

不同节水种植模式对糜子籽粒产量和水分利用效率的影响

屈 洋,冯佰利*

(西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以榆糜2号为材料,研究了长城沿线风沙区不同节水种植模式对糜子籽粒产量及水分利用效率的影响。结果表明,节水种植可以有效地提高农田集水与保墒效果,明显提高土壤水分含量,降低糜子全生育期耗水量与耗水强度,其中,双沟覆膜产量达 $6\,927.43\text{ kg/hm}^2$,比对照增产 40.00% ,其水分利用效率为 $17.22\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{mm})$,比对照增加 60.19% 。双沟覆膜较其他处理可以明显的提高集雨和保墒效果,有利于提高水分利用效率及作物产量。

关键词:糜子;节水种植模式;产量;水分利用效率

中图分类号: S516.048 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0068-06

糜子是长城沿线风沙区主要粮食作物,降水稀少且变率大,季节间分布不均等严重制约产量提高^[1,2],因此提高有限水分资源的利用效率,对于提高该地区糜子产量具有重要意义。不同节水种植模式是基于沟垄相间、垄上覆膜与沟内种植、垄面产流与沟内集水从而达到节水的效果^[3],该技术已在谷子^[4]、豌豆^[5]、春小麦^[6]、玉米^[7]等作物上得到应用,而在糜子等小作物上相关的研究报道较少。水分利用效率指植物消耗单位水量生产出的同化物量^[8],目前,不同节水种植模式下的水分利用效率报道较多,王俊鹏等^[4~7]研究认为不同作物的不同节水带型中窄带型明显高于宽带型的水分利用效率和产量;李永平等^[9]研究认为不同的节水带型能显著提高苜蓿的生物量和水分利用效率;王立明等^[10]研究认为双沟覆膜技术较平膜覆盖和露地种植可显著提高大豆产量和水分利用效率,而针对这两种不同的节水种植模式在糜子上的比较研究尚未展开。本研究通过设计不同的宽窄带型、平膜覆盖和双沟覆膜,研究不同节水种植模式下对糜子产量和水分利用效率的影响,以期对糜子的高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2010年在陕西省府谷县西北农林科技

大学小杂粮综合试验基地进行,海拔高度为 $1\,426\text{ m}$ 左右,年平均降水 453.4 mm ,年平均日照时数 $2\,890\text{ h}$,无霜期 177 d ,年平均蒸发量 $1\,092.2\text{ mm}$ 。试验区地势平坦,土壤为黄绵土,质地为轻土壤^[11], $0\sim 20\text{ cm}$ 土层凋萎系数 0.024 。

1.2 试验设计

供试糜子品种为榆糜2号。人工覆膜,地膜厚度 0.008 mm 。处理和对照按尿素 75 kg/hm^2 、磷酸二铵 75 kg/hm^2 的施肥量于播前 5 d 用条播机施入沟中,深度 10 cm 。

试验按不同的沟垄宽度比,设计5种不同的节水种植模式,以传统露地种植为对照(表1), T_1 、 T_2 和 T_3 垄上覆膜, T_4 为双沟覆膜、 T_5 为平膜覆盖、 T_6 为露地平作。试验采用随机区组排列,重复3次,6月20日播种, T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_6 条播, T_4 和 T_5 穴播。密度 $4.05\times 10^5\text{ 株/hm}^2$,垄高 10 cm 。

1.3 测定指标

1.3.1 土壤水分测定 土壤水分测定于2010年6月开始进行,在不同的处理选取代表性的样点,土钻分层取土, $0\sim 100\text{ cm}$ 土层,每 20 cm 一个层次,用烘干法^[12](105°C 下烘 $12\sim 14\text{ h}$)测定土壤各层次含水率。每个样点重复3次,其中 T_1 、 T_2 和 T_3 沟中间取土, T_4 双沟内取土, T_5 膜上中间取土, T_6 选取随机样点取土。

收稿日期:2011-05-06

基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(200903007);国家谷子糜子产业技术体系专项资金;陕西省小杂粮产业技术体系及西北农林科技大学唐仲英育种基金项目

作者简介:屈 洋(1983-),男,辽宁锦州人,在读硕士,主要从事作物栽培生理生态研究。E-mail:man2019@163.com。

* 通讯作者:冯佰利(1966-),男,陕西耀县人,教授,博士生导师,主要从事作物高产生态生理技术及小杂粮栽培、育种研究。E-mail:7012766@163.com。

表1 不同处理的沟宽和垄宽

Table 1 Furrow width and ridge width of different treatments

处理 Treatment	沟宽(cm) Furrow width	垄宽(cm) Ridge width	沟内种植行数 Row number in a furrow	小区面积(m ²) Plot area
带型 150 Type 1 (T ₁)	75	75	4	24.00
带型 120 Type 2 (T ₂)	60	60	3	19.20
带型 80 Type 3 (T ₃)	40	40	2	12.80
双沟覆膜 Type 4 (T ₄)	10×2	30	1×2	12.80
平膜覆盖 Type 5 (T ₅)	—	—	—	25.60
露地种植 Type 6 (T ₆)	—	—	—	12.80

1.3.2 水分利用效率 产量水平上的水分利用效率是单位耗水量的产量^[13]。糜子水分利用效率定义为糜子的籽粒产量(kg/hm²)与农田耗水量 WC (mm)的比值,即

$$WUE = Y/WC$$

根据农田水分平衡原理:

$$\text{土壤贮水量 } W = h \times a \times b \times 10/100$$

式中, W 为土壤贮水量(mm); h 为土层深度(cm); a 为土壤体积质量(g/cm³); b 为土壤含水量(质量分数,%)。计算时 0~60 cm 土层土壤体积质量按每层测定值计算;60 cm 以下土层因体积质量变化微小,故按 40~60 cm 土层土壤的体积质量计算。

$$WC = W_{\text{播前}} - W_{\text{收获}} + I + P + G$$

则有 $WUE = Y/ET = Y/(W_{\text{播前}} - W_{\text{收获}} + I + P + G)$

式中, $W_{\text{播前}}$ 为播种前的土壤贮水量(mm); $W_{\text{收获}}$ 为收获时的土壤贮水量(mm); I 为生育期灌水量(mm); P 为生育期降水量(mm); G 为作物利用地下水(mm)。

由于糜子生长期间不进行灌溉,因此 $I=0$ 。研究区地下水深埋 60 m,因此 $G=0$ 。

1.3.3 各时期耗水量与耗水强度 各时期耗水量定义为前一时期的耗水量减后一时期的耗水量,如下式:

$$WC_{\text{各时期}} = WC_{\text{前一期}} - WC_{\text{后一期}}$$

耗水强度定义为单位时间上的耗水量。糜子耗水强度定义为生育期间每天的耗水量,即:

$$WCI = WC/d$$

式中, WCI 为耗水强度; WC 为耗水量; d 为天数。

1.3.4 室内考种及产量分析 考察株高、穗长、主茎节数、穗分枝和千粒重,全区收获计产。

1.3.5 数据分析 试验数据采用 Excell 和 SAS v8 进行整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同节水种植模式下糜子的土壤水分效应

2.1.1 不同节水种植模式对生育时期土壤水分垂直分布的影响 由图 1 可以看出,不同处理土壤水分的垂直方向变异较大,并且随糜子生育进程不断变化,各土层水分含量表现出不同的特点。与露地对照相比,糜子苗期、拔节期、灌浆期和成熟期,不同节水种植模式的土壤水分较高,随生育进程土壤水分有向深层增加的趋势。在 5 种不同的节水种植模式下,各时期也表现不同的特征,苗期各处理在 0~100 cm 土层深度中土壤水分呈先升高后降低的趋势,且不同深度的土壤水分含量的顺序有 $T_4 > T_5 > T_3 > T_2 > T_1$; 拔节期和灌浆期土壤水分含量随着土层深度的增加呈升高的趋势,且 T_4 含水量高于其他处理;成熟期的土壤含水量随土层深度的增加呈降低的趋势,其中 T_4 降低最慢。期间苗期到拔节期为 25 d,降雨量为 86.6 mm,由于降雨主要集中在出苗后几天,且土壤质地较松,入渗较好,使深层土壤水分增加,而拔节期间,由于糜子没有完全覆盖土壤表面,裸地蒸发严重,加之拔节期农田耗水量比较大,导致 0~60 cm 土层土壤水分减少。

2.1.2 不同节水种植模式的糜子各生育期农田耗水量 由表 2 可知,不同处理糜子田间总耗水量与平均耗水强度表现出不同的差异,各处理的耗水量和耗水强度都低于对照,其中 T_4 总耗水量与耗水强度最小,分别为 402.23 mm 和 4.47 mm/d,其次是 T_5 ,分别为 433.14 mm 和 4.81 mm/d。糜子各生育阶段耗水量和耗水强度受糜子生长和种植方式的影响,各处理均呈现出前期少,中、后期多的趋势,耗水量和耗水强度的变化也表现出相同的趋势,出苗~拔节期, T_6 耗水强度为 3.34 mm/d,为各处理同时期最大;拔节~灌浆期,各处理之间耗水强度较前期差

异逐渐减小, T₆ 耗水强度最大, 为 7.02 mm/d, T₄ 耗水强度最小, 为 4.17 mm/d, 其余处理的耗水强度介于其间; 灌浆~成熟期, 各处理的耗水强度继续增

大, T₄ 的耗水强度最大, 为 9.25 mm/d, 其次是 T₅, 为 9.09 mm/d。

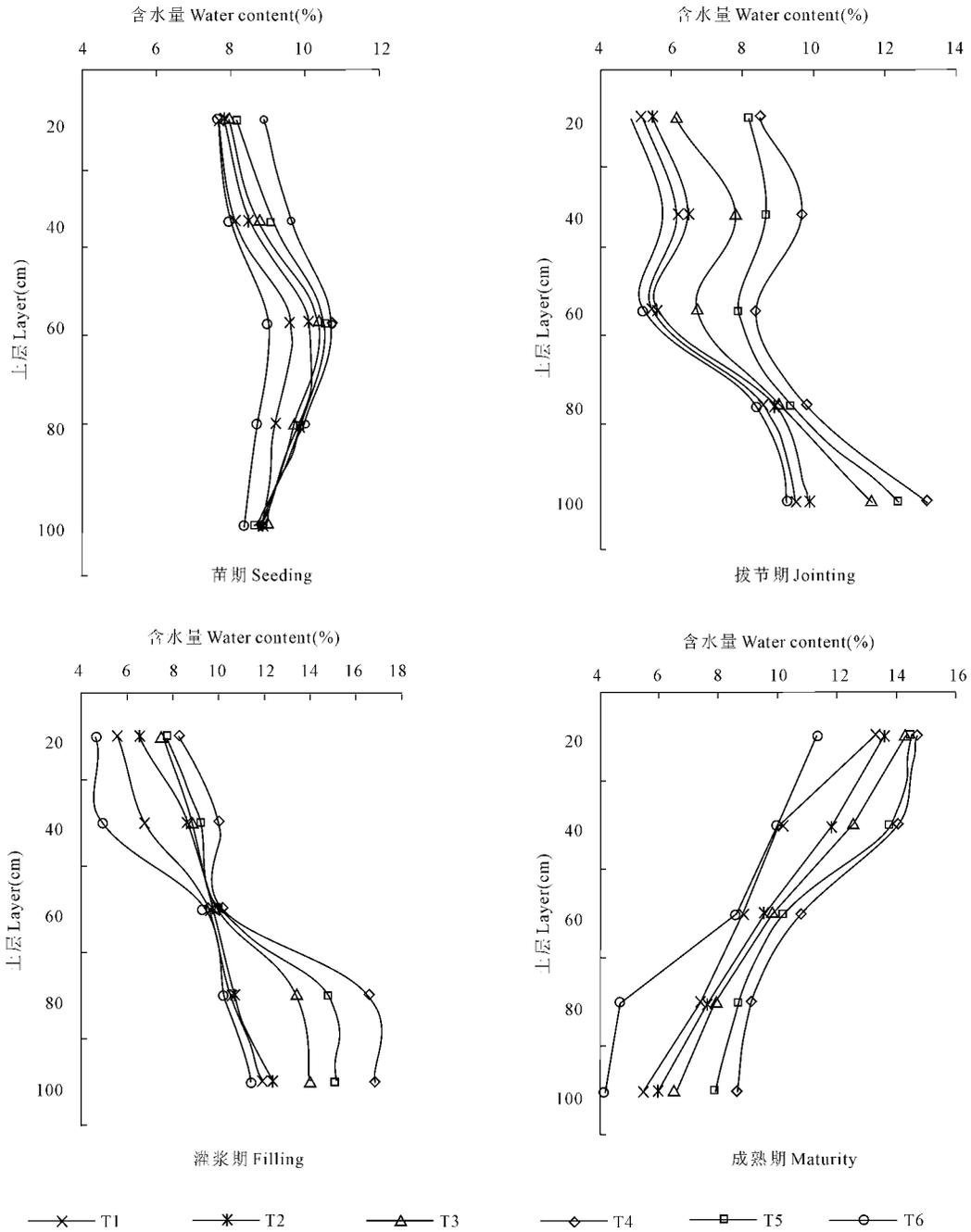


图 1 各主要生育时期土壤水分的垂直变化

Fig.1 Soil moisture content in different treatments at various growth stages

2.2 不同节水种植模式对糜子产量及农艺性状的影响

表 3 可以看出, 不同节水种植模式能够明显促进旱地糜子的生长, 各处理的农艺性状明显高于对照, 各处理株高分别比露地对照增加 3.53~10.53 cm, 主茎节数提高 0.17~0.53 节, 穗长增加 1.46~

2.80 cm, 分枝增加 1.67~3.27 个, 千粒重增加 0.12~0.74 g; 其中 T₄ 表现突出, 其次是 T₅。T₄ 平均产量达到最高, 为 6 927.43 kg/hm², 其次是 T₅, 为 6 328.44 kg/hm², 各处理分别比对照增产 14.30%~40.00%, 其增产顺序为 T₄>T₅>T₃>T₂>T₁。

表 2 不同节水种植模式的田间耗水量与耗水强度

Table 2 Water consumption (WC) amount and water consumption intensity (WCI) in different treatments

处理 Treatment	出苗~拔节 Seeding~jointing		拔节~灌浆 Jointing~filling		灌浆~成熟 Filling~maturity		总耗水量 TWC (mm)	全生育期平 均耗水强度 TWCI (mm/d)
	耗水量 WC (mm)	耗水强度 WCI (mm/d)	耗水量 WC (mm)	耗水强度 WCI (mm/d)	耗水量 WC (mm)	耗水强度 WCI (mm/d)		
T ₁	79.84	3.19	164.35	6.57	203.25	8.13	447.44	4.97
T ₂	76.50	3.06	160.45	6.42	211.46	8.46	448.42	4.98
T ₃	73.27	2.93	153.75	6.15	215.40	8.62	442.41	4.92
T ₄	66.78	2.67	104.22	4.17	231.22	9.25	402.23	4.47
T ₅	69.50	2.78	136.45	5.46	227.19	9.09	433.14	4.81
T ₆	83.46	3.34	175.45	7.02	201.26	8.05	460.16	5.11

表 3 不同节水种植模式的糜子产量及农艺性状表现

Table 3 Yield and agronomic traits of proso millet in different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	主茎节数 Number of stem nodes	穗长 Spike length (cm)	分枝 Number of branches	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm ²)	增产 Increase (%)
T ₁	149.53	7.27	34.93	14.40	9.12	5655.86	14.30
T ₂	150.00	7.40	35.00	14.47	9.20	5764.18	16.49
T ₃	154.60	7.40	35.57	15.07	9.36	6094.05	23.16
T ₄	157.53	7.63	36.27	16.00	9.74	6927.43	40.00
T ₅	156.53	7.53	35.60	15.73	9.68	6328.44	27.89
T ₆	146.00	7.10	33.47	12.73	9.00	4948.16	—

2.3 不同节水种植模式对糜子水分利用效率的影响

由表 4 可以看出,不同处理水分利用效率由高到低的顺序为:T₄>T₅>T₃>T₂>T₁>T₆。与对照相

比,不同节水种植模式水分利用效率分别提高 17.58%,19.53%,28.09%,60.19%,35.91%,其中 T₄ 水分利用效率增加明显,表明 T₄ 集雨保墒效果高于其他处理,明显提高了水分利用效率。

表 4 不同节水种植模式下的糜子水分利用效率

Table 4 Water use efficiency among different treatments

处理 Treatment	播前 0~1 m 土层贮水量 Water storage in 0~1 m soil layer before planting (mm)	收获后 0~1 m 土层贮水量 Water storage in 0~1 m soil layer after harvest (mm)	生育期降水量 Rainfall in growth period (mm)	产量 Yield (kg/hm ²)	水分利用效率 Water use efficiency [kg/(hm ² ·mm)]	水分利用效率 增加 Water use efficiency increase (%)
T ₁	490.47	342.33	299.30	5655.86	12.64	17.58
T ₂	400.82	251.70	299.30	5764.18	12.85	19.53
T ₃	547.75	404.64	299.30	6094.05	13.77	28.09
T ₄	511.02	408.09	299.30	6927.43	17.22	60.19
T ₅	547.54	413.70	299.30	6328.44	14.61	35.91
T ₆	534.10	373.24	299.30	4948.16	10.75	—

3 讨 论

长城沿线风沙区季节降水分布不均和年际间降水变率大的气候特点极大地限制了农业生产,采取节水种植模式可以有效地抑制农田土壤水分蒸发,减少水分的无效损失,提高土壤水分的利用效

率^[14~16]。近年来,许多学者根据旱区自然降水环境特点提出了充分利用膜面集水叠加作用的沟垄种植模式。王琦等^[17]研究认为,土垄在集雨后期,在集雨和土壤水分分配方面表现出和膜垄相似的特性;胡希远等^[18]研究认为沟垄径流栽培可聚集水分,促使水分下渗,此效应大小为膜垄窄带>膜垄宽

带。本研究认为,与露地种植相比较,不同的节水种植模式能够明显的提高土壤水分,表现出随生育进程的变化土壤水分向深层增加的趋势,这种土壤水分的增加趋势对于缓解各生育进程的干旱威胁有一定的作用。生育期间不同带型之间节水效应依次为,80 cm 带型>120 cm 带型>150 cm 带型,此结论与前人观点基本一致。不同处理的节水效应依次为双沟覆膜>平膜覆盖>各种带型,说明双沟覆膜和平膜覆盖较各种宽窄带型节水效应更有效。

作物耗水量由作物整个生育时期内的叶面蒸腾量和裸地蒸发量两部分构成,并与气象因素、土壤湿度和作物生长状况密切相关,其值具有时空变异性^[19,20]。2010 年糜子生长期降雨量为 299.30 mm,比正常年份少,不同覆膜方式的田间耗水量为 402.23~460.16 mm,由于降雨量不足,所以田间耗水量依靠播前土壤贮水量提供。全生育期田间总耗水量以双沟覆膜最低,为 402.23 mm,其次为平膜覆盖,为 433.14 mm,露地种植田间耗水量最多,为 460.16 mm;此外,双沟覆膜耗水强度最小,为 4.47 mm/d,露地种植耗水强度最大,为 5.11 mm/d。不同生育时期耗水量和耗水强度存在一定的差异,出苗~拔节和拔节~灌浆,双沟覆膜的耗水量较少,露地种植耗水量最大,可能是因为此时期植株生长矮小,田间以裸地蒸发为主,不同的节水种植模式可以有效地减少裸地蒸发,减少田间的耗水量。灌浆~成熟期间双沟覆膜耗水量较多,其次是平膜覆盖,最后是露地种植,可能是因为此时期植株高大,田间以叶片和茎蒸腾为主,加之糜子生殖生长旺盛,不同的节水种植模式可以有效地促进糜子的生殖生长,从而增加了田间的耗水强度,其中双沟覆膜出苗~拔节和拔节~灌浆耗水量较少,可能是因为双沟覆膜较其他处理具有明显的节水和增温的效应,能够较好地促进植株生长,减少土壤水分消耗,且全膜覆盖裸露的地面形成双沟,增加了裸地蒸发的表面积,使膜上的水分蒸发强度降低,膜下的水分保留在土层内,降低了水分消耗;而灌浆~成熟期双沟覆膜耗水量较多,可能是因为全膜覆盖形成双沟,沟内种植可以有效地增加地温,提供充足的水分,供应糜子生长,更好地满足糜子生殖生长的需要,促进产量形成,因此此时期的耗水强度比较大。

节水种植模式的变化可以明显改善土壤的水分条件,其中不同的节水种植模式使垄面膜上自然降水向播种沟内富集,有效地储存自然降水,改善土壤的水分状况,是旱作区进一步挖掘降水潜力和高产田创建的有效途径^[21]。张雷等^[22]研究认为,双沟

覆膜集雨沟播技术能显著提高降水利用率、使玉米提早成熟,增产效果明显。本研究认为,不同的节水种植模式可以明显地改善糜子的主要经济性状,表现为株高,分枝,主茎节数,千粒重,穗长的增加,其中双沟覆膜模式增加明显。各处理产量分别比对照高 14.30%, 16.49%, 23.16%, 40.00%, 27.89%, 双沟覆膜模式的产量增加明显;水分利用效率分别比对照提高 17.58%, 19.53%, 28.09%, 60.19%, 35.91%, 双沟覆膜模式的水分利用效率增加明显,与前人研究结果基本一致。双沟覆膜模式与其他处理比较,具有明显促进糜子生长,提高产量和水分利用效率的效果。有关双沟覆膜节水增产机理有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 柴岩,林汝法,廖琴,等.中国小杂粮[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002:52-54.
- [2] 李凤民,赵松岭,黄土高原半干旱区作物水分利用研究新途径[J].应用生态学报,1997,8(1):104-109.
- [3] 王俊鹏,韩清芳,王龙昌,等.宁南半干旱地区农田微集水种植技术研究[J].西北农业大学学报,2000,28(4):16-19.
- [4] 王俊鹏,马林,蒋骏,等.宁南半干旱地区谷子微集水种植技术研究[J].水土保持通报,2000,20(3):41-43.
- [5] 王俊鹏,韩清芳,马林,等.宁南半干旱地区豌豆农田微集水种植技术研究[J].西北农业学报,2000,9(2):101-103.
- [6] 王俊鹏,蒋骏,韩清芳,等.宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):8-13.
- [7] 王俊鹏,马林,蒋骏,等.宁南半干旱地区农田微集水种植技术研究[J].西北农业大学学报,1999,27(3):22-26.
- [8] 罗亚勇,赵学勇,黄迎新,等.植物水分利用效率及测定方法研究进展[J].中国沙漠,2009,29(4):648-652.
- [9] 李永平,贾志宽,刘世新,等.宁南山区旱地苜蓿垄沟集水种植生物群体生长特征及其水分利用效率[J].水土保持研究,2006,13(5):199-204.
- [10] 王立明,陈光荣,张国宏,等.提高旱作大豆水分利用效率的覆膜方式研究[J].大豆科学,2010,29(5):767-771.
- [11] 柴岩,王鹏科,冯佰利,等.中国小杂粮产业发展指南[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2007:100-101.
- [12] 肖俊夫,刘战东,段爱旺,等.不同灌水处理对冬小麦产量及水分利用效率的影响研究[J].灌溉排水学报,2006,25(2):19-23.
- [13] 高飞,贾志宽,韩清芳,等.有机肥对宁夏南部旱农区土壤物理性状及水分的影响[J].灌溉排水学报,2010,38(7):105-109.
- [14] 张源沛,张益民,周会成.半干旱地区春小麦不同种植方式土壤水分变化规律研究[J].水土保持学报,2002,15(5):115-116.
- [15] 孙继颖,高聚林,王志刚,等.不同覆膜方式对旱作大豆生理特性及水分利用效率的影响[J].大豆科学,2008,27(2):251-254.

- [16] 夏自强, 蒋洪庚, 李琼芳, 等. 地膜覆盖对土壤温度、水分的影响及节水效益[J]. 河海大学学报, 1997, 25(2): 9-15.
- [17] 王 琦, 张恩和, 李凤民, 等. 半干旱地区膜垄和土垄的集雨效率和不同集雨时期土壤水分比较[J]. 河海大学学报, 2004, 24(8): 1820-1823.
- [18] 胡希远, 陶士珩, 王立祥, 等. 半干旱偏旱区糜子沟垄径流栽培研究初报[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 44-49.
- [19] 石 岩, 林 琪, 莅东斌, 等. 土壤水分胁迫对冬小麦耗水规律及产量的影响[J]. 华北农学报, 1997, 12(2): 76-81.
- [20] 王政友. 土壤水分蒸发的影响因素分析[J]. 山西水利, 2003, (2): 26-29.
- [21] 宋秉海. 旱地地膜玉米贫水富集种植模式研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 93-95.
- [22] 张 雷, 牛建彪, 赵 凡. 旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 8-11.

Grain yield and water use efficiency of proso millet under different water-saving modes

QU Yang, FENG Bai-li*

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The strain of Yumi 2 was used as a material to study the grain yield and water use efficiency of proso millet under different water-saving treatments in standstom area along the Great Wall. The results show that the water saving ways may improve field catchment and water retention, increase soil water content, reduce water consumption amount and water consumption intensity. The grain yield of proso millet with film mulching on ridge and double furrows was largest, reaching 6 927.43 kg/hm² and increasing by 40% compared to CK, while its water use efficiency was 17.22 kg/(hm²·mm), increasing by 60.19%. Film mulching on ridge and double furrowss may improve field catchment and water retention, and increase grain yield and water use efficiency.

Keywords: proso millet; water-saving modes; yield; water use efficiency

(上接第 67 页)

Study on cultivation techniques of oat in coastal saline-alkaline areas

FU Li-dong, WANG Yu, LI Xu, SUI Xin, REN Hai, LI Bao-jun

(Liaoning Province Saline and Alkaline Land Utilization and Research Institute, Panjin, Liaoning 124010, China)

Abstract: With oat variety Baiyan-1 as material, using plot contrast test and multi-district investigation method, studies were conducted on the effect of the sowing time, sowing rate, fertilizer and soil salt content on growth and yield of oat. The results showed that: (1) With the delayed sowing date, the number of days from sowing to emergence and the days of growth period reduced gradually in each treatment, the yield in treatment B³ got 260.4 kg/667m², increased by 15.5%, 6.9%, 4.6% and 10.0% compared with those in treatments B¹, B², B⁴ and B⁵. (2) The seeding rate of 8.0 kg/667m² in the treatment C³ was appropriate, in which the yield got 372.0 kg/667m², increased by 9.3%, 5.0%, 5.4% and 16.4% compared with those in treatments C¹, C², C⁴ and C⁵. (3) On the premise that the total fertilization amount remained unchanged, the yield got 250 kg/667m² if both nitrogen and phosphorus were used as base-fertilizer, while the yield increased slightly if 40% nitrogen was applied for tillering; Adding 5.0~10.0 kg/667m² saline-alkali resistant agent increased the oat yield by 12.5%~17.1%. (4) As oat suffered saline-alkaline ham, the yield reduced because the growth and development were inhibited, the plant height and 1000-grain weight decreased significantly, and panicles harvested per unit area, boll number and grain number decreased significantly.

Keywords: oat; sowing date; sowing rate; fertilizer; saline-alkaline ham; yield