65	3.09	108.2	470.8	34.7	44.6
	2013	426.3	4.52	8.20	6.7	19.4	8.83	2.93	91.9	454.5	33.3	48.0
	2014	471.3	4.48	7.42	6.5	12.5	8.00	2.70	113.6	560.8	23.7	49.9
	平均 Mean	436.2aA	4.84aA	7.87aA	6.9aA	17.2aA	7.11aA	2.57aA	96.4abAB	480.9bBC	31.1bA	45.4aA
	CV/%	4.552	11.852	11.153	5.608	17.033	18.279	19.046	16.097	9.409	14.052	7.538
T6	2010	426.9	4.29	6.42	6.5	15.9	5.31	1.87	76.8	469.3	32.4	42.6
	2011	430.8	4.77	7.78	6.6	16.8	6.36	2.15	95.8	466.7	33.5	42.6
	2012	422.3	5.80	8.90	7.3	19.3	6.42	2.78	108.7	482.9	35.1	45.3
	2013	425.0	4.31	7.00	6.2	20.2	8.51	3.07	96.5	466.1	36.8	47.3
	2014	470.4	4.18	6.90	6.0	12.1	7.10	2.80	115.4	561.9	24.9	49.8
	平均 Mean	435.1aA	4.67aA	7.40abAB	6.5abAB	16.9abA	6.74abAB	2.53aA	98.6aA	489.4abABC	32.5abA	45.5aA
	CV/%	4.594	14.368	13.110	7.623	18.918	17.483	19.800	14.966	8.401	14.084	6.823
T6	2010	428.3	3.90	6.15	6.0	13.7	5.21	1.57	75.3	437.8	32.1	41.3
	2011	435.5	4.32	7.10	5.3	14.5	5.27	1.85	94.7	445.7	33.1	42.2
	2012	423.2	5.24	8.41	6.4	17.2	5.89	3.14	108.4	466.8	34.2	45.2
	2013	423.3	4.07	6.44	6.5	15.0	7.55	2.95	95.7	474.9	33.7	44.9
	2014	468.3	3.62	5.80	6.0	10.1	7.12	2.30	114.7	586.6	25.6	51.4
	平均 Mean	435.7aA	4.23aA	6.78bcB	6.0cdB	14.1cA	6.21bcAB	2.36aA	97.8aAB	482.4bABC	31.7abA	45.0aA
	CV/%	4.336	14.644	15.171	7.818	18.337	17.292	28.748	15.498	12.479	11.091	8.787
T8	2010	429.3	1.99	3.03	4.2	10.4	3.25	1.06	71.9	415.2	25.1	35.4
	2011	431.4	2.46	3.81	4.5	11.8	3.83	1.18	92.1	434.1	25.2	37.1
	2012	424.1	3.01	4.17	5.0	9.5	4.57	1.51	105.5	434.7	27.5	43.7
	2013	428.0	2.20	3.08	5.4	9.2	5.80	1.50	90.5	447.3	32.9	35.5
	2014	471.3	3.00	4.05	5.0	8.7	6.40	1.40	104.8	651.9	19.3	49.1
	平均 Mean	436.8aA	2.53bB	3.63dC	4.8eC	9.9dB	4.77dC	1.33bB	93.0bB	476.6bC	26.0cB	40.2bB
	CV/%	4.454	18.277	14.862	9.775	12.293	27.638	15.113	14.708	20.695	18.862	15.054
F 值 F value		0.004	8.298	34.451	17.082	6.524	7.488	6.528	1.861	4.479	15.956	4.932
P 值 P value		0.9999	0.0004	0.0001	0.0001	0.0015	0.0008	0.0015	0.1529	0.0083	0.0001	0.0055

0.44 个;次生根分别增加 0.33 条、0.55 条、-0.20 条、0.11 条、1.09 条和 0.62 条;拔节茎数分别提高 5.25%、7.71%、2.62%、1.52%、8.98%和 7.28%。

黑膜覆盖小麦冬前单株分蘖、次生根、总叶片分别较无色膜覆盖减少 0.39 个、0.79 条和 2.51 片,较露地分别增加 1.83 个、3.22 条和 4.58 片。垄作冬前单株分蘖、次生根、总叶片分别较平作增加 0.36 个、0.66 条和 1.87 片;沟播比平作分别增加 0.13 个、0.16 条和 1.19 片。

2.4 对农艺性状的改变

统计显示,T1、T2 有效穗数较 CK1 分别提高 $23.01 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $24.47 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$,其余变化较小;T1~T7 穗粒数依次增加 6.46 粒、7.39 粒、6.35 粒、5.49 粒、5.14 粒、6.54 粒和 5.74 粒;千粒重分别提高 5.50、6.40、5.40、4.85、5.25、5.37 g 和 4.84 g。T1~T6 与 CK2 比较,产量构成因素差异不显著。

黑膜覆盖小麦成穗数平均比无色膜覆盖增加 $3.3 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$,穗粒数增加 0.57 粒,千粒重提高 0.14 g。垄作较平作,成穗数平均增加 $7.2 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$,穗粒数增加 0.19 粒,千粒重提高 0.53 g;沟播较平作成穗数平均增加 $0.26 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$,穗粒数增

加 0.83 粒,千粒重提高 0.54 g。

2.5 对产量的影响

对 5 年产量分析表明(表 3),处理间差异极显著。籽粒产量 $T2 > T1 > T3 > T6 > T4 > T5 > T7$,比 CK1 分别增产 54.7%、48.9%、46.7%、46.4%、40.2%、40.0%和 39.7%。与 CK2 比较,T1、T2 显著增产,分别增加 9.24%、15.03%。

黑膜覆盖比无色膜覆盖小麦籽粒产量增加 $201.33 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅 3.05%;垄作较平作增产 $208.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅 3.24%;沟播比平作增产 $315.72 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅 4.90%。

降雨量显著影响地膜覆盖栽培的增产效果,并呈负相关关系。以 450 mm、650 mm、850 mm 分别表示干旱年、平水年和丰水年,求解不同降雨年份的基础降雨量加生育期降雨量之和与较 CK1 的籽粒增产率的回归方程显示,干旱年 T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7 的增幅分别为 75.44%、75.77%、75.35%、64.50%、78.73%、84.20%和 64.46%;平水年依次为 55.12%、59.43%、53.47%、45.96%、49.33%、55.92%和 45.52%;丰水年分别为 34.80%、43.09%、31.59%、27.42%、19.93%、27.64%和 26.58%。

2.6 对经济效益的影响

T1 ~ T7 主副产物产值比 CK1 分别提高 49.80%、55.63%、47.16%、40.71%、41.81%、47.75% 和 41.24%;总成本分别增加 20.42%、20.42%、23.43%、28.34%、44.75%、50.76% 和 60.67%,纯收益 T1 ~ T6

分别提高 181.38%、213.27%、153.46%、96.10%、28.65%和 34.26%,T7 下降 45.74%。和 CK2 比较,T1 ~ T6 纯收益分别增长 418.63%、477.41%、367.16%、261.44%、137.12%和 147.46%(表 4)。

表 3 2009—2014 年小麦产量分析
Table 3 The wheat yield from 2009 to 2014

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield/(kg·hm ⁻²)								秸秆产量/(kg·hm ⁻²) Yield of straw			基础降雨生育期降雨总和 (y,mm)与籽粒增产率(x, 比 CK1,%)的回归关系 Regression relation between the basic rainfall plus the hole growth stages rainfall (y,mm) and the percentage increments higher than CK1(x, %)	
	2010	2011	2012	2013	2014	平均 Average	CV/%	比 CK1 增产 Yield increment higher than CK1	比 CK1 增幅 Increased rate of yield higher than CK1/%	年均 Average	比 CK1 增产 Increase higher than CK1		比 CK1 增幅 Increase higher than CK1/%
T1	5415aA	6110abA	7170abcAB	7350abAB	8208abAB	6851abAB	15.996	2250	48.9	9317abcAB	3428	58.2	$y = -0.1016x + 121.16,$ $R^2 = 0.9367$
T2	5500aA	6110abA	7165abcAB	7725aA	9084aA	7117aA	19.709	2516	54.7	9679aA	3790	64.4	$y = -0.0817x + 112.53,$ $R^2 = 0.9725$
T3	5385aA	6115abA	7205abcAB	7140bcAB	7905abcAB	6750bcABC	14.740	2149	46.7	8910cdBC	3021	51.3	$y = -0.1094x + 124.58,$ $R^2 = 0.8890$
T4	5040aA	5785bA	6930bcAB	6775cdBC	7716bcABC	6449cdBC	16.205	1849	40.2	8577dC	2689	45.7	$y = -0.0927x + 106.21,$ $R^2 = 0.8542$
T5	5440aA	6175abA	7285abAB	6420dC	6888cdBC	6442dBC	10.937	1841	40.0	9340abAB	3452	58.6	$y = -0.1470x + 144.88,$ $R^2 = 0.7852$
T6	5535aA	6440aA	7395aA	7485abA	6926cdBC	6756bABC	11.839	2156	46.4	9431abAB	3542	60.2	$y = -0.1414x + 147.83,$ $R^2 = 0.7822$
T7	5070aA	5740bA	6890cB	6725cdBC	7702bcABC	6425dC	16.027	1825	39.7	9188bcAB	3300	56.0	$y = -0.0947x + 107.07,$ $R^2 = 0.8660$
T8	3120bB	3605cB	4815dC	5310eD	6153dC	4601eD	26.936	0.00	0.00	5889eD	0.00	0.00	—
F	16.54	18.769	51.143	22.625	4.865	59.15				78.649			
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0058	0.0001				0.0001			

表 4 2009—2014 年平均经济效益/(元·hm⁻²)
Table 4 The benefit of winter wheat from 2009 to 2014

处理 Treatment	主副 产物 产值 Major- minor cost	物化 成本 Material- ize cost	人工成本 Manual labor cost		总成本 Total cost	纯收益 Net income	与 CK1 比较增加经济效益 Economic efficiency higher than CK1					与 CK2 比较增加经济效益 Economic efficiency higher than CK2				
			数量 /(工日· hm ⁻²) Quantity	折现 金 Cash			产值 Cost	物化 成本 Material- ize cost	人工 成本 Manual labor cost	总成 本 Total cost	纯收 益 Net income	产值 Output value	物化 成本 Material- ize cost	人工 成本 Manual labor cost	总成 本 Total cost	纯收 益 Net income
T1	18305bB	6449aA	139.5cC	5580	12029cC	6276abA	6086	1740	300	2040	4046	1046	480	-4500	-4020	5066
T2	19016aA	6449aA	139.5cC	5580	12029cC	6987aA	6797	1740	300	2040	4757	1757	480	-4500	-4020	5777
T3	17982bB	6449aA	147cC	5880	12329cC	5653bAB	5763	1740	600	2340	3423	723	480	-4200	-3720	4443
T4	17194cC	6340abA	162cC	6480	12820cBC	4374cBC	4975	1631	1200	2831	2143	-65	371	-3600	-3229	3164
T5	17328cC	6179bcAB	207bB	8280	14459bAB	2869dCDE	5109	1470	3000	4470	639	69	210	-1800	-1590	1659
T6	18053bB	6179bcAB	222abAB	8880	15059abA	2995dCD	5834	1470	3600	5070	764	794	210	-1200	-990	1784
T7(CK2)	17259cC	5969cB	252aA	10080	16049aA	1210eE	5040	1260	4800	6060	-1020	0	0	0	0	0
T8(CK1)	12219dD	4709dC	132cC	5280	9989dD	2230deDE	0	0	0	0	0	-5040	-1260	-4800	-6060	1020
F	349.974	57.937	18.225		20.419	24.22										
P	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001										

注:种子 4.0 元·kg⁻¹,纯 N4.9 元·kg⁻¹,P₂O₅ 7.5 元·kg⁻¹,K₂O 8.0 元·kg⁻¹,农药 300 元·hm⁻²,黑色地膜 14.5 元·kg⁻¹,无色地膜 14.0 元·kg⁻¹,机械 900.0 元·hm⁻²,人工 40.0 元·工⁻¹·日⁻¹,籽粒 2.4 元·kg⁻¹,秸秆 0.2 元·kg⁻¹。

Note: seed cost 4.0 yuan·kg⁻¹, pure nitrogen cost 4.9 yuan·kg⁻¹, phosphorus pentoxide cost 7.5 yuan·kg⁻¹, potassium dioxide cost 8.0 yuan·kg⁻¹, pesticide cost 300 yuan·hm⁻², black film cost 14.5 yuan·kg⁻¹, white film cost 14.0 yuan·kg⁻¹, mechanical cost 900.0 yuan·hm⁻², manual labor cost 40.0 yuan·man⁻¹·day⁻¹, grain cost 2.4 yuan·kg⁻¹, straw cost 0.2 yuan·kg⁻¹.

2.7 对土壤水分及水分利用效率的改变

分析 2009—2014 年土壤 0~100 cm 年均含水量表明,小麦出苗、分蘖、越冬、拔节、孕穗、灌浆期差异极显著,返青、成熟期和全生育期不显著。出苗、分蘖、越冬、返青期 T1~T7 之间差异不显著,但均显著高于 CK1。T1~T7 出苗期较 CK1 提高 4.85%~5.98%,分蘖期提高 6.05%~6.86%,越冬期增加 5.03%~6.22%,返青期增长 0.04%~4.27%。拔节期 T1、T2、T3、T4、T7 较 CK1 略高 1.18%~

3.35%,但未达显著水平,T5、T6 显著低于 CK1,降低 6.59%和 3.36%。在孕穗、抽穗、灌浆期,T1~T7 随着叶面积迅速增加,蒸腾加剧,耗水量提高,故均极显著低于 CK1。成熟期 T1~T7 略低于 CK1,但未达显著水平。孕穗期 T1~T7 比 CK1 降低 6.02%~12.59%,抽穗期降低 6.22%~10.86%、灌浆期降低 5.75%~8.58%、成熟期降低 0.32%~7.17%。全生育期含水量各处理差异不显著。T1~T6 与 CK2 比较,各生育期变化较小,且规律一致(图 1)。

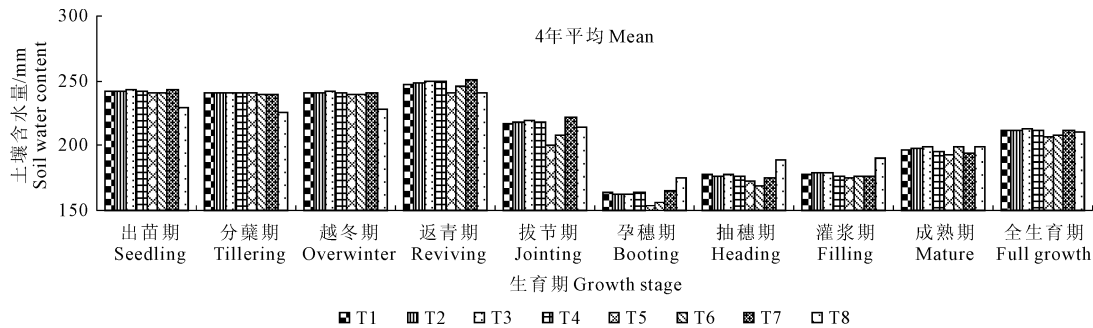


图 1 2009—2014 年小麦生育期 0~100 cm 土壤含水量

Fig.1 The soil water content in 0~100 cm soil layer at different growth stages from 2009 to 2014

黑膜覆盖 0~100 cm 土壤水分较较无色膜全生育期提高 2.30%,以拔节期和孕穗期提高明显,分别提高 7.08%和 5.38%,其它时期提高 0.29%~3.76%。垄作较平作全生育期仅降低 1.30%,垄沟降低 0.51%,降幅最大时期在拔节和孕穗期,垄作较平作降低 5.02%和 3.52%,沟播降低 2.89%和 2.49%。

2009~2014 年小麦平均水分利用效率(表 5),T1~T7 比 CK1 分别提高 45.47%,51.93%,46.02%,35.36%,35.33%,43.68%和 34.27%,T1~T6 比 CK2 分别增加 8.34%,13.15%,8.75%,0.81%,0.79%和 7.00%。

黑膜覆盖平均降雨利用效率比无色膜提高 4.48%,垄作平均较平作增加 4.14%,沟播比平作提高 7.44%。

2.8 对土壤温度的改变

分析年均值表明,小麦出苗~分蘖、分蘖~越冬、返青~抽穗、抽穗~灌浆、灌浆~成熟和全生育期 0~25 cm 土壤积温差异显著,其余时段变化不显著。其特点是,返青前 T1~T7 全部比 CK1 增加,拔节期 T1、T2、T5、T6 增加,其余降低,孕穗期以后全部降低。这主要是因地膜覆盖小麦叶面积大,地面隐蔽所致。从全生育期看,T1、T2、T3、T4、T6、T7 分别降低 3.82℃、0.54℃、121.88℃、29.62℃、8.96℃和 54.22℃,T5 增加 100.88℃;分阶段看,播种至拔节期 T1~T7 比 CK1 分别增加 102.2℃、106.0℃、

43.4℃、84.6℃、187.3℃、103.9℃和 78.5℃;拔节至成熟期 T1~T7 比 CK1 分别降低 106.0℃、106.5℃、165.3℃、114.2℃、86.4℃、112.9℃和 132.7℃(图 2)。

黑膜覆盖平均土壤积温除拔节至孕穗期外,其余时段均高于无色膜,其全生育期降低 108.8℃。垄作平均土壤积温亦除拔节至孕穗期外,其余时段均比平作高,其全生育期较平作增加 90.5℃,沟播各个时期均低于平作,其全生育期降低 23.5℃。这是由于起垄增加了地表面积,从而增加了热量的吸收,沟播虽然起垄方式与垄作相同,但在沟内播种,位置相对降低,传导的热量较少。

3 结论与讨论

采用黑色膜覆盖,十分有效地提高了小麦自动出苗率和控制了膜下茎的发生、发展,自动出苗率比无色膜提高 63.73%,越冬前和返青末期膜下茎密度分别降低 74.42%和 78.22%,鲜重降低 97.96%和 98.98%,并显著抑制杂草,盛期杂草密度和鲜重分别比露地降低 70.00%和 92.93%,比无色膜覆盖下降 62.03%和 96.70%。这与张立功等^[23]研究结果相同。黑膜覆盖土壤温度的变化规律同于无色膜覆盖,以小麦拔节始期为临界,前增后降。其全生育期 0~25 cm 土壤积温比无色膜覆盖降低 108.8℃,比露地降低 62.9℃,在播种至拔节期黑膜覆盖比无色膜降低 72.8℃,但较露地增加 72.8℃,拔节至成熟比无色膜和露地分别降低 36.0℃和 135.7℃,其

表 5 2009—2014 年小麦水分利用效率
Table 5 The water use efficiency of wheat from 2009 to 2014

处理 Treatment	项目 Item	土壤贮水量 Soil water storage/mm		耗水量 Water usage /mm	降水利用率 Utilization efficiency of precipitation/%	水分利用 效率 WUE /(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	比 CK1 水分利 用效率增加 Increase higher than that for CK1/%
		播前	收后				
		Before sowing	After harvest				
T1	平均 Mean	466.55	397.62aA	373.05aA	64.69	18.36abcAB	45.47
	CV/%	21.642	33.654	20.172	18.087	6.431	
T2	平均 Mean	466.55	399.59aA	371.08aA	64.35	19.18aA	51.93
	CV/%	21.642	33.322	20.086	17.881	3.495	
T3	平均 Mean	466.55	404.48aA	366.19aA	63.50	18.43abAB	46.02
	CV/%	21.642	32.801	17.041	16.045	6.223	
T4	平均 Mean	466.55	393.23aA	377.44aA	65.45	17.09bcB	35.36
	CV/%	21.642	35.101	15.298	15.935	5.620	
T5	平均 Mean	466.55	393.59aA	377.08aA	65.39	17.08bcB	35.33
	CV/%	21.642	32.326	18.788	15.640	13.321	
T6	平均 Mean	466.55	399.26aA	371.42aA	64.41	18.14abcAB	43.68
	CV/%	21.642	33.059	18.360	16.450	12.748	
T7	平均 Mean	466.55	391.58aA	379.09aA	65.74	16.95cB	34.27
	CV/%	21.642	34.834	18.532	17.227	6.285	
T8	平均 Mean	466.55	406.23aA	364.45aA	63.20	12.62dC	0.00
	CV/%	21.642	32.528	26.163	23.194	13.402	
F 值 F value			0.85	0.583		17.252	
P 值 P value			0.5663	0.7588		0.0001	

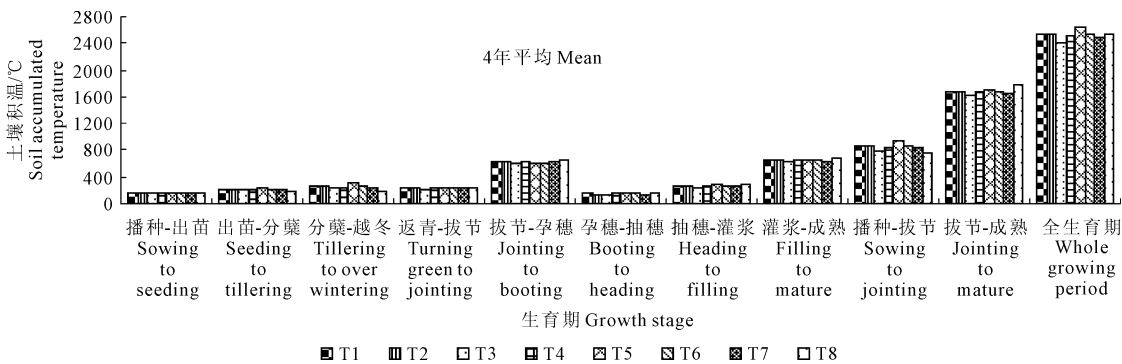


图 2 2009—2014 年小麦 0~25 cm 土壤年均积温/℃

Fig.2 The ground accumulated temperature in 0~25 cm soil layer from 2009 to 2014

地温特点利于培育壮苗,减轻春冻害和延长灌浆。黑膜覆盖土壤水分变化特征同于无色膜,水分利用效率比无色膜提高 4.48%,比露地提高 45.75%,其与曹寒等^[24]的研究一致。冬小麦采用无色膜覆盖,膜下由于有足够的光、热、水条件,膜下茎易发生、发展。采用黑膜覆盖,并保持播种孔开张,利用植物向光性,出苗自然顺畅。较小部分因整地、播种不良等因素造成的串苗,受弱光照的限制生长纤细瘦弱,无放苗价值,从而实现了全程免放苗栽培。

不同起垄方式之间,以垄作优于平作和沟播。垄作比平作小麦自动出苗率提升 44.00%,沟播则降低 23.8%;在冬前和返青期,膜下茎密度垄作降低 48.65% 和 35.59%,沟播增加 39.93% 和 25.64%,膜下茎鲜重垄作降低 30.62% 和 33.21%,

沟播增加 18.05% 和 12.09%。垄作比平作增加积温 90.5℃,沟播降低 23.5℃。垄作、沟播分别比平作增产 3.24% 和 4.90%,这与杨长刚等^[25],高成芳、张平良等^[14-15]研究结果相同。垄作因采用垄上播种沟内覆土,播种部位地膜充分裸露无板结,防止了板苗。且播种不受覆土薄厚的影响,种子播种到位;沟播由于沟内覆土,出苗期遇雨覆土会板结,不利于出苗。垄作和沟播由于沟垄组合,提高集雨聚水效果,尤其对小雨和无效降雨进行了有效地叠加、收集和利用,水分利用效率垄作较对照提高 4.14%,沟播提高 7.44%。且垄作由于仅在沟内覆土,膜面覆土量减少 75%,易清除残膜。

“微垄沟/半微垄沟+黑色膜+垄作”是小麦地膜全覆盖穴播的最佳组合,和全膜覆土穴播相比,其

自动出苗率平均提高 146.93%,膜下茎密度降低 98.74%以上,杂草鲜重降低 99.90%以上,全生育期增加土壤积温 52.0℃,水分利用效率提高 10.75%,增产 8.68%,节本 4 020 元·hm⁻²,增加纯收益 5 422 元·hm⁻²。其具有增温、集雨、保墒、免放苗、少除草、残膜易清除等效果,实现了小麦全膜穴播的简约高效栽培。两个垄作模式中,通用垄沟半微垄模式具有宽窄行距的特点,且适宜机械化作业,较微垄模式水分利用效率略提高 4.44%,增产 3.89%,增收 11.33%,并可广泛适用于密植半密植作物。

参 考 文 献:

[1] 侯慧芝,吕军峰,郭天文,等.全膜覆土栽培对作物的水温效应[J].麦类作物学报,2012,32(6):1111-1117.

[2] 李来祥,刘广才,杨祁峰,等.甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与进展[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):114-118.

[3] 李尚中,王 勇,樊廷录.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.

[4] 蒲金涌,邓振镛,姚小英,等.甘肃省冬小麦生态气候分析及适生种植区划[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):179-185,196.

[5] 王虎全,韩思明,唐拴虎,等.渭北旱原冬小麦全程地膜覆盖超高产栽培技术研究[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):24-30.

[6] 韩思明.黄土高原旱作农田降水资源高效利用的技术途径[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):1-9.

[7] 樊廷录,王 勇,崔明九.旱地地膜小麦研究成效和加快发展的必要性及建议[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):27-32.

[8] 李 儒,崔荣美,贾志宽,等.不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(16):3312-3322.

[9] 岳维云,宋建荣,赵尚文,等.不同覆膜方式对地温及冬小麦地上干物质累积规律的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(7):133-139.

[10] 高成芳,田晓峰,张二喜,等.旱地小麦覆膜沟穴播集雨增产技

术多点试验研究及生产示范[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):14-19.

[11] 莫 非,周 宏,王建永,等.田间微集雨技术研究及应用[J].农业工程学报,2013,29(8):1-17.

[12] 张保军,郭立宏.浅谈我国地膜小麦的理论研究与实践应用[J].水土保持研究,2000,7(1):54-58,84.

[13] 樊廷录,王 勇,王立明,等.旱地冬小麦周年地膜覆盖栽培的增产机理及关键技术研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):1-7.

[14] 高成芳,田晓峰,张二喜,等.山旱地冬小麦地膜覆盖沟穴播接纳雨水试验研究初报[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):39-43.

[15] 张平良,郭天文,侯慧芝,等.不同穴播种植方式与平衡施肥对旱地春小麦产量及其水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):132-137,93.

[16] 陈玉章,柴守玺,范颖丹,等.覆盖模式对旱地冬小麦土壤温度和产量的影响[J].中国农业气象,2014,35(4):403-409.

[17] 张淑芳,柴守玺,蔺艳春,等.冬小麦地膜覆盖的水分效应[J].甘肃农业大学学报,2011,46(2):45-52.

[18] 张美英,吴美荣,晋宗道.小麦地膜覆盖栽培技术的研究与应用[J].西南农业学报,2001,14(3):33-38.

[19] 刘广才,刘生学,李城德,等.不同旱作区覆膜方式对小麦产量的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(4):34-29.

[20] 李 福,刘广才,李诚德,等.旱地小麦全膜覆土穴播技术的土壤水分效应[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):73-78,98.

[21] 郭振斌,刘广才,李诚德,等.旱地小麦全膜覆土穴播技术肥料效应研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):163-168.

[22] 赵广才.中国小麦种植区划研究(一)[J].麦类作物学报,2010,30(5):886-895.

[23] 张立功,刘五喜,马建辉,等.旱地冬小麦黑膜全覆盖穴播栽培 4 种方式比较[J].甘肃农业科技,2013,(9):15-19.

[24] 曹 寒,吴淑芳,冯 浩,等.不同颜色地膜对土壤水热和冬小麦生长的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(4):5-9.

[25] 杨长刚,柴守玺,常 磊,等.不同覆膜方式对旱作冬小麦耗水特性及籽粒产量的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):661-671.

(上接第 31 页)

[9] Ndubuisi M C. Physical properties of an ultisol under plastic film and no-mulches and their effect on the yield of maize[J]. Journal of American Science,2009,5(5):25-30.

[10] El-Nemr M A. Effect of mulch types on soil environmental conditions and their effect on the growth and yield of cucumber plants[J]. Journal of Applied Sciences Research,2006,2(2):67-73.

[11] 赵小蓉,蒲 波,李 浩,等.秸秆覆盖栽培对油菜土壤含水率和产量的影响[J].西南农业学报,2010,23(2):354-358.

[12] 海 龙.黄土高原地膜覆盖栽培玉米的产量与土壤生态效益[D].兰州:兰州大学,2011.

[13] 卜玉山,苗果园,王建程,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.

[14] 张 惠,李 娟,贾志宽,等.渭北旱塬不同覆盖材料对旱作农田土壤水分及春玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):93-100.

[15] 杨彩红,柴 强,黄高宝.荒漠绿洲区交替灌溉小麦/玉米间作水分利用特征研究[J].中国生态农业学报,2010,18(4):782-786.

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

[17] 李 荣,张 睿,贾志宽.不同覆盖材料对耕层土壤温度及玉米出苗的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):13-16.

[18] 贺 欢,田长彦,王林霞.不同覆盖方式对新疆棉田土壤温度和水分的影晌[J].干旱区研究,2009,26(6):826-831.

[19] 刘春生,杨吉华,马玉增,等.对板栗园树盘土壤双重覆盖的效应研究[J].农业工程学报,2004,20(1):69-71.

[20] 任小龙,贾志宽,陈小莉.不同模拟雨量下微集水种植对农田水肥利用效率的影响[J].农业工程学报,2010,26(3):75-81.

[21] 李建奇.地膜覆盖对春玉米产量、品质的影响机理研究[J].玉米科学,2008,16(5):87-92.