文章编号:1000-7601(2022)06-0212-12 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2022.06.23

不同覆盖方式和灌水定额对河西绿洲食葵农田土壤水热、养分和产量的影响

惠施佳[1,2], 张金霞[1]

(1. 甘肃农业大学水利水电工程学院,甘肃 兰州 730070;2.新疆水利厅水资源规划研究所,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘　要:为明确不同覆盖方式结合灌水定额在食葵种植中的增产机制,以无覆盖(N)种植为对照,设置地膜覆盖(S)、秸秆覆盖(F)和碎麦秸垫式膜覆盖(SF)共 3 种覆盖方式,结合 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$(H)和 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$(M)2 个灌水定额,对食葵农田土壤水热、养分及产量展开研究。结果表明:覆盖处理结合不同灌水定额均较无覆盖种植增加土壤贮水量,其中当灌水定额为 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,SF 和 F 显著增加 23.89%和 12.37%、S 增加了 6.50%;当灌水定额为 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,SF、F、S 分别显著增加 20.64%、8.23%、6.96%。覆盖处理结合不同灌水定额对土壤温度的影响不同,其中当灌水定额为 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,SF 和 F 较 N 提高 2.82%~7.43%,S 较 N 降低 4.3%;当灌水定额为 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,SF 和 F 均高于 N,增幅为 1.40%~6.87%。覆盖处理结合不同灌水定额可提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量,其中 SF 处理有机质、速效磷、速效钾和碱解氮含量较 N 处理分别显著增加 16.7%、15.2%、12.8%和 16.5%,F 和 S 处理有机质、速效磷和速效钾较 N 处理分别提高 6.3%~6.8%、4.7%~7.8%和 8.6%~8.8%。覆盖处理结合不同灌水定额可提高食葵产量及水分利用效率,其中 SFH、SH、FH、SFM、FM 处理分别较 N 处理增产 25.9%、6.7%、10.4%、18.2%、15.2%,SM 降低了 3.1%,SFM 处理水分利用效率提高 6.3%。综上所述,SFM 处理在改善食葵土壤水热、增加土壤养分、提高食葵产量及水分利用效率方面具有较大优势,故 SFM 种植模式是适宜于河西绿洲食葵种植的农业生产技术。

关键词:食葵;灌水定额;贮水量;碎麦秸垫膜覆盖;产量

中图分类号:S274;S565.5　　**文献标志码**:A

Effects of different mulching patterns and irrigation quotas on soil hydrothermal, nutrients and yield of sunflower farmland in Hexi Oasis

HUI Shijia[1,2], ZHANG Jinxia[1]

(1. *College of Water Conservancy and HydropowerEngineering*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*;
2. *Water Resources Planning and Research Institute of Xinjinag Water Resources Department*, *Urumqi*, *Xinjiang* 830000, *China*)

Abstract: To clarify the yield-increasing mechanism of different mulching methods combined with irrigation quota in sunflower planting, three mulching methods including plastic film mulching (S), straw mulching (F) and straw mat mulching with crushed wheat straw (SF) and no mulching (N) as the control were set up in this study. Two irrigation quotas were 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$(H) and 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$(M). The soil water and temperature, nutrients and yield of sunflower were studied. The results showed that mulching treatments combined with different irrigation quotas increased soil water storage compared with non-mulching planting. When the irrigation quota was 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$, SF and F increased by 23.89% and 12.37%, and S increased by 6.50%. When the irrigation quota was 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$, SF, F and S significantly increased by 20.64%, 8.23% and 6.96%, respectively. Mulching combined with different irrigation quota had different effects on soil temperature. When the irrigation quota was 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$, SF and F increased by 2.82%~7.43%, and S decreased by 4.3% compared with N. When the irrigation

收稿日期:2021-12-31　　**修回日期**:2022-04-24

基金项目:2021 年甘肃省高等学校创新基金项目(2021B-138);甘肃农业大学学科建设专项基金项目(GAU-XKJS-2018-079);国家自然科学基金项目(51509039)

作者简介:惠施佳(1992-),女,甘肃定西人,硕士,主要从事农业节水和水土资源高效利用研究。E-mail:18393915098@163.com

通信作者:张金霞(1976-),女,甘肃民勤人,副教授,主要从事农业节水和灌区荒漠化防治研究。E-mail:zhangjinxia@gsau.edu.cn

quota was 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$, SF and F were higher than N, with an increase of 1.40%~6.87%. Mulching treatment combined with different irrigation ration increased the contents of soil alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium, and organic matter. Compared with N treatment, SF treatment significantly increased the contents of organic matter, available phosphorus, available potassium, and alkali-hydrolyzed nitrogen by 16.7%, 15.2%, 12.8% and 16.5%, respectively. Compared with N treatment, F and S treatments increased organic matter, available phosphorus, and potassium by 6.3%~6.8%, 4.7%~7.8% and 8.6%~8.8%, respectively. Mulching treatment combined with different irrigation quota increased the yield and water use efficiency (*WUE*) of sunflower. Compared with N treatment, SFH, SH, FH, SFM and FM treatments increased by 25.9%, 6.7%, 10.4%, 18.2% and 15.2%, respectively, while SM decreased by 3.1% and SFM treatment increased *WUE* by 6.3%. In conclusion, SFM treatment had great advantages in improving soil moisture and temperature of sunflower, increasing soil nutrients, sunflower yield, and water use efficiency. Therefore, SFM planting pattern is a suitable agricultural production technology for sunflower cultivation in Hexi oasis.

Keywords: sunflower; irrigation quota; water storage; broken wheat straw cushion film mulch; yield

我国西北地区河西绿洲地域辽阔,具有丰富的光热资源,适宜小麦、玉米等一年一熟粮食作物的种植,但该区特殊的地形和河谷的狭管效应,导致气候条件恶劣且常年沙尘暴不断[1];此外,该区降水稀少,地表植被覆盖率极低,沙漠或裸露荒地分布广泛,导致生态环境逐渐恶化,阻碍了农业生产的可持续发展[2-4]。食葵是一种喜温耐旱作物,对土壤的要求相对较低,在各类土壤中均能生长[5],有较强的耐盐碱能力[6],是民勤地区重要经济作物,但限于该区水资源不足、土壤质量低下等条件,食葵产量常年低而不稳。因此,研发以提高土壤质量、改善土壤水分利用效率为核心的农业生产技术,是实现该区食葵稳产高产的关键。

覆盖种植包括地膜、秸秆等具有较好的蓄水调温等特点,研究表明,覆盖种植有利于提高水分利用效率[7],同时可增加作物产量[8],是近年来西北地区农作物生产中应用较为广泛的农业措施技术。但也有研究表明,地膜覆盖在提高作物产量的同时,造成的残膜旧膜难回收、影响作物根系发育等问题突出[9-10]。研究表明,秸秆覆盖有明显降温效果,因此单一秸秆覆盖易造成水分损耗及低温效应造成出苗率下降减产等负效应[11-13],也有学者发现,秸秆覆盖同时具有增墒和减墒的双重效应[14-15]。

碎麦秸垫式膜覆盖是一种新型的二元覆盖方式,可以解决地膜覆盖造成的难剥离和污染问题,也可以更好地发挥秸秆覆盖的优点,具有提高籽粒产量和水分利用效率[16-18],蓄水调温[19]、改善土壤质地[20]等特点。受西北地区特殊的气候条件、生态环境等的影响,不同覆盖方式造成的土壤水热和养分变化均存在较大差异。因此,本研究在甘肃民勤绿洲开展田间试验,以无覆盖种植为对照,设置 3 种覆盖方式和 2 种灌水定额条件,探究覆盖方式结合灌水对食葵土壤水热、养分、籽粒产量及水分利用效率的影响,旨在深化理解覆盖种植增产机理,进而选择一种适合民勤绿洲食葵的最佳种植模式,为提高该地食葵产量及水分利用效率提供理论和实践依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验于 2017 年 4—9 月在民勤县城以北约 13.5 km 处的大滩乡东大村进行,该区海拔 1 250 m,属典型的大陆性荒漠气候。多年平均气温 7.8℃,平均湿度 45%,多年平均降水 110 mm,多年平均蒸发量 2 644 mm。年均风速 2.2 $m \cdot s^{-1}$,全年平均扬沙 59 d,年日照时数 3 028 h,无霜期 150 d。试验区土质 0~60 cm 为粘壤土,60 cm 以下为沙壤土,土壤平均容重 1.54 $g \cdot cm^{-3}$。该区主要依靠低水质的地下咸水灌溉农业,全年有效降水不足以淋溶出植物根区盐分,盐分在土壤中不断累积,且上游来水量呈递减趋势,地下水埋深逐年下降,作物根区土壤水分不能靠地下水补给,农田土壤水分以上行为主,表层含盐量高。试验期研究区平均气温 20.10℃,平均风速 1.34 $m \cdot s^{-1}$。总降雨量 2.62 mm,降雨时间集中在 4、6 和 7 月。

1.2　试验设计

本试验设置 3 种覆盖方式及 2 个灌水定额,其中,覆盖方式包括秸秆覆盖(秸秆量为 4 500 $kg \cdot hm^{-2}$)、地膜覆盖、碎麦秸垫膜覆盖(秸秆量为 4 500 $kg \cdot hm^{-2}$),灌水定额包括 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 和 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$,以无覆盖种植为对照。各处理设 3 次重

复,试验小区随机布置,面积为 35 m^2(17.5 m × 2 m),在整个生育期内,各处理的农艺措施(底肥量、播种量等)、灌水次数和灌溉时间均相同。为了保证出苗均匀性,播种前统一灌水(900 $m^3 \cdot hm^{-2}$),底肥用量为尿素(含 N≥46.3%)225 $kg \cdot hm^{-2}$、复合肥 300 $kg \cdot hm^{-2}$、磷酸二铵 300 $kg \cdot hm^{-2}$。

以当地主栽食用型向日葵品种'TKC-2008'为供试材料,播种深度 3 cm,每小区 4 行,行距 50 cm,株距 35 cm,于 4 月 29 日播种,8 月 19 日收获,共设 8 个处理,详见表 1。

表 1 试验处理设计

Table 1 Experimental design

处理代号 Treatment code	处理 Treatment	灌水方法 Irrigation method	灌水定额 Irrigation quota /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	说明 Instruction
C	无覆盖 No mulching	畦灌 Border irrigation	0	露地不覆盖 Open ground was not covered
NH	无覆盖 No mulching	畦灌 Border irrigation	900	露地不覆盖 Open ground was not covered
SH	秸秆覆盖 Straw mulching	畦灌 Border irrigation	900	长秸秆覆于土壤表面,秸秆量为 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$ Long straw covered on the soil surface, straw capacity of 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$
FH	地膜覆盖 Plastic film mulching	传统膜上灌 Traditional irrigation on film	900	土壤表面覆有地膜 Mulch covered the surface of the soil
SFH	碎麦秸垫膜覆盖 Plastic film mulching by crushed wheat straw padding	碎麦秸垫式膜上灌 Irrigation on film by crushed wheat straw padding	900	土壤表面与地膜间形成 1~2 cm 的碎麦秸垫层,秸秆量为 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$ A 1~2 cm straw cushion was formed between the soil surface and the plastic film, and the straw capacity was 4 500$m^3 \cdot hm^{-2}$
NM	无覆盖 No mulching	畦灌 Border irrigation	750	露地不覆盖 Open ground was not covered
SM	秸秆覆盖 Straw mulching	畦灌 Border irrigation	750	长秸秆覆于土壤表面,秸秆量为 4 500 $kg \cdot hm^{-2}$ Long straw covered on the soil surface, straw capacity of 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$
FM	地膜覆盖 Plastic film mulching	传统膜上灌 Traditional irrigation on film	750	土壤表面覆有地膜 Mulch covered the surface of the soil
SFM	碎麦秸垫膜覆盖 Plastic film mulching by crushed wheat straw	碎麦秸垫式膜上灌 Irrigation on film by crushed wheat straw padding	750	土壤表面与地膜间形成 1~2 cm 的碎麦秸垫层,秸秆量为 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$ A 1~2 cm straw cushion was formed between the soil surface and the plastic film, and the straw capacity was 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$

1.3 观测指标

1.3.1 气象资料 运用试验基地的农田自动微气象站,即气象生态环境监测系统,观测地温、降雨量、空气温度、蒸发量、空气湿度等气象数据。

1.3.2 土壤含水率 采用烘干法测定土壤含水率。用土钻取土,测定深度为 120 cm,其中 0~10 cm 土层每 5 cm 取样,10~120 cm 土层每 10 cm 取样。播种前和每次灌水后加测含水率。

土壤贮水量的计算公式为:

$$W = \sum_{i=1}^{n} (\Delta\theta_i \times Z_i) \quad (1)$$

式中,W 为土壤贮水量(mm);$\Delta\theta_i$ 为第 i 层土壤的体积含水量(%);Z_i 为第 i 土壤层厚度(mm);i 为土壤层次编号,共13层($n = 13$),耗水量由水分平衡方程计算[20]:

$$ET = \Delta W + P + I - D + W_g - R \quad (2)$$

式中,ΔW 土壤贮水量变化量(mm);P 为生育期 ≥ 5 mm 有效降水量(mm);I 为灌水量(mm);D 为灌水向下流动量(mm);W_g 为深层地下水利用量(mm);R 为地表径流量(mm);ΔW 为贮水量的变化量(mm)。本试验中,不考虑 D、W_g 和 R。

水分利用效率采用式(3)进行计算:

$$WUE = Y/ET \quad (3)$$

式中,WUE 为水分利用效率($kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$);$Y$ 为食葵实际籽粒产量($kg \cdot hm^{-2}$)。

1.3.3 土壤温度 采用地温计测定土壤温度。测定 0(土壤表层)、5、10、15、20、25 cm 深度土层温度。每周观测 1 次,观测时间为 6:00—20:00,每小时观测 1 次。

1.3.4　作物生长指标　记录食葵各个生育期的灌水次数、灌溉水量、灌溉时间。食葵的播种时间、播种量、收获时间和产量,以及食葵的株高和茎粗(每个生育期测 1 次)等。

1.3.5　土壤样品养分指标　采用酸度计(YSI pH 100)测定土壤 pH;采用碱解扩散法测定土壤碱解氮;采用 0.5 mol · L^{-1} $NaHCO_3$滴定法测定土壤速效磷;由 NH_4OAc 浸提,采用火焰光度计测定土壤速效钾;采用重铬酸钾容量法-外加热法测定土壤有机质。

1.4　统计方法

采用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 进行数据处理,采用 Origin 2017 和 Excel 2010 进行图表绘制。采用 Duncan 法进行差异显著性分析,显著性水平设置为 $\alpha=0.05$。

2　结果与分析

2.1　不同覆盖方式对土壤贮水量的影响

由图 1A、B 可以看出,不同处理土壤贮水量随食葵生育期的推进总体表现播种初期最大,而后逐渐减小的趋势。对于不同覆盖方式,SF 较其他覆盖方式对土壤贮水量影响显著。当灌水定额为 900 m^3 · hm^{-2}时,SF 和 F 处理土壤贮水量较 N 显著增加 23.89%和 12.37%,S 增加了 6.50%。当灌水定额 750 m^3 · hm^{-2}时,SF 处理土壤贮水量较 N 显著增加 20.64%,F 和 S 较 N 的增幅为 6.96%~8.23%。说明碎麦秸垫膜覆盖对土壤贮水量的影响优于地膜覆盖、秸秆覆盖和无覆盖,对土壤储水具有着促进作用。

2.2　不同覆盖方式对土壤温度的影响

在食葵整个生育期土壤平均温度变化如图 2 所示,各处理土壤温度总体表现为随土层深度的增加而降低。当灌水定额为 900 m^3 · hm^{-2}时,SF、F 较 N 增幅为 2.82%~7.43%,S 较 N 降低 4.30%;当灌水定额为 750 m^3 · hm^{-2}时,SF 和 F 均高于 N,增幅为 1.4%~6.87%,S 与 N 处理之间无显著差异($P>0.05$)。两种灌水定额情况下,F 处理土壤温度最大,S 处理土壤温度最小,说明地膜覆盖对土壤温度的影响具有促进作用。

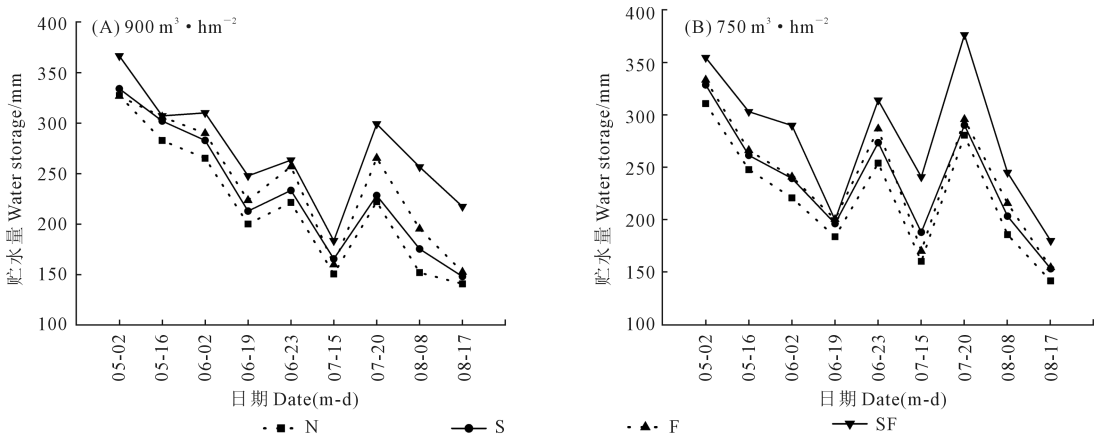


图 1　不同覆盖方式对土壤贮水量的影响

Fig.1　Effects of different mulching methods on soil water storage

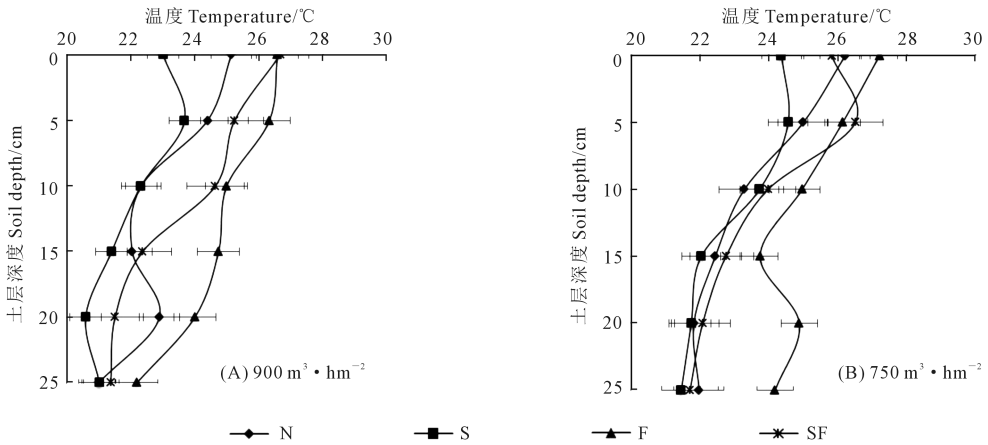


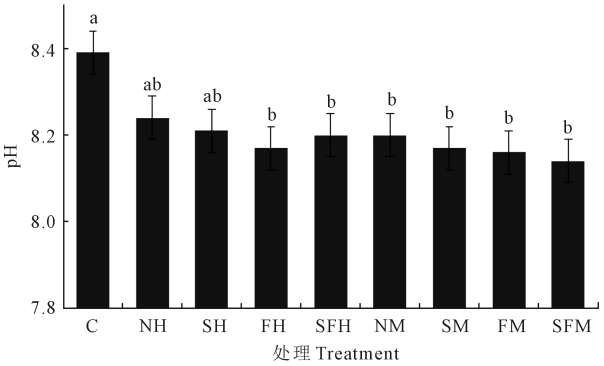
图 2　不同覆盖方式对土壤温度的影响

Fig.2　Effects of different mulching methods on soil temperature

2.3 覆盖方式和灌水定额对土壤理化性质的影响

2.3.1 土壤 pH 图 3 可见,C 为播种前土壤 pH 初始值,不同覆盖处理下土壤 pH 存在降低趋势,且播种后土壤 pH 值明显低于播种前,可知种植食葵可明显改善土壤的盐碱性。当灌水定额为 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,N、S、F 和 SF 较播种前土壤 pH 降低1.79%、2.15%、2.62%和 2.26%,地膜覆盖对土壤 pH 值降低效果较其他覆盖方式明显。当灌水定额为 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,N、S、F 和 SF 较播种前土壤 pH 显著降低 2.26%、2.62%、2.74%和 2.98%,碎麦秸垫膜覆盖(SF)对土壤 pH 值的影响较其他覆盖方式明显。说明不同覆盖方式可以有效降低土壤 pH 值,较播种前降幅 2.15%~2.98%。

2.3.2 土壤有机质 由表 2 可知,不同覆盖方式下土壤有机质含量随着土层的增加而降低,0~20 cm



注:不同小写字母表示 Duncan 多重比较不同处理在 5%水平下差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between Duncan multiple comparison and different treatments at 5% level.

图 3 不同覆盖方式对土壤 pH 值的影响

Fig.3 Effects of different mulching methods on soil pH value

表 2 不同处理方式对不同土层土壤养分的影响

Table 2 Soil nutrients in different soil layers of different treatments

测定指标 Indicator	处理 Treatment	土层深度 Soil depth/cm					
		0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120
土壤有机质含量/(mg·kg^{-1}) Soil organic matter content	NH	3.98bc	3.24bc	2.73cd	1.81d	1.53c	1.46b
	SH	4.65ab	3.09bc	3.01b	2.59b	2.03b	1.54b
	FH	4.32bc	3.31bc	2.91bc	2.39bc	1.57c	1.53b
	SFH	4.69ab	3.06bc	2.45e	1.90d	1.50c	1.42b
	NM	3.93bc	3.02c	2.92bc	2.21c	1.84bc	1.21b
	SM	3.65c	3.22bc	2.57de	2.38bc	1.90bc	1.38b
	FM	3.91bc	3.35b	2.38e	2.58b	2.11b	1.52b
	SFM	5.27a	3.94a	3.56a	3.55a	2.51a	2.06a
土壤碱解氮含量/(mg·kg^{-1}) Soil alkali-hydrolyzed nitrogen content	NH	17.68d	11.20c	9.28c	6.34g	4.33e	3.02d
	SH	18.08cd	12.29bc	9.01c	6.96e	5.86d	4.64c
	FH	18.49cd	11.64bc	10.37b	7.31d	6.74c	4.51c
	SFH	19.80b	13.38b	8.01d	6.65f	5.69d	5.38b
	NM	18.75c	12.91bc	10.02b	8.71b	8.66b	6.87a
	SM	17.65d	12.60bc	10.19b	8.23c	6.61c	5.43b
	FM	16.39e	12.08bc	9.06c	6.78ef	6.91c	4.64c
	SFM	23.95a	17.73a	13.71a	10.49a	9.38a	6.89a
土壤速效磷含量/(mg·kg^{-1}) Soil available phosphorus content	NH	19.33c	8.80d	6.98c	6.28c	7.00b	6.45c
	SH	19.73c	10.43cd	8.79a	6.33c	6.40b	7.54a
	FH	20.45c	9.94cd	7.30bc	8.28a	6.70b	5.88d
	SFH	23.79b	10.14cd	7.19c	7.00b	6.76b	6.43c
	NM	20.60c	10.05cd	6.21d	6.91bc	6.71b	7.18b
	SM	20.67c	10.91bc	7.21c	6.78bc	6.76b	6.50c
	FM	20.99c	12.3ab	7.94b	7.39b	7.88a	6.93b
	SFM	27.31a	13.44a	8.64a	8.38a	7.01b	6.55c
土壤速效钾含量/(mg·kg^{-1}) Soil available potassium content	NH	258.65c	163.79bcd	158.49c	112.79e	103.81d	104.46e
	SH	287.65b	176.58bc	173.45c	153.90d	123.74cd	110.41e
	FH	223.64d	155.94cd	172.76c	138.65d	123.26cd	118.23de
	SFH	210.82d	147.85d	164.83c	133.15de	129.64c	131.2de
	NM	275.83b	184.61b	200.58b	178.01c	158.03b	143.48cd
	SM	271.75b	179.10bc	211.56ab	211.06b	176.89b	159.61bc
	FM	256.48c	184.94b	231.63a	238.76a	214.95a	181.55ab
	SFM	332.02a	219.20a	235.28a	232.54a	212.34ab	194.41a

注:不同小写字母表示 Duncan 多重比较不同处理在 5%水平下差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between Duncan multiple comparison and different treatments at 5% level. The same below.

土层土壤有机质含量最大的为 SFM,较 NH、SH、FH、SFH、NM、SM、FM 分别显著增加 24.5%、11.0%、18.0%、11.8%、25.4%、30.7%、25.8%。20~40 cm 土层中不同处理土壤有机质含量大小表现为 SFM>FM>FH>NH>SM>SH>SFH>NM,其中 NH、SH、FH、SFH 和 SM 处理间无显著差异;40~60 cm 土层中不同处理土壤有机质含量大小表现为 SFM>SH>NM>FH>NH>SM>SFH>FM;60~120 cm 土层中不同处理土壤有机质含量最大的为 SF 处理,较无覆盖处理显著增加 16.7%,F 和 S 分别较无覆盖增加 6.3%~6.8%。

2.3.3　土壤碱解氮　由表 2 可知,土壤碱解氮含量在 0~20 cm 土层含量最高,且随着土层深度增加碱解氮呈降低趋势。0~20 cm 土层中,SFM 处理土壤碱解氮含量最高,说明碎麦秸垫膜覆盖对浅层土壤碱解氮含量有促进作用,FM 处理土壤碱解氮含量最低。20~40 cm 土层中,SFM 处理土壤碱解氮含量最高,SH、FH、NM、SM 和 FM 无显著性差异,NH 处理土壤碱解氮含量最低。40~120 cm 土层中 SFM 处理土壤碱解氮含量最高。SF 土壤碱解氮含量较无覆盖显著增加 16.5%,F 和 S 分别较无覆盖处理降低了 6.3%和 6.8%。

2.3.4　土壤速效磷　由表 2 可知,土壤速效磷含量随着土层深度的增加而降低,0~20 cm 土层中,SFM 处理土壤速效磷含量最高,SFH 次之,NH、SH、FH、NM、SM 处理和 FM 处理差异性不显著。20~40 cm 土层中,SFM 处理土壤速效磷含量最高,NH 处理最低,说明覆盖方式对土壤速效磷的含量有一定的促进作用。40~60 cm 土层中,SFM 和 SH 处理土壤速效磷含量较高,NM 处理较低。60~120 cm 土层中,土壤速效磷含量变化不在明显,较浅层土壤速效磷含量有明显减少,说明土壤速效磷大部分积聚在浅层土壤中,且有碎麦秸秆覆盖下的土壤速效磷含量较其他覆盖高。SF 和 F 处理土壤速效磷含量分别较无覆盖处理显著增加 15.2%和 7.8%。

2.3.5　土壤速效钾　由表 2 可知,不同处理方式下不同土层土壤速效钾含量不同,土壤速效钾含量在 0~20 cm 土层含量最高,随着土层的增加,土壤速效钾含量依次降低。0~20 cm 土层中,SFM 处理土壤速效钾含量最高,NH 和 FM 处理较低,说明无覆盖和地膜覆盖下的土壤速效钾含量较低。20~40 cm 土层中,SFM 处理土壤速效钾含量最高,依次为 FM、NM、SM、SH、NH、FH 和 SFH。40~60 cm 土层中,SFM 处理土壤速效钾含量最高,FM 次之。60~120 cm 土层中,SFM 和 FM 处理土壤速效钾含量较高,NH 处理较低。SF 处理土壤速效钾含量较无覆盖处理增加 12.8%,F 和 S 处理较 N 处理增加 8.6%~8.8%。

2.4　覆盖方式和灌水定额对食葵生长及产量的影响

2.4.1　食葵株高　由表 3 可知,食葵的株高随着生育期的推进而增加,在开花期之前生长速度较快,而在此之后生长缓慢。在食葵出苗期株高较高的为 FM 和 SFH 处理,生长较缓的为 NH、SH、NM 和 SM 处理,且无显著性差异,说明在食葵的出苗期无覆盖和秸秆覆盖对食葵株高生长没有促进作用。在食葵现蕾期生长最快的为 FH 处理,SFH 处理次之,说明地膜覆盖和高灌水定额在食葵的现蕾期对株高影响较大。在食葵开花期,食葵株高最大的为 FH 和 SFM 处理,最小的为 SH 处理。灌浆期食葵株高较大的为 FH 和 SFH 处理,较小的为 NH 和 NM 处理,说明无覆盖对食葵株高的生长没有促进作用。成熟期食葵株高较大的为 FH 和 SFM 处理,较小的为 NM 处理。说明地膜覆盖对食葵株高有促进作用。

2.4.2　食葵茎粗　由表 3 可知,食葵茎粗随着生育期逐渐增加,并成熟期达到最大值。食葵出苗期,FM 处理食葵茎粗最大,说明地膜的保温作用可以促进食葵茎粗的生长。在现蕾期,食葵茎粗最大的为 FH 处理,最小的为 SM 处理,说明地膜覆盖和高灌水定额对食葵茎粗的生长有促进作用,未经处理的长秸秆覆盖对食葵茎粗的生长不益。食葵开花期和灌浆期,茎粗最大的为 FH 处理,较小的为 SH、NH 和 SM 处理。在食葵成熟期,不同处理对应的食葵茎粗无显著性差异。

2.4.3　食葵器官产量　由表 4 可知,不同处理对应的食葵器官产量所占比例不相同,从表 4 可以看出,不同器官产量处理表现为花盘>籽粒>茎>叶片,且 SFM 处理叶片、花盘和籽粒的产量最大。在灌水定额为 900 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,茎产量表现为 N>SF>F>S,叶片产量表现为 N>SF>F>S,花盘产量表现为 SF>>N>S>F,籽粒产量表现为 SF>N>F>S,由此可知当灌水定额较大时,食葵各器官产量在秸秆覆盖和地膜覆盖下的产量较小。当灌水定额为 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,不同处理茎产量表现为 SF>N>F>S,叶片产量表现为 SF>N>F>S,花盘产量变现为 SF>N>F>S,籽粒产量表现为 SF>F>N>S,由此可知当灌水定额为 750 $m^3 \cdot hm^{-2}$时,SF 处理的食葵各器官产量均最大,S 处理的各器官产量均最小。

表 3 不同处理方式对食葵株高和茎粗的影响

Table 3 Plant height and stem diameter of sunflower of different treatments

测定指标 Indicator	处理 Treatment	生育期 Growth period				
		出苗期 Seedling stage	现蕾期 Budding period	开花期 Flowering period	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
株高/cm Plant height	NH	9.4c	33.1c	155.1c	122.3c	137.7bc
	SH	9.1c	47.3c	132.5e	127.6bc	141.7bc
	FH	21.7ab	98.2a	184.4a	155.5a	161.3a
	SFH	19.6ab	88.1ab	175.3b	154.3a	146.3bc
	NM	8.2c	42.4c	150.9cd	131.3bc	133.3c
	SM	10.2c	39.7c	142.7d	132.7b	139.8bc
	FM	22.3a	76.1b	181.2ab	140.2ab	140.0b
	SFM	18.4b	72.3b	185.1a	135.0b	165.8a
茎粗/mm Stem diameter	NH	6.0de	12.0d	21.79c	24.35bc	25.94a
	SH	4.8e	13.1cd	24.98c	23.12c	25.68a
	FH	11.0b	20.1a	29.14a	28.74a	32.97a
	SFH	10.0b	17.5ab	26.26ab	27.12ab	26.18a
	NM	6.0de	13.2cd	23.14bc	23.87bc	24.53a
	SM	7.1cd	11.3d	21.73c	24.58bc	27.09a
	FM	12.5a	18.0ab	27.21b	26.42abc	25.74a
	SFM	8.2c	15.5bc	22.88c	25.12abc	27.05a

表 4 不同处理方式对食葵产量的影响

Table 4 Sunflower yield of different treatment

处理 Treatment	器官产量 Organ yield/(kg·hm^{-2})				各器官占比 Proportion of organs/%			
	茎 Stem	叶片 Leaf blade	花盘 Faceplate	籽粒 Grain	茎 Stem	叶片 Leaf blade	花盘 Faceplate	籽粒 Grain
NH	6476.19	4273.91	11272.76	6346.29ab	22.85	14.97	39.65	22.52
SH	4571.43	1897.14	5692.76	4497.71c	27.86	11.62	33.32	27.2
FH	5238.10	2683.24	5340.00	5041.14bc	28.9	14.21	29.53	27.35
SFH	5809.52	2883.81	13738.29	7404.57a	20.17	9.64	44.15	26.03
NM	7003.33	3650.10	15098.10	7081.14a	22.11	10.77	43.59	23.53
SM	5047.62	2458.29	8502.67	4640.00bc	23.76	14.08	40.21	21.95
FM	6380.95	3162.10	13048.38	7226.86a	21.95	10.33	41.04	26.67
SFM	7504.76	4792.38	23630.29	7713.71a	20.45	10.21	40.65	28.69

2.4.4 食葵籽粒产量和水分利用效率 由表 5 可知,覆盖方式和灌水定额同时作用下,食葵产量变化也各不相同,SFM 处理食葵产量、粒数、百粒重、水分利用效率和收获指数均最大,SH 处理产量粒数均和水分利用效率最小,SH 处理粒数最少,NH 处理百粒重最小,SM 处理收获指数最小。当灌水定额为 900 m^3·hm^{-2}时,SF 处理产量最大,较无覆盖处理显著提高 14.29%,颗粒数在 S、F 和 SF 处理间无显著差异;不同处理百粒重表现为 SF>F>S>N,且各处理间均有显著性差异,最大值和最小值差值为 4.69 g;水分利用效率最大为 SF 处理(27.26 kg·hm^{-2}·mm^{-1}),较无覆盖方式显著提高 24.61%;收获指数最大的为 S 处理,S、F 和 SF 处理无显著差异(P>0.05)。当灌水定额为 750 m^3·hm^{-2}时,SF 处理产量最大,F 处理次之,S 处理对应的产量最小,SF 处理产量较无覆盖和秸秆覆盖处理分别显著提高 8.2%和 39.85%;SF 处理颗粒数、百粒数、水分利用效率最大,即 S 处理最小。可以看出秸秆覆盖下的水分利用效率最低,SF 处理水分利用效率较无覆盖提高 7.10%,较秸秆覆盖显著提高 41.21%;收获指数最大的为 SF 处理,最小的为 S 处理。

由表 6 可知,食葵产量与土壤贮水量呈负相关关系,与百粒重、颗粒数、花盘直径呈显著正相关关系,与土壤温度、收获指数相关性不显著,说明食葵百粒重、颗粒数和花盘直径对食葵产量有促进作用。食葵产量与土壤 pH 呈负相关关系,与土壤速效磷含量呈显著正相关,与速效钾和碱解氮呈极显著正相关,与土壤机质含量相关性不显著。

表 5　不同处理方式对食葵产量和水分利用效率的影响

Table 5　Sunflower yield and water use efficiency of different treatment

处理 Treatment	产量 yield /(kg·hm^{-2})	颗粒数/(个·株$^{-1}$) Number of particles	百粒重 Hundred grain weight/g	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·hm^{-2}·mm^{-1})	收获指数 Harvest index/%
NH	6346.29ab	987a	13.39c	20.55bc	22.52ab
SH	4497.71c	681abc	14.35bc	14.59d	27.35a
FH	5041.14bc	752abc	14.94abc	17.01cd	27.21a
SFH	7404.57a	810abc	18.08ab	27.26a	26.03a
NM	7081.14a	855abc	15.47abc	25.47ab	23.53ab
SM	4640.00bc	826ab	15.00abc	16.12cd	21.95ab
FM	7226.86a	913ab	18.24a	25.43ab	26.67a
SFM	7713.71a	1038a	18.91a	28.91a	28.69a

表 6　食葵产量与主要农艺指标的相关性分析

Table 6　Correlation analysis of sunflower yield and main agronomic indicators

指标 Indicator	产量 Yield	土壤贮水 Soil water storage	土壤温度 Soil temperature	百粒重 Hundred grain weight	收获指数 Harvest index	颗粒数 Number of particles	花盘直径 Disc diameter
产量 Yield	1	−0.312*	0.040	0.705**	−0.138	0.414**	0.551**
土壤贮水量 Soil water storage		1	0.253	−0.308*	0.423**	−0.116	−0.122
土壤温度 Soil temperature			1	−0.018	0.128	0.036	0.228
百粒重 Hundred grain weight				1	−0.268	0.163	0.414**
收获指数 Harvest index					1	−0.050	−0.222
颗粒数 Number of particles						1	0.380**
花盘直径 Disc diameter							1

注:*,**分别表示显著性和极显著,下同。

Note: * and ** indicate significance and extreme significance, respectively, the same below.

表 7　食葵产量与土壤理化性质的相关性分析

Table 7　Correlation analysis of sunflower yield and soil physical and chemical properties

指标 Indicator	产量 Yield	土壤 pH 值 Soil pH	有机质 Organic matter content	速效磷 Available phosphorus content	速效钾 Available potassium content	碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen content
产量 Yield	1	−0.329*	−0.059	0.306*	0.369**	0.382**
土壤 pH 值 Soil pH		1	−0.290*	−0.331*	−0.289	−0.259
有机质 Organic matter			1	0.468**	0.609**	0.882**
速效磷 Available phosphorus				1	0.362**	0.500**
速效钾 Available potassium					1	0.651**
碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen						1

3　讨　论

3.1　不同覆盖方式对土壤贮水量和土壤温度的影响

覆盖方式和灌水定额是影响土壤贮水量和土壤温度的关键因素。当灌水量一定时,土壤贮水量的变化趋势变现为 SF>F>S>N。碎麦秸垫膜覆盖对土壤贮水量的影响优于地膜覆盖、秸秆覆盖和无覆盖,对土壤水分具有促进作用,这与郭小龙等[17]研究结果相同。研究表明,地面覆盖对土壤无效水的蒸发有制约作用[21],在降雨或灌水后可以有效减小地表水的径流和无效散失。这是因为覆盖遮挡物可以阻断土气界的传输[22],减少了土壤表层的直接蒸发,使得水分的入渗量大于蒸发量,这与本实验结果相似。有研究表明[23],秸秆覆盖在高温时有降温效果,在低温时有保温作用,可保证食葵最适宜的生长的土壤温度,这与本试验研究存在差异,秸秆覆盖对应下的土壤温度低于地膜覆盖。刘宏胜等[24]研究表明,地膜覆盖并未在整个生育期表现出增温效果,只有在生育期前期有增温,而后期会出现降温作用。结合地膜覆盖和秸秆覆盖二者优点,碎麦秸垫式膜覆盖在整个生育期土壤温度相对无覆盖、地膜覆盖和秸秆覆盖较稳定,更有利于食葵的生长。正是由于覆盖后土壤湿度变化慢而趋于

相对稳定,而导致土壤地温,尤其是地表温度变幅明显降低。土壤水分与土壤温度又有很大关系,由于水的比热容大于土壤,在受到太阳辐射后水分含量高的处理土壤温度升高会较慢[25]。对于地膜覆盖的温度效应,有研究表明,地膜覆盖可以增加土壤表层温度,并增加出苗率[16,26],促进农作物的产量,但不满足生态环境的要求。研究表明,地膜覆盖可减少土壤水分蒸发,增强水分渗透,增加对深层土壤水的利用[27-28],但普通地膜覆盖易导致土壤通气性变差,使其根系大量死亡,根系活力下降。尤其在夏季温度较高时,植物更易受到高温胁迫影响[29],导致底墒不足时地膜覆盖造成耕层水分过度竭耗,形成土壤干层现象[30]。秸秆覆盖可有效缓解高温对植株造成的胁迫[31],使得土壤蒸发降低,土壤贮水量提高,降水入渗增加,但单一秸秆覆盖易造成水分损耗及低温效应造成出苗率下降减产等负效应[11]。由此可见,单一的覆膜和秸秆覆盖模式各有利弊,通过地膜秸秆结合覆盖可有效弥补单一地膜和秸秆覆盖带来的负效应,减少土壤蒸发和降低高温气候对土壤根际温度的影响,以此提高降水入渗和持水能力,改善作物的供水条件[13, 32-34]。

3.2 不同覆盖方式对土壤理化性质和食葵产量的影响

土壤理化性质是促进作物生长的关键因素,栾天浩等[35]研究得出,秸秆覆盖耕作方式有效提升了土壤肥力,碱解氮、有机质和速效钾含量分别增加了4.97%、7.55%、12.33%,pH值降低了1.83%。这与本研究结果相似,播种食葵后的土壤pH值均低于播种前,地膜覆盖、秸秆覆盖和碎麦秸垫膜覆盖均有降低pH的趋势,但是各处理间差异性不显著,研究表明适宜的灌水定额有利于提高产量和水分利用效率。在两种灌水定额下,不同处理土壤有机质含量变现为碎麦秸垫式膜覆盖>地膜覆盖>秸秆覆盖>无覆盖,这是因为麦秸秆可以增加土壤生物量和酶活性[36],在微生物的分解作用下,秸秆还可以为土壤补充有机质、改善土壤结构、保证作物生长的养分供应。碎麦秸垫式膜覆盖后浅层土壤层养分显著高于其他两种覆盖条件,能够有效提高土壤中的速效钾和速效磷量,有利于食葵根系的生长,延缓根系和植株的衰老[9,37],从而提高食葵产量。

食葵产量包含生物产量和经济产量,生物产量包括食葵的株高、茎粗和叶面积等,经济产量为籽粒的产量。食葵的株高、茎粗在灌浆期生长速率变缓[38],这与卢闯等[39]的研究结果相似。靳亚红等[40]研究得出,地膜覆盖、秸秆+地膜覆盖处理的玉米收获指数大于无覆盖处理,分别提高了5.39%、14.48%;张俊等[41]研究得出,麦秸覆盖后,夏花生的产量比无覆盖降低5.2%。本试验得出地膜覆盖和碎麦秸垫膜覆盖产量比无覆盖分别增加6.1%和2.2%~14.1%,而秸秆覆盖较无覆盖方式降低了9.9%,同时得出收获指数地膜覆盖较无覆盖增加了7.6%,秸秆覆盖的收获指数较无覆盖降低了12.8%。然而栾天浩等[35]研究得出,秆覆盖耕作方式下产量增加了9.84%,这与本实验的结论不符,该试验得出秸秆覆盖下的食葵产量小于无覆盖方式下的食葵产量,可能是因为作物品种对土壤环境选择的作用,或者是秸秆覆盖量的选择对土壤环境改变使得产量下降。刘凯强等[42]提出,叶分配指数与产量呈负相关关系,百粒重对燕麦产量增产具有关键性作用;董云云等[43]提出秸秆覆盖可在一定程度上替代地膜覆盖,且以5 000 kg·hm^{-2}的秸秆覆盖量较为合适;马忠明等[44]指出,秸秆覆盖可以减少棵间蒸发,但秸秆覆盖在作物生长的前期降低了土壤温度[35,45-47],影响玉米出苗和生长,影响了玉米产量和水分生产效率降低。本试验得出,单一的秸秆覆盖对应的食葵产量低于碎麦秸垫膜覆盖下的食葵产量。蔡太义等[48]指出覆盖方式和灌水定额对食葵产量及构成有关。碎麦秸垫膜覆盖在保护环境和防治灌区荒漠化方面有一定的生态效应,覆盖表层土壤起到固定作用,大风过境时土就不会随风飞扬,沙尘天气也会减少,同时碎麦秸有助于土壤肥田改土,这与张金霞等[37]研究一致。

4 结 论

碎麦秸垫式膜覆盖对土壤贮水量有促进作用;结合地膜覆盖和秸秆覆盖二者优点,碎麦秸垫式膜覆盖在整个生育期土壤温度相对无覆盖、地膜覆盖和秸秆覆盖较稳定,更有利于食葵的生长;碎麦秸秆可补充土壤有机质、改善土壤结构、保证作物生长的养分供应;灌水定额为750 m^3·hm^{-2}时地膜覆盖和碎麦秸垫膜覆盖的产量高于无覆盖。综合考虑,碎麦秸垫式膜覆盖+750 m^3·hm^{-2}的灌水定额(SFM)是本研究地区食葵稳产的最优试验处理组合。

参 考 文 献:

[1] 董安祥, 胡文超, 张宇, 等. 河西走廊特殊地形与大风的关系探讨[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 347-351.
DONG A X, HU W C, ZHANG Y, et al. Study of the relationship between gale and the peculiar terrain in the Hexi Corridor[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(2): 347-351.

[2] 常兆丰, 马中华, 王大为, 等. 民勤荒漠气候变化的不稳定性分析[J]. 干旱区研究, 2016, 33(3): 601-608.
CHANG Z F, MA Z H, WANG D W, et al. Instability of climate change in the Minqin desert area[J]. Arid Zone Research, 2016, 33(3): 601-608.

[3] 郭然, 王效科, 欧阳志云, 等. 中国土地沙漠化、水土流失和盐渍化的原因和驱动力: 总体分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 119-127.
GUO R, WANG X K, OUYANGZHI Z Y, et al. Causes and drivers of desertification, soil erosion and salinization in China: a meta-analysis[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(1): 119-127.

[4] 王宝鉴, 张强, 张杰. 对民勤绿洲生态退化问题的探讨[J]. 干旱气象, 2004, 22(4): 87-92.
WANG B J, ZHANG Q, ZHANG J. Discussion about the environment degradation question of Minqin oasis[J]. Arid Meteorology, 2004, 22(4): 87-92.

[5] 周福铭, 彭银年, 罗文明, 等. 河西走廊优质食葵栽培技术[J]. 现代农业科技, 2007,(15): 31.
ZHOU F M, PENG Y N, LUO W M, et al. Cultivation technology of high-quality sunflower in Hexi Corridor[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2007,(15): 31.

[6] 段维, 赵刚, 柳延涛, 等. 食用向日葵高产栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2015,(10): 165-166.
DUAN W, ZHAO G, LIU Y T, et al. High yield cultivation techniques of edible sunflower[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2015,(10): 165-166.

[7] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211-217.
BI Y Y, GAO C Y, WANG Y J, et al. Estimation of straw resources in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(12): 211-217.

[8] 常磊, 韩凡香, 柴雨葳, 等. 秸秆带状覆盖对半干旱雨养区冬小麦田地温和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(9): 2949-2958.
CHANG L, HAN F X, CHAI Y W, et al. Effect of straw belt-mulching on soil temperature and yield of winter wheat in rain-fed semiarid region[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(9): 2949-2958.

[9] 梅四卫, 朱涵珍, 王术, 等. 不同覆盖方式对土壤水肥热状况以及玉米产量影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(4): 68-73.
MEI S W, ZHU H Z, WANG S, et al. Effects of different mulching methods on moisture nutrient, temperature status and corn yield[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(4): 68-73.

[10] ZRIBI W, ARAGÜÉS R, MEDINA E, et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 148: 40-45.

[11] 李荣, 王艳丽, 吴鹏年, 等. 宁南旱区沟垄覆盖改善土壤水热状况提高马铃薯产量[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 168-175.
LI R, WANG Y L, WU P N, et al. Furrow and ridge mulching improved soil hydrothermal condition and increased potato yield in Ningnan arid region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(10): 168-175.

[12] 刘战东, 高阳, 巩文军, 等. 模拟降雨条件下覆盖方式对冬小麦降水利用的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 153-158.
LIU Z D, GAO Y, GONG W J, et al. Effect of different covering methods on rainfall use of winter wheat under simulated rainfall[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(6): 153-158.

[13] 范颖丹, 柴守玺, 程宏波, 等. 覆盖方式对旱地冬小麦土壤水分的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(11): 3137-3144.
FAN Y D, CHAI S X, CHENG H B, et al. Effects of mulching on soil moisture in a dryland winter wheat field[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(11): 3137-3144.

[14] 李全起, 陈雨海, 于舜章, 等. 灌溉与秸秆覆盖条件下冬小麦农田小气候特征[J]. 作物学报, 2006, 32(2): 306-309.
LI Q Q, CHEN Y H, YU S Z, et al. Micro-climate of winter wheat field under the conditions of irrigation and straw mulching[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(2): 306-309.

[15] 涂纯, 王俊, 刘文兆. 不同覆盖条件下旱作农田土壤呼吸及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1107-1114.
TU C, WANG J, LIU W Z. Variation in soil respiration and its driving factors in rainfed winter wheat fields with different mulching measures[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2012, 18(5): 1107-1114.

[16] 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.
ZHANG J X. Crushed wheat straw padding plastic film irrigation research on high efficient water use mechanism and soil environmental effects in the northwest arid regions, China[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013.

[17] 郭小龙, 张金霞, 杨腾腾, 等. 覆盖方式对土壤热效应和食葵生长的研究[J]. 水利规划与设计, 2020,(1): 83-88.
GUO X L, ZHANG J X, YANG T T, et al. Study on the effect of mulching on soil heat and sunflower growth[J]. Water Resources Planning and Design, 2020,(1): 83-88.

[18] 李洪兵, 赵西宁, 王娟, 等. 生草和树枝覆盖对果园土壤持水性能的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 136-141.
LI H B, ZHAO X N, WANG J, et al. Effects of ground covers and mulches on soil water-holding capacity in jujube orchards[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(1): 136-141.

[19] GRAFTON-CARDWELL E E, OUYANG Y L, BUGG R L. Leguminous cover crops to enhance population development of Euseius tularensis (Acari: Phytoseiidae) in citrus[J]. Biological Control, 1999, 16(1): 73-80.

[20] 张建军, 党翼, 赵刚, 等. 控释氮肥全量基施对旱地玉米产量形成和水肥利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(2): 170-177.
ZHANG J J, DANG Y, ZHAO G, et al. Effects of application of controlled-release nitrogen on yield and water and fertilizer use efficiency of maize[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(2): 170-177.

[21] 杜社妮, 白岗栓, 赵世伟, 等. 沃特和 PAM 保水剂对土壤水分及马铃薯生长的影响研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 72-79.
DU S N, BAI G S, ZHAO S W, et al. Effects of Wote Super Absorbent and PAM absorbent on soil moisture and growth of potato[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 72-79.

[22] 董云云, 王飞, 韩剑桥. 地表覆盖对大豆田土壤水热盐及产量的影响[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 43-50, 57.
DONG Y Y, WANG F, HAN J Q. Effects of ground surface mulching on water-heat-salt and yield in soybean field[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 43-50, 57.

[23] 王顺霞, 王占军, 左忠, 等. 不同覆盖方式对旱地玉米田土壤环境及玉米产量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2004,(S3): 134-137.
WANG S X, WANG Z J, ZUO Z, et al. Effects of difference mulching on the soil environment and maize yield in rain fed land[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004,(S3): 134-137.

[24] 刘宏胜, 崔红艳, 吴兵, 等. 不同覆膜栽培方式对旱作春小麦土壤温度和籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(4): 469-477.
LIU H S, CUI H Y, WU B, et al. Influences of different plastic film mulching on soil temperature and grain yield of spring wheat in dryland[J]. Journal of Triticeae Crops, 2018, 38(4): 469-477.

[25] 黄高宝, 李玲玲, 张仁陟 ,等. 免耕秸秆覆盖对旱作麦田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 1-4, 19.
HUANG G B, LI L L, ZHANG R Z, et al. Effects of no-tillage with stubble retention on soil temperature of rainfed spring wheat field[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(5): 1-4, 19.

[26] 董道瑞, 郝丽娜. 不同可降解地膜对土壤温度和玉米生长发育、产量的影响[J]. 新疆农业科技, 2018,(2): 11-12.
DONG D R, HAO L N. Effects of different degradable mulching film on soil temperature, growth and yield of maize[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2018,(2): 11-12.

[27] 李仙岳, 冷旭, 张景俊, 等. 北方干旱区降解膜覆盖农田玉米生长和氮素利用模拟及优化[J]. 农业工程学报, 2020, 36(5): 113-121.
LI X Y, LENG X, ZHANG J J, et al. Simulation and optimization of maize growth and nitrogen utilization under degradation film mulching in arid areas of North China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(5): 113-121.

[28] 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]. Agricultural Water Management, 2013, 116: 101-109.

[29] 李凤民, 鄢王旬, 王俊, 等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 330-333.
LI F M, YAN W X, WANG J, et al. The mechanism of yield decrease of spring wheat resulted from plastic film mulching[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3): 330-333.

[30] ZHAO H, XIONG Y C, LI F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem[J]. Agricultural Water Management, 2012, 104: 68-78.

[31] CHAKRABORTY D, NAGARAJAN S, AGGARWAL P, et al. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.) in a semi-arid environment[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(12): 1323-1334.

[32] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1249-1258.
WANG M, WANG H X, HAN Q F, et al. Effects of different mulching materials on soil water, temperature, and corn growth[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(7): 1249-1258.

[33] BAKR N, ELBANA T A, ARCENEAUX A E, et al. Runoff and water quality from highway hillsides: influence compost/mulch[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 150: 158-170.

[34] 梁锦秀, 郭鑫年, 张国辉, 等. 宁南旱地垄覆沟作对土壤水分及马铃薯产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(7): 67-72.
LIANG J X, GUO X N, ZHANG G H, et al. Effect of ridge with plastic cover and furrow sowing on soil water content and potato yield in dryland of southern Ningxia[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(7): 67-72.

[35] 栾天浩, 刘云强, 高阳,等. 不同秸秆还田方式对玉米产量及土壤理化性质的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(6): 64-67, 77.
LUAN T H, LIU Y Q, GAO Y, et al. Effects of different straw returning methods on maize yield and soil physical and chemical properties [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2020, 45(6): 64-67, 77.

[36] 张忠学,聂堂哲,王栋. 黑龙江省西部半干旱区玉米膜下滴灌水、氮、磷耦合效应分析[J]. 中国农村水利水电, 2016,(2): 1-4.
ZHANG Z X, NIE T Z, WANG D. The coupling effect of water, N and P with drip irrigation under plastic film on maize yield in semi-arid region of western Heilongjiang Province[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016,(2): 1-4.

[37] 张金霞, 贾生海, 成自勇. 西北旱区碎麦秸垫式膜上灌对玉米出苗及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(6): 117-121.
ZHANG J X, JIA S H, CHENG Z Y. Effects of irrigation on film by crushed wheat straw padding to the corn seedling and yield in Northwest Arid Region, China[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(6): 117-121.

[38] 惠施佳, 张金霞. 碎麦秸垫膜覆盖对土壤水热及食葵生长的影响[J]. 农业工程, 2021, 11(2): 81-88.
HUI S J, ZHANG J X. Effects of mulching with wheat straw on soil moisture and heat and growth of sunflower[J]. Agricultural Engineering, 2021, 11(2): 81-88.

[39] 卢闯, 靳存旺, 李二珍, 等. 一膜两年覆盖对河套灌区盐碱土水盐分布和食葵生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(8): 18-25.
LU C, JIN C W, LI E Z, et al. Effects of two-year film mulching on water and salt distribution and sunflower growth in saline soil in Hetao irrigation area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(8): 18-25.

[40] 靳亚红, 杨树青, 张万锋, 等. 秸秆与地膜覆盖方式对咸淡交替灌溉模式下水盐调控及玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020,(2): 198-205.
JIN Y H, YANG S Q, ZHANG W F, et al. Effects of straw and plastic film mulching on water-salt regulation and maize yield in alternate brackish irrigation[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2020,(2): 198-205.

[41] 张俊, 刘娟, 臧秀旺,等. 麦秸覆盖对土壤理化性质及夏花生生长发育的影响[J]. 土壤通报, 2019, 50(3): 609-616.
ZHANG J, LIU J, ZANG X W, et al. Effects of wheat-straw mulching on soil chemical property and growth of summer peanut[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(3): 609-616.

[42] 刘凯强, 刘文辉, 贾志锋,等. 干旱胁迫对"青燕1号"燕麦产量及干物质积累与分配的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(3): 177-188.
LIU K Q, LIU W H, JIA Z F, et al. Effects of drought stress on yield and dry matter accumulation and distribution of Avena sativa cv. Qingyan No.1[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30(3): 177-188.

[43] 董云云. 地膜和秸秆覆盖对黄土高原丘陵沟壑区旱作农田土壤物

理特性及作物产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
DONG Y Y. Effects of plastic film mulching and straw mulching on soil physical characteristics and crop yield of rainfed farmland in hilly and gully region of Loess Plateau[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.

[44] 马忠明, 徐生明. 甘肃河西绿洲灌区玉米秸秆覆盖效应的研究[J]. 甘肃农业科技, 1998,(3): 15-17.
MA Z M, XU S M. Study on maize straw mulching effect in Oasis irrigated area of Hexi, Gansu Province[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 1998,(3): 15-17.

[45] 石岩, 张金霞, 董平国, 等. 干旱缺水区膜下滴灌棉花节水机理及灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(2): 77-85, 100.
SHI Y, ZHANG J X, DONG P G, et al. The study on watersaving mechanism and irrigation program with cotton drip irrigation under plastic film in drought and water shortage area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(2): 77-85, 100.

[46] ZHANG J X, ZHANG F, XING Z S. Effects of mulching with crushed wheat straw padding and plastic film on sunflower emergence, yield, and yield components under different irrigation intensity in the northwest arid regions, China[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2021, 101(3): 466-479.

[47] ZHANG J X. Comprehensive evaluation and analysis of water resources development and utilization degree[J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2021, 30(4): 3221-3227.

[48] 蔡太义, 贾志宽, 黄耀威, 等. 中国旱作农区不同量秸秆覆盖综合效应研究进展Ⅰ.不同量秸秆覆盖的农田生态环境效应[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(5): 63-68, 74.
CAI T Y, JIA Z K, HUANG Y W, et al. Research progress of comprehensive effect under different rates straw mulch on the rainfed farming areas, China Ⅰ.Effect of different rates of straw mulch on farmland eco-environment[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(5): 63-68, 74.

(上接第 211 页)

[23] 何亮,赵刚,靳宁,等.不同气候区和不同产量水平下 APSIM-Wheat 模型的参数全局敏感性分析[J].农业工程学报,2015,31(14): 148-157.
HE L, ZHAO G, JIN N, et al. Sensitivity analysis of APSIM-Wheat parameters in different climate zones and yield levels [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(14): 148-157.

[24] 任新茂.密度和秸秆覆盖对旱地玉米产量和农田水分影响的模拟研究[D].北京:中国农业科学院,2016.
REN X M. Modeling the effects of plant density and straw mulching on maize yield and field water[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.

[25] 王晓慧,张磊,刘双利,等.不同熟期春玉米品种的籽粒灌浆特性[J].中国农业科学,2014,47(18):3557-3565.
WANG X H, ZHANG L, LIU S L, et al. Grain filling characteristics of maize hybrids differing in maturities [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18): 3557-3565.

[26] 翟云龙,魏燕华,张海林,等.耕种方式对冬小麦籽粒灌浆特性及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(4):211-216.
ZHAI Y L, WEI Y H, ZHANG H L, et al. Effect of tillage and seeding methods on grain filling and yield of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(4): 211-216.

[27] 王振峰,王小明,朱云集,等.不同施氮量对冬小麦籽粒灌浆特性的影响[J].中国土壤与肥料,2013,(5):40-45.
WANG Z F, WANG X M, ZHU Y J, et al. Effects of nitrogen application rate on grain-filling characteristics of winter wheat[J]. Soil and Fertilizers Sciences in China, 2013,(5): 40-45.

[28] 惠海滨,林琪,刘义国,等.灌水对超高产麦田小麦灌浆期旗叶和籽粒糖含量与产量的影响[J].麦类作物学报,2011,31(5):887-893.
HUI H B, LIN Q, LIU Y G, et al. Effect of irrigation on sugar content in flag leaf and grain,and yield of super-high-yield wheat atgrain-filling stage[J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(5): 887-893.

[29] 陈紫薇,丁奠元,董文俊,等.覆膜对不同播期冬小麦根系生长和产量的影响[J].干旱地区农业究,2021,39(6):136-145.
CHEN Z W, DING D Y, DONG W J, et al. Effects of plastic mulching on root growth and yield of winter wheat under different sowing dates[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(6): 136-145.

[30] 杨月,刘兵,刘小军,等.小麦生育期模拟模型的比较研究[J].南京农业大学学报,2014,37(1):6-14.
YANG Y, LIU B, LIU X J, et al. Comparison of phasic development models in wheat [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2014, 37(1): 6-14.

[31] 聂志刚,李广,王钧,等.利用 APSIM 模型分析不同播期和耕作方式对旱地小麦籽粒干物质积累的影响[J].应用生态学报,2021,32(3):913-920.
NIE Z G, LI G, WANG J, et al. Evaluating the effects of different sowing dates and tillage methods on dry-land wheat grain dry matter accumulation based on the APSIM model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(3): 913-920.

[32] HUSSAIN J, KHALIQ T, AHMAD A, et al. Performance of four crop model for simulations of wheat phenology, leaf growth, biomass and yield across planting dates[J]. PLoS One, 2018, 13(6): e0197546.

[33] CHAUHAN Y S, RYAN M, CHANDRA S, et al. Accounting for soil moisture improves prediction of flowering time in chickpea and wheat [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 7510.

[34] 黄明霞,王靖,唐建昭,等.基于 APSIM 模型分析播期和水氮耦合对油葵产量的影响[J].农业工程学报,2018,34(13):134-143.
HUANG M X, WANG J, TANG J Z, et al. Analysis of interaction of sowing date, irrigation and nitrogen application on yield of oil sunflower based on APSIM model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(13): 134-143.