

不同栽培模式对大麦生育期间土壤水分及产量的影响

方彦杰¹,徐银萍²

(1. 甘肃省农科院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070;
2. 甘肃省农科院经济作物与啤酒原料研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要:通过大田试验分析了全膜覆土穴播、垄作沟灌及平作条播栽培模式对大麦的土壤水分时空动态、产量及其水分利用效率的影响。结果表明,全膜穴播处理极有利于大麦的早期出苗及营养生长。但垄作沟灌栽培处理有利于促进大麦生殖生长。全膜穴播处理产量较垄作沟灌和平作条播处理分别增产 10.9% 和 15.31%, 并且 WUE 分别高 10.69% 和 11.09%, 说明全膜穴播栽培处理增加了大麦土壤的可利用水分, 提高了产量和 WUE。

关键词:大麦;全膜覆土穴播;垄作沟灌;水分利用效率;产量

中图分类号: S512.1;S311 **文献标志码:** A

Effects of differernt cultivation modes on soil moisture and yield during the barley growth period

FANG Yan-jie¹, XU Yin-ping²

(1. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. Institute of Economic crops and Beer Materials, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Through the field experiments, analyzed the effects of three cultivation modes as film-mulched soil holes cultivation, ridge furrow and conventional strip drill on the dynamics change of soil moisture, yield and water use efficiency of barley. The results showed that the treatment of film-mulched soil holes cultivation was very useful to the barley early seedling and vegetative growth. But the ridge furrow irrigation cultivation was useful to promote the barley reproductive growth. The yield of film-mulched soil holes cultivation treatment was increased 10.9% and 15.31%, respectively, compared with the ridge furrow and conventional strip drill trseatment, also the WUE was heightened 10.69% and 11.09%, respectively. It explained that the soil moisture application can be increased by the film-mulched soil holes cultivation treatment and increased the yield and WUE.

Keywords: barley;film-mulched soil holes cultivation;ridge furrow irrigation; water use efficiency(WUE);yield

甘肃河西走廊是我国大麦(*Hordeum Vulgare* L.)优势产区,受大陆性干旱气候的影响,年蒸发量 2 100 mm,年降水量仅有 160 mm 左右,而大麦生育期(4—7 月)所能利用的有效降雨更少。水资源严重短缺是河西走廊地区农业生产最重要的制约因素,因此如何节约水资源,提高水资源利用率,是当前该区农业发展可持续发展面临的最大难题^[1]。在提高大麦水资源利用率方面,垄作沟灌和全膜覆土穴播两种栽培模式是麦类作物栽培中目前效果较显著的两项技术^[2-4]。研究表明,对垄作沟灌栽培模式的前期研究主要在玉米、马铃薯、花生及蔬菜作物等^[5-8],后期才应用到小麦、水稻等作物,但在大麦上的系统研究尚少。王法宏等^[9]研究表明,冬小麦在垄作条件下,籽粒产量可提高约 10%,Vories E D 等^[10]发现在漫灌条件下水稻的产量超过沟灌,并认为造成产量差异的主要原因在于漫灌条件下水稻的粒重超过沟灌。全膜覆土穴播技术主要用于解决干旱半干旱地区密植作物长期缺水 and 产量低而不稳的问题,最早使用于甘肃旱农区^[11]。该技术集成覆盖抑蒸、膜面穴播集雨种植等技术于一体,集雨保墒效果极其显著^[12-14],可以使旱地小麦平均产量较露地条播平均增产 29.2% ~ 40.0% 以上^[15-17]。大量

研究还表明,全地膜覆盖可以明显提高浅层土壤水分含量和水分利用效率^[6,14-19],提高产量^[15-17,19-20]。

全膜覆土穴播栽培和垄作沟灌栽培被认为能够充分利用农田降水,提高 WUE 和产量的农业新技术^[19-22],在干旱半干旱地区具有广阔的应用前景和推广意义。但目前对该技术的研究仅局限在栽培技术要点及栽培模式的研究上,对其增产机理的研究也主要侧重于小麦,对大麦的增产机理研究甚少。为此,本试验在典型的绿洲农业干旱区以大麦全膜覆土穴播(以下简称全膜穴播)、垄作沟灌和常规平作条播栽培技术的研究为中心,重点围绕土壤水分时空动态,系统研究不同生育阶段大麦耗水规律及其水分利用效率,以期进一步明确和完善不同栽培技术的增产机理,为大麦全膜覆土穴播、垄作沟灌栽培技术的推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2013 年在甘肃省武威市黄羊镇大麦试验站进行,该地位于甘肃河西走廊东部,属大陆性干

旱气候区。平均海拔 1 766 m,日照时数 2 360 ~ 2 920 h,年均气温 6.5℃,无霜期 135 ~ 150 d。多年平均降雨量 210 mm,年蒸发量 2 019 mm,为典型的绿洲灌溉农业区。试验地土壤为灌漠土,耕层(0 ~ 20 cm)土壤有机质 25.1 g·kg⁻¹,碱解氮 83 mg·kg⁻¹,有效磷 10.8 mg·kg⁻¹,速效钾 192 mg·kg⁻¹,pH 8.42,土壤容重平均 1.36 g·cm⁻³。大麦全生育期降雨 54.8 mm。

1.2 试验方法和材料

本试验设 3 种不同栽培模式处理:垄作沟灌栽培,全膜覆土穴播栽培,平作条播栽培(见表 1)。采用随机区组排列,每处理 3 次重复。供试品种为甘啤 4 号,播量各处理均为 300 kg·hm⁻²,各处理施肥量相同(纯 N 150 kg·hm⁻²,P₂O₅ 150 kg·hm⁻²)加有机肥(羊粪)60 m³·hm⁻²,且播前一次性施入,生育期不追肥,小区面积 24 m²(6 m×4 m)。试验于 2013 年 3 月 18 日人工播种,全生育期大水浇灌两次,5 月 7 日浇第一水(22.5 mm),6 月 25 日浇第二水(18 mm)。7 月 22 日分小区人工收割,按小区取样考种、脱粒测产。

表 1 试验处理
Table 1 Experiment treatments

代号 Code	处理 Treatments	操作方式 Mode of operation
T1	平作条播栽培 Conventional strip drill	人力条播,播种深度 5 cm,每小区种植 18 行,行距 22 cm Artificial strip planting, planting depth 5 cm, planting 18 rows in each plot, 22 cm row spacing.
T2	垄作沟灌栽培 Ridge furrow irrigation	垄宽 50 cm,垄高 15 cm,垄沟为 U 形,沟顶宽 20 cm。人力条播,每小区种 6 垄 18 行,小行距为 17 cm,大行距为 36 cm Ridge width 50 cm, ridge height 15 cm, ridge type U shape, furrpw top wide 20 cm. Artificial planting, planting 6 ridges and 18 rows in each plot, 17 cm small row spacing, 36 cm big row spacing.
T3	全膜覆土穴播栽培 Film-mulched soil holes cultivation	采用厚度 0.008 ~ 0.010 mm、幅宽 120 cm 的地膜全地面覆盖。在地膜上均匀覆厚 1.0 ~ 1.5 cm 细绵土。人工穴播,播种深度 5 cm,每小区种植 18 行,行距 22 cm,穴距 12 cm,每穴播 16 粒 Adopted film cover land with film width 1.2 m, thickness 0.008 ~ 0.010 mm. Evenly coated 1.0 ~ 1.5 cm fine clay soil on the film. Manual dibbling and planting depth 5 cm, planting 18 rowsin each plot, 22 cm row spacing, 12 cm hole spacing, 16 grainsin each hole.

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤含水量的测定 播种前 1 d,测定基础含水量;大麦生长期在苗期、拔节期、灌浆期、成熟期选择具有代表性的一天进行测定,收获后 1 d 加测 1 次。测定小区内大麦根部 0 ~ 100 cm 土壤含水量,按 0 ~ 10,10 ~ 20,20 ~ 40,40 ~ 60,60 ~ 80,80 ~ 100 cm 分层测定,测定方法为烘干称重法。

1.3.2 土壤水分利用效率(WUE)计算

$$WUE = Y/[I + P - (W_e - W_i)]$$
式中,WUE 为土壤水分利用效率(kg·hm⁻²·mm⁻¹),Y 为作物产量(kg·hm⁻²),I 为灌水量(mm),P 为生育期降水量(mm),W_e 为收获后土壤含水量(mm),

W_i 为播前土壤含水量(mm)。

1.3.3 产量的测定 产量按小区收获后脱粒,晾晒计产折合每公顷产量。

1.4 数据整理及分析

数据处理以及相关分析采用 Excel 和 DPS(8.5) 分析软件。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下农田土壤水分的动态变化

2.1.1 播前(3 月 18 日)0 ~ 100 cm 土层土壤水分含量 播前土壤含水量(图 1)表明了各处理在 0 ~ 100 cm 不同土层土壤水分差异。各处理 0 ~ 100 cm 土

壤水分变化趋势基本相似,呈反“S”形,由于土壤冬灌形成的冻土层(地表 70 cm 以上),使 20~60 cm 土层土壤含水量较高,而 0~20 cm 和 60~100 cm 土壤含水量相对较低。处理间 0~20 cm 土层垄作沟灌和平作条播处理土壤含水量基本一致,而全膜穴播处理土壤含水量明显较高,有利于大麦的发芽。20~40 cm 土层土壤含水量平作条播处理最高,并且处理间差异不明显。40~60 cm 土层土壤含水量表现与 0~20 cm 一致。60~100 cm 土层土壤含水量垄作沟灌处理明显高于平作条播和全膜穴播处理,而全膜穴播和平作条播处理基本一致。

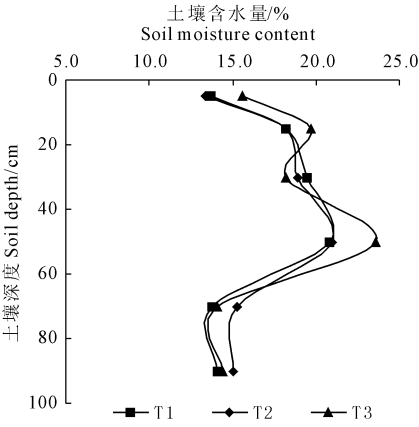


图 1 不同处理播前 0~100 cm 土壤含水量

Fig.1 Soil moisture content in 0~100 cm depth before sowing for different treatments

2.1.1.2 出苗期(4月12日)0~100 cm 土层土壤水分含量 图 2 出苗期 0~100 cm 土壤水分含量结果表明,随着大气及土壤温度的逐渐升高,不同栽培模式条件下 0~100 cm 层次土壤水分含量表现也不一致。处理间垄作沟灌和平作条播土壤含水量表现基本一致,而全膜穴播较播种前变化明显,可能由于全膜穴播栽培条件下全地膜覆盖提升了土壤温度,较其它栽培模式更有利于土壤冻土层的提前融化,并且有利于土壤水分向地表的转移,0~40 cm 土层土壤含水量显著高于平作条播和垄作沟灌处理,经显著性分析表明,0~10 cm, 10~20 cm, 20~40 cm 全膜穴播处理土壤含水量较平作条播和垄作沟灌处理差异显著($P < 0.05$)。垄作沟灌处理土壤含水量略高于平作条播,但无显著性差异($P < 0.05$)。由于 0~40 cm 土层主要提供大麦发芽及苗期生长所需的水分,试验结果表明全膜穴播栽培模式极有利于大麦的提前出苗及提高出苗率。处理间 40~60 cm 土层土壤含水量表现为全膜穴播 > 垄作沟灌 > 平作条播,但在 60 cm 土层以后,土壤含水量则变为平作条播 > 垄作沟灌 > 全膜穴播。尤其 80~100 cm 土层

土壤含水量全膜穴播处理显著低于平作条播和垄作沟灌处理,这主要是由于不同的栽培模式土壤微环境影响了土壤水分的重新分配及土壤水分纵向移动。

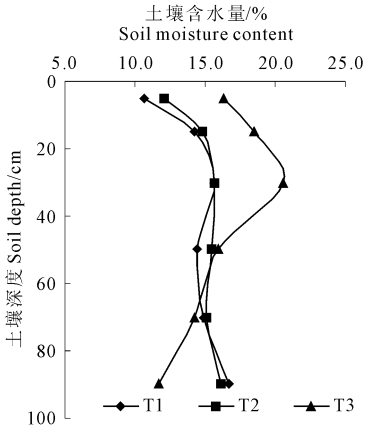


图 2 不同处理出苗期 0~100 cm 土壤含水量

Fig.2 Soil moisture content in 0~100 cm depth at seedling stage for different treatments

2.1.1.3 拔节期(5月20日)0~100 cm 土层土壤水分含量 图 3 反映的是拔节期(5月20日)0~100 cm 土壤水分含量垂直分布情况,可以得知各处理 0~100 cm 土层土壤含水量垂直变化较播前和出苗期平缓,可能是由于第 1 次浇水(5月7日)缩小了处理间不同层次土壤水分含量的差异。由于全地膜覆盖的保水效应,0~10 cm 土层土壤含水量全膜穴播处理最高,平作条播次之,垄作沟灌最低。造成这种差异的原因主要由于气温回升较快,地表覆盖程度和地面蒸发的差异较大形成的。处理间 10~20 cm 土层土壤含水量表现为全膜穴播 > 垄作沟灌 > 平作条播,但处理间差异不明显,并且大麦的根系主要分布于此层土壤,土壤含水量的高低还与大麦根系对水分的吸收多少有关。20~40 cm 土层土壤含水量处理间基本一致,但在 40~100 cm,垄作沟灌处理土壤含水量均高于全膜穴播和平作条播处理,可能与垄作沟灌栽培模式的垄沟效应有关。

2.1.1.4 灌浆期(7月6日)0~100 cm 土层土壤水分含量 由图 4 可知,在第 2 次浇水(6月25日)后,灌浆期 0~100 cm 不同层次土壤含水量处理间差异比较明显,垄作沟灌和平作条播处理变化趋势基本相似,不同于全膜穴播处理。处理间 0~10 cm 土层土壤含水量表现为全膜穴播 > 垄作沟灌 > 平作条播,全膜穴播处理土壤含水量分别高出 2% 和 3.35%。在土层 20 cm 之下,垄作沟灌处理土壤含水量均高于全膜穴播和平作条播处理,充分说明垄作沟灌栽培模式可以明显增加灌浆后 20 cm 以下土壤含水

量,并且大麦根毛主要分布该区域,该模式为大麦后期生殖生长提供了较高的水分条件。全膜穴播处理土壤平均含水量略高于平作条播处理。

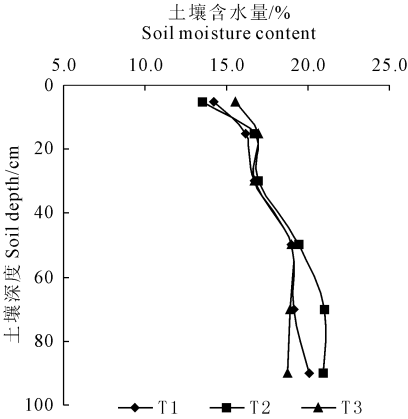


图 3 不同处理拔节期 0~100 cm 土壤含水量

Fig.3 Soil moisture content in 0~100 cm depth at elongating stage for different treatments

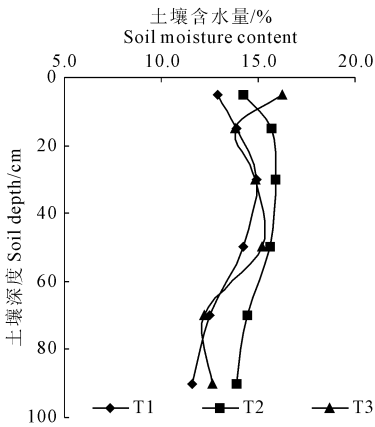


图 4 不同处理灌浆期 0~100 cm 土壤含水量

Fig.4 Soil moisture content in 0~100 cm depth at filling stage for different treatments

2.1.5 收获后(7月22日)0~100 cm 土层土壤水分含量 对收获后 0~100cm 土层土壤水分含量(图5)进行比较分析得出,由于大麦收获后正逢高温干旱期,加之大麦整个生育期耗水,不同层次土壤含水量均较生育期土壤含水量降低,收获后各处理不同层次土壤含水量变化趋势基本相似。处理间 0~40 cm 各层土壤含水量均表现为全膜穴播>平作条播>垄作沟灌,在土层 40 cm 之下,全膜穴播和平作条播处理土壤含水量随土壤深度增加略有下降趋势,而垄作沟灌处理则相反,并且在 60 cm 之后土壤含水量垄作沟灌处理高于全膜穴播和平作条播处理。

2.2 全生育期 0~40 cm 土壤水分动态变化

由图 6 可知,在大麦生育期内,各处理 0~40 cm 土层平均含水量随时间的推进变化趋势基本一致,

该土层作为大麦根系分布的最主要区域,受灌水、降雨、蒸发等因素的影响较大,土壤含水量随时间的推进变化整体呈下降的趋势。在 5 月 20 日(拔节期)和 7 月 6 日(灌浆期)形成两个小高峰,主要由于测定前期两次灌水形成的。在拔节期以前,处理间全膜穴播处理 0~40 cm 土层土壤平均含水量均为最高,尤其在大麦出苗期(4 月 12 日)全膜穴播处理土壤平均含水量显著高于平作条播和垄作沟灌处理,在没有降雨产生的条件下,充分说明全膜穴播栽培模式的保水效应极其显著。因此,可以得出全膜穴播栽培模式在大麦生育前期能够提供较高土壤水分含量,有利于促进大麦发芽及营养生长。但是在拔节期后,由于处理间地表蒸发差异较前期明显降低,降雨量增加,垄作沟灌栽培模式具有的垄沟互作效应,影响了土壤水分的再分配,0~40 cm 土层土壤平均含水量高于全膜穴播和平作条播处理。因此,可以得出垄作沟灌栽培模式可以提高大麦生育后期的土壤水分,促进大麦生殖生长。

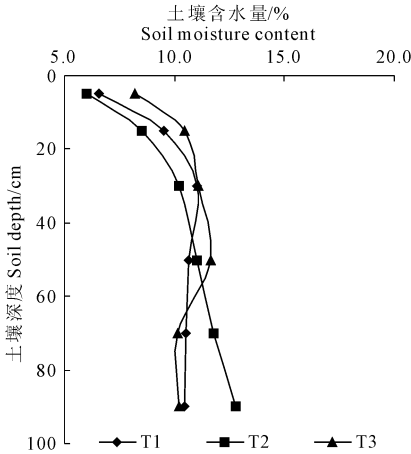


图 5 不同处理收获后 0~100 cm 土壤含水量

Fig.5 Soil moisture content in 0~100 cm depth after harvest for different treatments

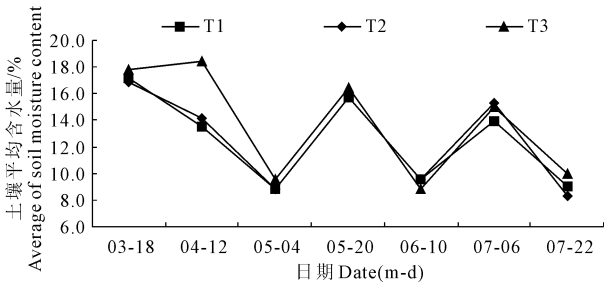


图 6 全生育期 0~40 cm 土壤平均含水量

Fig.6 The average soil water content in 0~40 cm depth for whole growth period

2.3 不同栽培模式对大麦产量及 WUE 的影响

作物水分利用效率(WUE)是生育期内单位耗水

量所生产的经济产量。由表 2 可知,不同栽培模式条件下,全膜穴播处理甘啤 4 号产量最高达8 693.2 kg·hm⁻²,平作条播次之,产量为 7 838.6 kg·hm⁻²,垄作沟灌最低为 7 539.2 kg·hm⁻²。全膜穴播处理分别比其余两处理产量高出 10.9%和15.31%。平作条播处理较垄作沟灌高 3.82%。经方差分析,处理间无显著性差异($P<0.05$)。可以得出全膜穴播处理比其它处理可以明显提高产量 10.9%和15.32%,而垄作

沟灌处理较常规平作条播处理产量低。WUE 表现为全膜穴播处理最高为 17.22 kg·mm⁻¹·hm⁻²,其次为垄作沟灌处理 15.38 kg·mm⁻¹·hm⁻²,而平作条播处理与垄作沟灌基本接近为 15.31 kg·mm⁻¹·hm⁻²,全膜穴播栽培模式分别高出 10.69%和 11.09%,差异明显。综上可知,全膜穴播栽培模式由于全地膜覆盖,最大程度减小了土壤蒸发,保墒效果显著,增加了经济产量,提高了水分利用效率。

表 2 不同处理水分利用效率
Table 2 The water use efficiency for different treatments

处理 Treatment	播前 1 m 土 壤贮水量 Soil water storage in 0 ~ 100 cm before sowing/mm	收后 1 m 土 壤贮水量 Soil water storage in 0 ~ 100 cm after harvest/mm	降水量 Rainfall /mm	灌水量 Irrigation quantity /m ³	耗水量 Water consumption /mm	经济产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
T1	208.82	175.11	54.8	270	511.93	7838.64	15.31
T2	213.02	196.32	54.8	270	489.99	7539.184	15.38
T3	216.66	184.08	54.8	270	504.76	8693.233	17.22

3 讨 论

3.1 不同栽培模式的水分效应

发展可持续节水农业要解决的关键问题是提高水资源的利用率^[23]。已有研究表明:大麦全膜穴播栽培技术通过地膜覆盖全地表,垄作沟灌栽培技术利用垄沟的微集水栽培技术,两技术通过不同途径将水分再分配后储蓄在土壤中,供作物生长利用,提高了水分利用效率。研究表明垄作沟灌可以使 50 cm 深的土层内垄作比传统平作多贮水 15 mm^[24],侯慧芝等^[25]在陇中干旱区对小麦的研究得出全膜覆土处理苗期 0~120 cm 土壤含水量分别比露地和地膜覆盖处理高 8.60%~21.14%和 7.19%~16.72%。拔节期以后全膜覆土处理 0~40 cm 的土壤含水量分别比露地和地膜覆盖处理高 17.76%~23.41%和 7.04%~8.15%;40~120 cm 的土壤含水量分别比露地和地膜覆盖处理低 10.49%~14.65%和 2.90%~6.03%。本研究结果表明,播前全膜穴播处理 0~20 cm 土壤含水量明显高于垄作沟灌和平作条播处理,为促进大麦发芽提供了较高的水分。出苗期由于全膜穴播栽培条件下 0~40 cm 土层土壤含水量显著高于垄作沟灌和平作条播处理,且在 0~10 cm,10~20 cm,20~40 cm 全膜穴播处理土壤含水量较其它两处理差异显著($P<0.05$)。并且该层主要根系分布层,表明全膜穴播栽培模式极有利于大麦的早期出苗及出苗率的提高。

侯慧芝研究结果还表明拔节期以后全膜覆土处

理 0~40 cm 的土壤含水量分别比露地和地膜覆盖处理高 17.76%~23.41%和 7.04%~8.15%,40~120 cm 的土壤含水量分别比露地和地膜覆盖处理低 10.49%~14.65%和 2.90%~6.03%^[25]。张永久^[26]认为挑旗期 0~40 cm 的土壤层中,垄作与平作土壤水分含量差异不大。本研究表明,大麦拔节期由于全地膜覆盖的保水效应,0~10 cm 土层土壤含水量全膜穴播处理明显高于垄作沟灌和平作条播处理。造成这种差异的原因主要由于环境温度上升快,地表覆盖程度和地面蒸发的差异较大共同形成的。在 40~100 cm 土层,垄作沟灌处理土壤含水量均高于全膜穴播和平作条播处理,可能与垄作沟灌栽培模式的垄沟效应有关。灌浆期处理间 0~10 cm 土层土壤含水量全膜穴播处理分别较垄作沟灌和平作条播高 2%和 3.35%。在土层 20 cm 之下,垄作沟灌处理土壤含水量均高于全膜穴播和平作条播处理,充分说明垄作沟灌栽培模式可以显著增加大麦生长后期土壤含水量,并且大麦根毛主要分布于该区域,垄作沟灌栽培有利于促进大麦后期生殖生长。

在大麦拔节以前,全膜穴播处理 0~40 cm 土层土壤平均含水量均为最高,尤其在大麦出苗期全膜穴播处理土壤平均含水量显著高于垄作沟灌和平作条播处理。因此,可以得出全膜穴播栽培模式能够促进大麦早发芽,为大麦营养生长提供较高的土壤水分。但在拔节后,由于垄作沟灌栽培模式具有的垄沟互作效应,0~40 cm 土层土壤平均含水量高于全膜穴播和平作条播处理。因此,可以得出垄作沟

灌栽培模式可以提高大麦生育后期的土壤水分,促进大麦生殖生长。

3.2 不同栽培模式的产量及 WUE

有研究表明,在河西绿洲灌区春小麦、大麦垄作沟灌较平作增产 4% ~ 10%,节水 23% ~ 36%^[6],但是 Vories E D 等^[10]发现在漫灌条件下水稻的常规平作产量超过垄作沟灌。同样有许多研究表明,全膜穴播栽培可以显著增加产量,较露地栽培土壤水分利用效率提高 19.9% ~ 42.6%^[22,25,27]。本研究结果表明,全膜穴播处理产量最高达 8 693.2 kg·hm⁻²,平作条播次之,垄作沟灌最低,全膜穴播处理分别高出 10.9% 和 15.31%。而垄作沟灌处理较常规平作条播处理产量低,与前人研究结果有所差异,有待于更进一步的研究^[4,10,24,15,26]。WUE 表现为全膜穴播处理最高为 17.22 kg·mm⁻¹·hm⁻²,其次为垄作沟灌处理,而平作条播处理与垄作沟灌处理基本接近,全膜穴播处理较其它分别高出 10.69% 和 11.09%,差异明显。由以上分析可知,全膜穴播栽培模式由于全地膜覆盖最大程度减小了土壤蒸发,提高了大麦土壤的可利用水分,增加了产量,提高了 WUE。

参 考 文 献:

[1] 丁宏伟,张 举.论干旱区绿洲的可持续发展与水资源的关系——以河西走廊为例[J].干旱区资源与环境,2004,18(6):50-55.

[2] 李 福,刘广才,李城德,等.甘肃省旱地小麦全膜覆土穴播栽培技术规程[J].甘肃农业科技,2012,(3):49-51.

[3] 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.

[4] 党占海,张俊儒.啤酒大麦垄畦沟灌节水栽培技术研究[J].大麦科学,2004,(2):25-28.

[5] Mengel D P, Nelson D W, Huber D M. Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional tillcom[J]. Agron J, 1982,74:515-518.

[6] 张立勤,马忠明,曹诗瑜,等.河西绿洲灌区垄作春小麦的产量效应及节水效果研究[J].中国农村水利水电,2009,(3):63-65,69.

[7] Mosehler W W, Schear G M, Martens D C, et al. Compative yield and frtilieizr effieieney of no-tillage conventionally tilled com[J]. Agron

J, 1972,64:229-231.

[8] Opokuq G, Vyn T J, Swanton C J. Modified no-till systems of corn following wheat on clay soils[J]. Agron J, 1997,89:549-556.

[9] 王法宏.小麦垄作栽培技术的生态生理效应[J].山东农业科学,1999,(4):1-4.

[10] Vories E D, Counce P A, Keisling T C. Comparison of flooded and furrow-irrigated riceon clay[J]. Irrig Science, 2002,21:139-144.

[11] 李 福,李城德,刘广才,等.甘肃发展旱地全膜覆土穴播技术的重要意义[J].节水农业科技,2010,(23):3-4.

[12] 李世清,李东方,李凤民,等.半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(5):21-29.

[13] 王 俊,李凤民,宋秋华,等.地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J].应用生态学报,2003,14(2):205-210.

[14] 温晓霞,韩思明,赵凤霞,等.旱作小麦地膜覆盖生态效应研究[J].中国生态农业学报,2003,11(2):99-101.

[15] 刘晓伟,何宝林,康恩祥,等.播种方式对旱区冬小麦产量及土壤水分、温度的影响[J].作物杂志,2011,(5):77-81.

[16] 何春雨,周祥椿,张礼军,等.全膜免耕栽培技术对冬小麦产量效应的研究[J].小麦研究,2010,(2):3-12.

[17] 杨晓亚,于振文,许振柱.灌水量和灌水时期对小麦耗水特性和氮素积累分配的影响[J].生态学报,2009,29(2):846-853.

[18] 侯慧芝,吕军峰,张绪成,等.陇中半干旱区全膜覆土穴播小麦的土壤水分及产量效应[J].作物杂志,2010,(1):21-24.

[19] 吕丽华,胡玉昆,李雁鸣,等.灌水方式对不同小麦品种水分利用效率和产量的影响[J].麦类作物学报,2007,27(1):88-92.

[20] 贾树龙,孟春香,唐玉霞,等.水分胁迫条件下小麦的产量反应及对养分的吸收特征[J].土壤通报,1995,26(1):6-8.

[21] 陈玉华,张岁岐,田海燕,等.地膜覆盖及施用有机肥对地温及冬小麦水分利用的影响[J].水土保持通报,2010,30(3):62-66.

[22] 李 福,刘广才.甘肃省小麦全膜覆土穴播栽培技术的增产效果[J].农业科技与信息,2011,(23):3-4.

[23] 山 仑,徐 萌.节水农业及其生理生态基础[J].应用生态学报,1991,2(1):70-76.

[24] 刘刚才.川中丘陵区垄作土壤抗旱机理的研究[J].土壤通报,1997,28(6):248-250,253.

[25] 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.

[26] 张永久.河西绿洲灌区春小麦垄作栽培产量效应及其影响机制的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2006:28-29.

[27] 韩思明,李 岗,王虎全.旱作不同地膜覆盖对土壤水分及产量的影响[J].耕作与栽培,2000,(6):35-37.