

不同覆盖栽培对旱作冬小麦土壤水分、产量和品质的影响

王磊¹, 樊廷录¹, 闫妍², 徐静³, 赵刚¹, 党翼¹, 张建军¹, 李兴茂¹, 李尚中¹

(1.甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070;

2.中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; 3.山东农业大学化学与材料科学学院, 山东 泰安 271018)

摘要:为探明不同栽培措施下全膜覆土穴播种植对不同基因型冬小麦生产的土壤水分状况、产量和品质的影响,为旱作冬小麦覆膜适水种植与农业绿色可持续高质量生产提供依据。采用普通聚乙烯地膜覆土穴播(PE)和生物降解地膜全膜覆土穴播(BM)2种覆盖材料种植方式,以传统露地穴播(LD)为对照,研究不同栽培措施对冬小麦土壤水分状况、产量、水分利用效率和主要品质的影响。结果表明,在干旱气候和作物耗水影响下,地膜覆盖处理较LD降低0—300 cm土层土壤平均含水量,BM较PE显著降低0—300 cm土层土壤水分。冬小麦全生育期耗水量BM较LD和PE分别增加22.0,23.0 mm,全生育期土壤水分消耗量BM>LD>PE。“陇鉴110”2个种植季地膜覆盖均较露地栽培显著增产;2018—2019年种植季,“陇鉴111”PE、BM较LD分别增产40.3%和29.7%,2019—2020年种植季,受严重倒伏影响PE、BM较LD分别减产2.5%,3.5%。与LD相比,地膜覆盖降低冬小麦籽粒品质,BM较PE极显著提升面团稳定时间和形成时间,“陇鉴110”籽粒平均蛋白质含量、湿面筋含量和弱化度分别较“陇鉴111”增加10.6%,11.1%,10.3%。因此,生物降解地膜覆盖可起到与聚乙烯地膜类似的蓄水保墒功能,但在旱作区冬小麦生产中,生物降解地膜覆盖要依据品种耗水特性及地膜栽培适应性,选择适宜的品种。

关键词:覆盖栽培;生物降解地膜;冬小麦;产量;品质

中图分类号:S152.7;S512

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2023)03-0248-10

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2023.03.032

Effect of Different Mulch Cultivation on Soil Moisture, Yield and Quality of Dryland Winter Wheat

WANG Lei¹, FAN Tinglu¹, YAN Yan², XU Jing³, ZHAO Gang¹,

DANG Yi¹, ZHANG Jianjun¹, LI Xingmao¹, LI Shangzhong¹

(1.Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

2.Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

3.College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: In order to explore the effects of different cultivation methods on soil moisture status, yield, and quality of different genotypes of winter wheat, and to provide a basis for water-suitable planting and agricultural green and sustainable high quality production of dry winter wheat. The soil water status, yield, water use efficiency, and main quality indexes of winter wheat under different cultivation practices were systematically studied by using two planting methods of mulching materials, common polyethylene film covered burrowing (PE) and biodegradable film covered burrowing (BM), compared with traditional open field burrowing (LD). The results showed that under the influence of arid climate and crop water consumption, the average soil moisture in 0—300 cm soil layer was reduced by mulching compared with LD, and the soil moisture in 0—300 cm soil layer was significantly reduced by BM compared with PE. The water consumption BM of winter wheat during the whole growth period increased by 22.0 mm and 23.0 mm, respectively, compared with LD and PE, and the soil water consumption BM > LD > PE during the whole growth period. The mulch yield of LJ 110 in two planting seasons was significantly higher than that of open-field cultivation.

收稿日期:2022-10-11

资助项目:国家重点研发计划项目(2016YFB0302402);甘肃省农业科学院重点研发计划项目(2021GAAS14)

第一作者:王磊(1982—),男,副研究员,主要从事旱地栽培、作物抗逆防灾减灾及水分高效利用研究。E-mail:qyzlwl@163.com

通信作者:王磊(1982—),男,副研究员,主要从事旱地栽培、作物抗逆防灾减灾及水分高效利用研究。E-mail:qyzlwl@163.com

In 2018—2019 planting season, LJ 111 PE and BM increased by 40.3% and 29.7% compared with LD. In 2019—2020 planting season, due to severe lodging, PE and BM decreased by 2.5% and 3.5% compared with LD. Compared with LD, plastic film mulching reduced the grain quality of winter wheat, BM significantly increased the dough stabilization time and dough formation time compared with PE, and the average protein content, wet gluten content and weakening degree of LJ 110 grains were increased by 10.6%, 11.1% and 10.3% compared with LJ 111 grains, respectively. Therefore, biodegradable film mulching can play a similar role as polyethylene film in water storage and water conservation, but in winter wheat production in dryland area, biodegradable film mulching should be selected according to the water consumption characteristics of varieties and film cultivation adaptability.

Keywords: mulch cultivation; biodegradable plastic film; winter wheat; yield; quality

冬小麦是西北旱作区重要的粮食作物之一,该区水热资源匮乏,气温低、降水少,严重制约冬小麦的生产;同时,降水时期与冬小麦需水期供需错位,导致阶段性干旱限制冬小麦丰产、稳产。大量研究^[1-2]表明,地膜覆盖能保蓄土壤水分、提高土壤温度,显著改善土壤水热环境,有效减轻低温和干旱对作物的负面效应,有利于提升作物产量和降水利用效率。全膜覆土穴播小麦在地膜全地面覆盖的基础上,使用膜上覆土技术,配合机械穴播,有效解决常规地膜冬小麦覆盖栽培苗孔错位、增加放苗作业的问题,有显著的集雨保墒作用,是西北寒旱区小麦生产中有效保墒增温、促进干物质向籽粒转运、提升产量的技术模式^[3-4]。冬小麦是大群体、密植型作物,在生产中采用普通聚乙烯地膜为覆盖材料,使地膜难以捡拾,造成严重的地膜残留污染,全膜覆土穴播冬小麦栽培技术在地膜覆盖的基础上增加膜上覆土,使得地膜捡拾更加困难。生物降解地膜的研发和应用为大群体、密植型作物生产提供新的覆盖材料,生物降解地膜通过自然界水、光、热、微生物等作用,可自然降解,能够有效减少地膜田间残留,降低地膜残留污染^[5-6]。有研究^[7]发现,生物降解地膜覆盖对在不同区域作物产量、水分等有不同的影响,生物降解地膜覆盖造成作物干物质积累下降、减产,并降低水分利用效率。马明生等^[8]研究表明,在西北半干旱区生物降解地膜上覆土栽培在土壤水分、春小麦产量方面与普通聚乙烯地膜没有显著差异;赵刚等^[9]研究发现,在西北陇东雨养旱作区降解地膜膜上覆土栽培冬小麦产量和水分利用效率均较普通聚乙烯地膜膜上覆土栽培有不同程度降低。目前,在全膜覆土穴播小麦研究方面,前人研究多集中在不同覆盖材料对土壤理化性质、0—200 cm 土壤水分、单一小麦品种生长发育等方面^[10-11],不同覆盖材料下全膜覆土穴播冬小麦对 0—300 cm 土壤水分变化和不同类型冬小麦品质的影响研究较少;同时,西北旱作区生物降解地膜全膜覆土穴播冬小麦栽

培深层土壤水分恢复与耗水差异是否会造成深层土壤干层尚不明确。因此,在西北旱作雨养区,以生物降解地膜和普通聚乙烯地膜为覆盖材料,进一步探索全膜覆土穴播种植模式下不同基因型冬小麦土壤水分变化与品质影响,可为西北旱作区冬小麦覆膜适水种植与农业绿色可持续高质量发展综合生产模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年 9 月至 2020 年 7 月,在甘肃省农业科学院旱农所国家土壤质量观测(镇原)试验站(35°30'N,107°29'E)进行。该区域海拔 1 279 m,土壤为黑垆土,有机质、全氮含量分别为 10.7、0.91 g/kg,碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 91.3、11.8、228.3 mg/kg,肥力中等。年均降水量为 533.4 mm,7—9 月降水占全年降水量的 60%左右,为典型的雨养旱作区。

1.2 试验设计

试验于 2018 年秋季至 2020 年夏季播种冬小麦 2 季,冬小麦茬口,于 2018 年夏季冬小麦收获后休闲至 2018 年秋季种植冬小麦。试验为随机区组设计,以甘肃省农业科学院旱地农业研究所选育的强冬性、匍匐型、适宜在旱塬地种植的冬小麦“陇鉴 110”和冬性、半匍匐型、适宜在山旱地种植的冬小麦“陇鉴 111”为试验材料,设置露地(LD)、普通聚乙烯地膜全膜覆土覆盖(PE)、生物降解地膜全膜覆土覆盖(BM)3 种栽培模式。聚乙烯地膜为甘肃振海塑业有限公司生产的古农牌聚乙烯地膜,生物降解地膜为山东清田塑工有限公司生产的以 PBAT(聚己二酸对苯二甲酸丁二醇酯)和 PLA(聚乳酸)为主成分的生物降解地膜,地膜幅宽为 120 cm,厚度为 0.01 mm。小区面积 56 m²(7 m×8 m),3 次重复。行距 20 cm,穴距 12 cm,播种量 300 万粒/hm²。2018 年 9 月 7 日整地、覆膜,9 月 29 日播种,2019 年 7 月 6 日收获;2019 年 9 月 12 日整地、覆膜,9 月 30 日播种,2020 年 7 月

5 日收获。地膜在一季冬小麦收获后休闲期内不揭膜,便于蓄水保墒,在下一季耕作前将聚乙烯地膜揭除,生物降解地膜不揭膜翻压还田,结合整地一次性施纯氮 180 kg/hm², P₂O₅ 105kg/hm²,生育期内不追肥,其他管理同高产农田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤水分及耗水量测定 采用土钻法人工取土,使用烘干称重法测定。于冬小麦播种前、返青期、拔节期、灌浆期、收获期在长势均匀、具有代表性区域进行取土,每隔 20 cm 为 1 层,由地表向下依次取 0—300 cm 土层,分 10 层测定土壤含水量,并计算土壤贮水量^[2]。

土壤含水量(%)=[湿土质量(g)−烘干土质量(g)]/烘干土质量(g)×100%

土壤贮水量(mm)=土壤质量含水量(%)×土壤容重(g/cm³)×土层深度(cm)×10

由于试验地点地下水埋深在 80 m 以下,无地下水补给,不计算地下水补给量;试验区土壤疏松多孔,降水不会产生径流,所以本研究中地表径流可以忽略不计。冬小麦耗水量计算公式为^[9]:

阶段耗水量(mm)=阶段降水量(mm)+阶段土壤贮水量变化量(mm)

1.3.2 农艺性状、产量测定和水分利用效率计算

冬小麦成熟后每小区选择取掉边行的 1 m×5 m 样段 3 个,测定株高、穗长、穗粒数等农艺性状,每小区实收脱粒计产,使用 PM-8188A 型谷物水分测定仪测定籽粒水分含量,按 14%含水量折合为公顷产量。

水分利用效率计算公式为^[8]:

水分利用效率[kg/(hm²·mm)]=籽粒产量(kg/hm²)/耗水量(mm)

1.3.3 倒伏率测定 于每种植季的 6 月 15 日测定每小区连续 100 株倒伏株数,每小区 5 次重复。

1.3.4 冬小麦主要品质测定 品质测定由甘肃省农业科学院旱地农业研究所甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室完成。采用丹麦 Foss 公司 DS 2500 型多功能近红外分析仪检测蛋白质含量,采用伯利恒 BLH-1100 小麦硬度指数仪测定硬度,采用瑞典 Perten 公司 2200 型面筋指数系统测定湿面筋及面筋

指数,采用德国 Brabender 公司 810110 电子粉质仪测定形成时间、稳定时间、吸水率及弱化度,采用谷物电子容重器 GHCS 1000 测定容重。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2010 软件处理数据和制图,使用 Surfer 12.0 软件绘制土壤水分等值线图,用 DPS 7.5 软件进行统计分析,利用最小显著极差法(LSD)进行差异显著性检验(*p* 为 0.05 和 0.01)。

2 结果与分析

2.1 冬小麦生长期降水量变化

由表 1 可知,冬小麦 2018—2019 年种植季,2019—2020 年种植季全生育期降水量分别为 267.7, 316.4 mm,多年同期平均降水量为 273.7 mm,2018—2019 年种植季为平水年,2019—2020 年种植季为丰水年。2018—2019 种植季和 2019—2020 种植季夏秋休闲季降水量分别为 294.0,134.0 mm,多年同期平均降水量为 277.3 mm,2018—2019 种植季为平水年,2019—2020 年种植季为欠水年。2018—2019 年种植季播种至越冬期 2018 年 10 月至 2019 年 2 月降水合计 47.7 mm,出现冬春季干旱现象,2019—2020 年种植季同期降水 106.9 mm,对土壤水分进行充分补给。3 月冬小麦进入返青期,返青期土壤水分影响冬小麦产量和水分利用效率变化,较好的土壤水分有助于冬小麦产量和水分利用效率的提升^[12],2018—2019 年种植季和 2019—2020 年种植季返青期均发生严重干旱,分别为多年同期平均降水量的 46.6%,11.5%。4 月冬小麦进入拔节期,该时期发生干旱会降低冬小麦千粒重,对冬小麦产量形成造成不利影响^[13],2018—2019 年种植季该时期降水与多年平均降水量持平,2019—2020 年种植季降水量仅为 6.2 mm。5 月、6 月为冬小麦孕穗—灌浆的产量形成期,2018—2019 年种植季降水量分别为 67.2, 102.7 mm,为多年同期降水量的 123.5%,126.8%,2019—2020 年种植季降水量分别为 62.5,115.5 mm,为多年同期降水量的 114.9%,142.6%。可见,虽然 2018—2019 年种植季降水年型为平水年、2019—2020 年种植季降水年型为丰水年,但关键生育期季节性干旱依然严重胁迫冬小麦生长发育。

表 1 冬小麦生长期降水量

单位:mm

种植季	全生育期	夏秋休闲季	10—12 月	1—2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
2018—2019 年	267.7	294.0	32.1	15.6	8.1	42.0	67.2	102.7
2019—2020 年	316.4	134.0	87.6	19.3	2.0	6.2	62.5	115.5
2010—2020 年	273.7	277.3	56.3	13.0	17.4	41.4	54.4	81.0

2.2 不同处理冬小麦生育期土壤水分垂直变化

由图 1 可知,2018 年 9 月下旬播前,LD、PE 和 BM 处理 0—200 cm 剖面土层土壤平均水分分别为 18.9%,

19.5%,19.6%,200—300 cm 剖面土层土壤平均水分分别为 14.9%,14.9%,15.3%。经过 1 个生长季水分补给与消耗后,2019 年 7 月上旬收获期 LD、PE 和 BM 处理

0—200 cm 剖面土层土壤平均水分分别降低至 14.7%, 15.3% 和 13.8%, 其中, BM 处理 60 cm 土层土壤平均水分降低至 9.7%, 200—300 cm 剖面土层土壤平均水分分别降低至 14.7%, 14.1%, 14.5%。经过夏秋休闲季降水补给, 2019 年 9 月下旬播前 LD、PE 和 BM 处理 0—200 cm 剖面土层土壤平均水分分别回升至 21.0%, 21.1%, 20.8%, 200—300 cm 剖面土层土壤平均水分分别回升至 16.0%, 14.6%, 15.2%。2020 年 7 月上旬收获期 LD、PE 和 BM 处理 0—60 cm 剖面土层土壤平均水分受降水补给分别为 18.8%, 19.9%, 19.4%, 但 LD、PE 和 BM 处理

0—200 cm 剖面土层土壤平均水分分别降低至 13.5%, 13.6%, 13.3%, 200—300 cm 剖面土层土壤平均水分分别为 11.6%, 11.0%, 11.1%。可见, 地膜覆盖不论是聚乙烯地膜还是生物降解地膜在夏秋休闲季降水对深层土壤水分补给效果均低于不覆膜处理, 在连续干旱气候与作物耗水双重影响下, 生物降解地膜和聚乙烯地膜覆盖均对土壤深层水分造成不利影响。在短期阶段性干旱影响下, “陇鉴 110”与“陇鉴 111”深层土壤水分均能受到有效补给, “陇鉴 111”在 0—200 cm 土层与 200—300 cm 深层土壤水分均高于“陇鉴 110”。

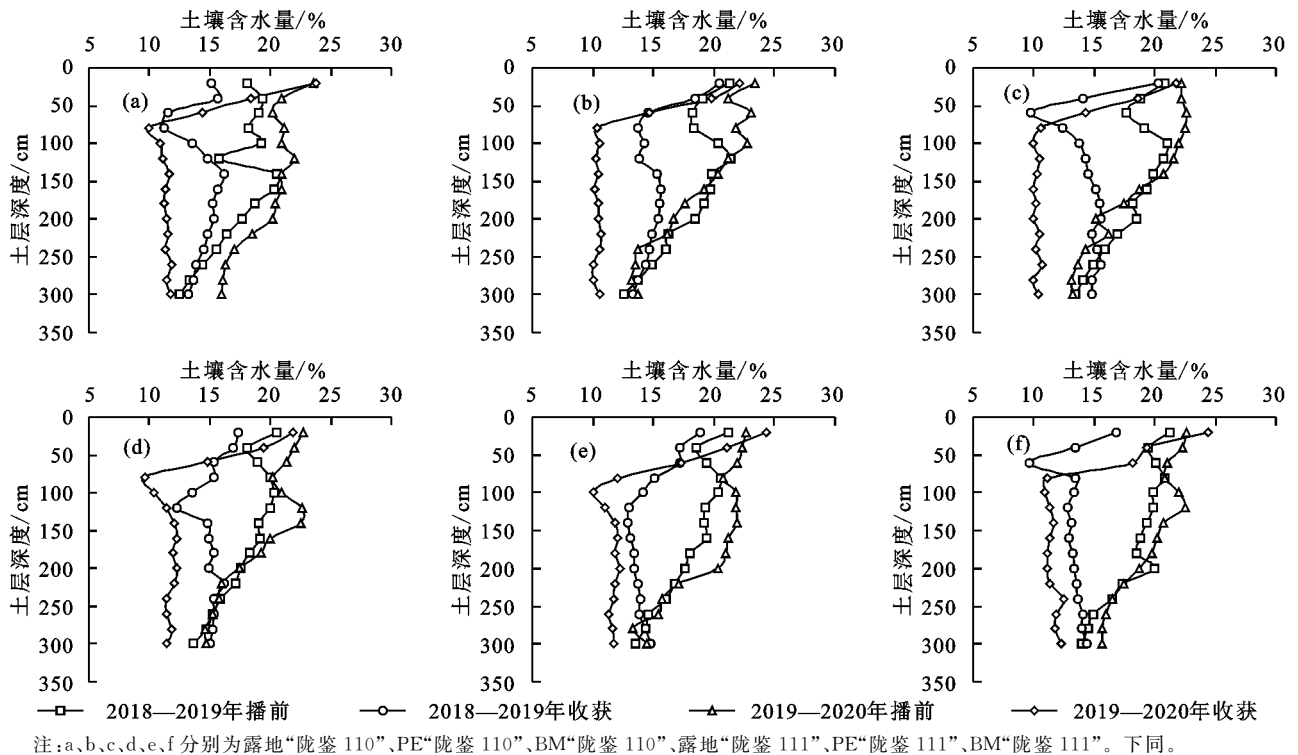


图1 冬小麦播前与收获期土壤水分垂直变化

对不同处理冬小麦土壤水分垂直变化进行分析(图2)表明,不同处理冬小麦 0—300 cm 土层土壤水分垂直变化趋势相同,地膜覆盖处理土壤水分变化大于露地处理。整体来看,土壤水分变化从大到小分别为 BM>PE>LD;从品种来看,0—200 cm 土壤水分变化 LD 和 PE 处理“陇鉴 110”大于“陇鉴 111”,BM 处理“陇鉴 110”小于“陇鉴 111”,200—300 cm 土壤水分变化均呈现出“陇鉴 110”大于“陇鉴 111”的趋势,变异系数>25% 土层 LD 在 0—80 cm, PE 和 BM 均在 0—100 cm。土壤平均含水量各处理均呈现“S”形变化曲线,0—200 cm 土层 LD、PE 和 BM 处理“陇鉴 110”土壤平均含水量分别为 15.8%, 16.0% 和 15.7%, “陇鉴 111”土壤平均含水量分别为 16.4%, 16.1% 和 15.5%, 200—300 cm LD、PE 和 BM 处理“陇鉴 110”土壤平均含水量分别为 15.1%, 14.7% 和 14.7%, “陇鉴 111”土壤平均含水量分别为 15.7%, 15.2% 和 15.0%。

2.3 不同处理冬小麦生育期 0—300 cm 土壤水分时空变化

不同处理 0—300 cm 土层土壤水分随着降水的补给和消耗形成鲜明的剖面变化特征,整体随着降水补给,由地表向地下土壤水分呈现由高到低的变化趋势,随着土壤水分的消耗,由地表向地下土壤水分呈现由低到高的变化趋势(图3)。PE 和 BM 处理农田土壤水分受到季节性干旱的影响,0—80 cm 土壤剖面水分均较 LD 处理明显降低,形成明显土壤平均含水量<10%的低湿层,BM 处理下,在 60 cm 土层,出现土壤平均含水量<8.0%的低湿层,受后期降水补给,低湿层消失。可见,受连续极端干旱气候和作物耗水影响,地膜覆盖处理显著消耗土壤水分,较露地处理降低 0—300 cm 土层土壤含水量,生物降解地膜覆盖处理 0—200 cm 土壤水分较露地和普通聚乙烯地膜覆盖处理明显降低,200—300 cm 土层土壤水分也出现显著消耗,造成深层土壤水分降低。

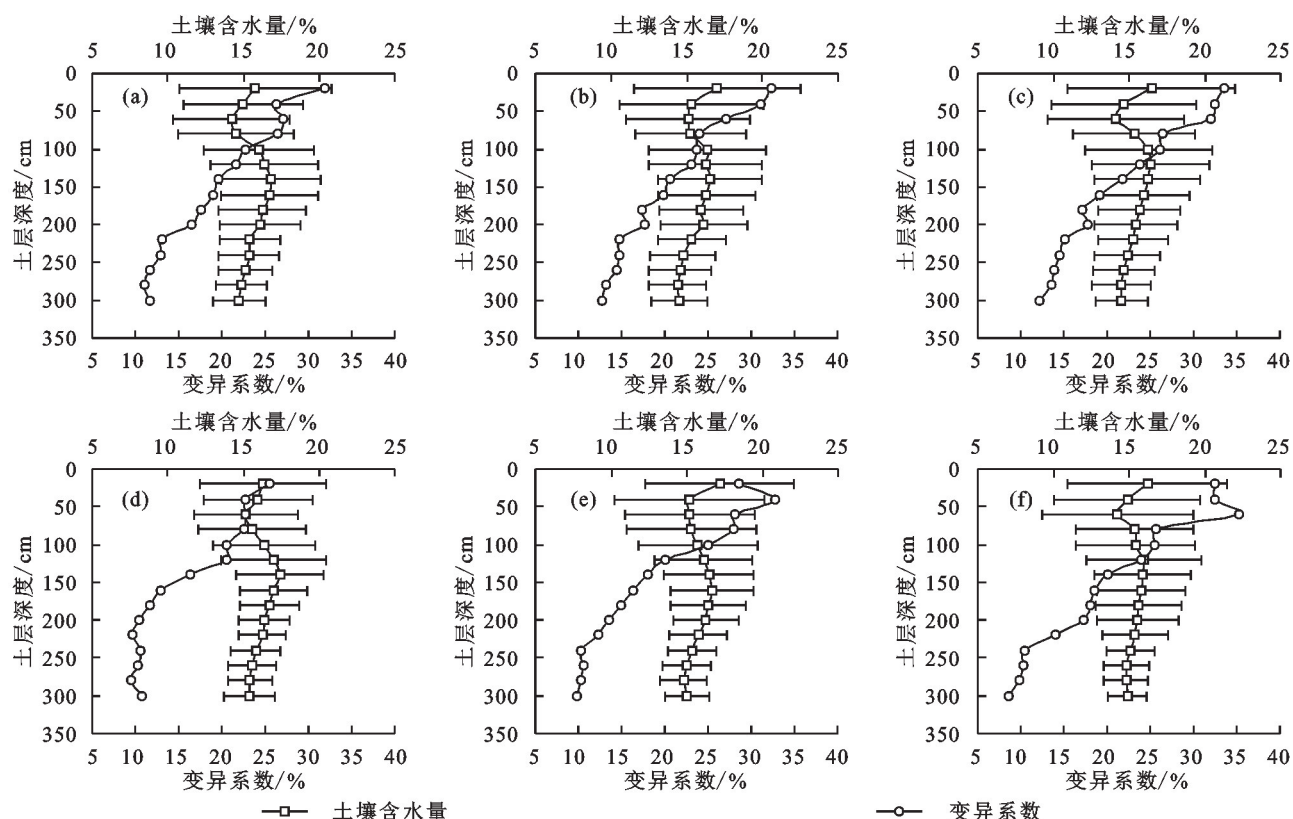


图 2 冬小麦土壤水分垂直变化

2.4 不同处理对冬小麦耗水量与土壤水分消耗量的影响

通过对冬小麦关键生育阶段耗水量分析(表 2)表明,2018—2019 年种植季,“陇鉴 110”灌浆至成熟期各处理耗水量均达高峰期,占全生育期耗水量的 39%以上,LD、PE 和 BM 该时期耗水量分别占全生育期耗水量的 46.1%,42.6%和 39.2%;“陇鉴 111”LD 处理灌浆至成熟期耗水量达高峰期,占全生育期耗水量的 37.0%,PE 和 BM 处理则在返青至拔节期耗水量达最高峰,分别占全生育期耗水量的 36.8%和 33.9%。2019—2020 年种植季,“陇鉴 110”耗水量最高峰 LD 和 PE 出现在播种至返青期,分别占全生育期耗水量的 30.7%和 27.5%,BM 处理耗水量最高峰出现在返青至拔节期,占全生育期耗水量的 29.3%;“陇鉴 111”耗水量最高峰分布差异显著,LD 耗水量最高峰出现在灌浆至成熟期,占全生育期耗水量的 38.5%,PE 耗水量最高峰出现在播种至返青期,占全生育期耗水量的 30.1%,BM 耗水量最高峰出现在返青至拔节期,占全生育期耗水量的 33.0%。2 年平均耗水量,播种至返青期耗水量 LD>BM>PE,返青期至拔节期 BM 较 LD 和 PE 分别增加耗水 32.9%和 4.9%,拔节至灌浆期 BM 较 LD 和 PE 分别增加耗水 43.0%和 26.8%,灌浆至成熟期 LD 耗水量显著增加,耗水量 LD>PE>BM, BM 较 LD 和 PE 分别减少耗水量 25.3%和 7.8%。播种至拔节阶段“陇鉴 111”耗水量大于“陇鉴 110”,

拔节至成熟阶段“陇鉴 110”耗水量大于“陇鉴 111”。

全生育期土壤水分消耗 BM>LD>PE。播种至返青期,土壤水分消耗 LD>BM>PE,PE 对土壤水分消耗量最少,返青至拔节期、拔节期至灌浆期土壤水分消耗量均为 BM>PE>LD,地膜覆盖处理较 LD 处理显著增加对土壤水分的消耗,灌浆至成熟期土壤水分消耗量 LD>PE>BM。土壤水分消耗量 2 个冬小麦品种表现与耗水量相同。

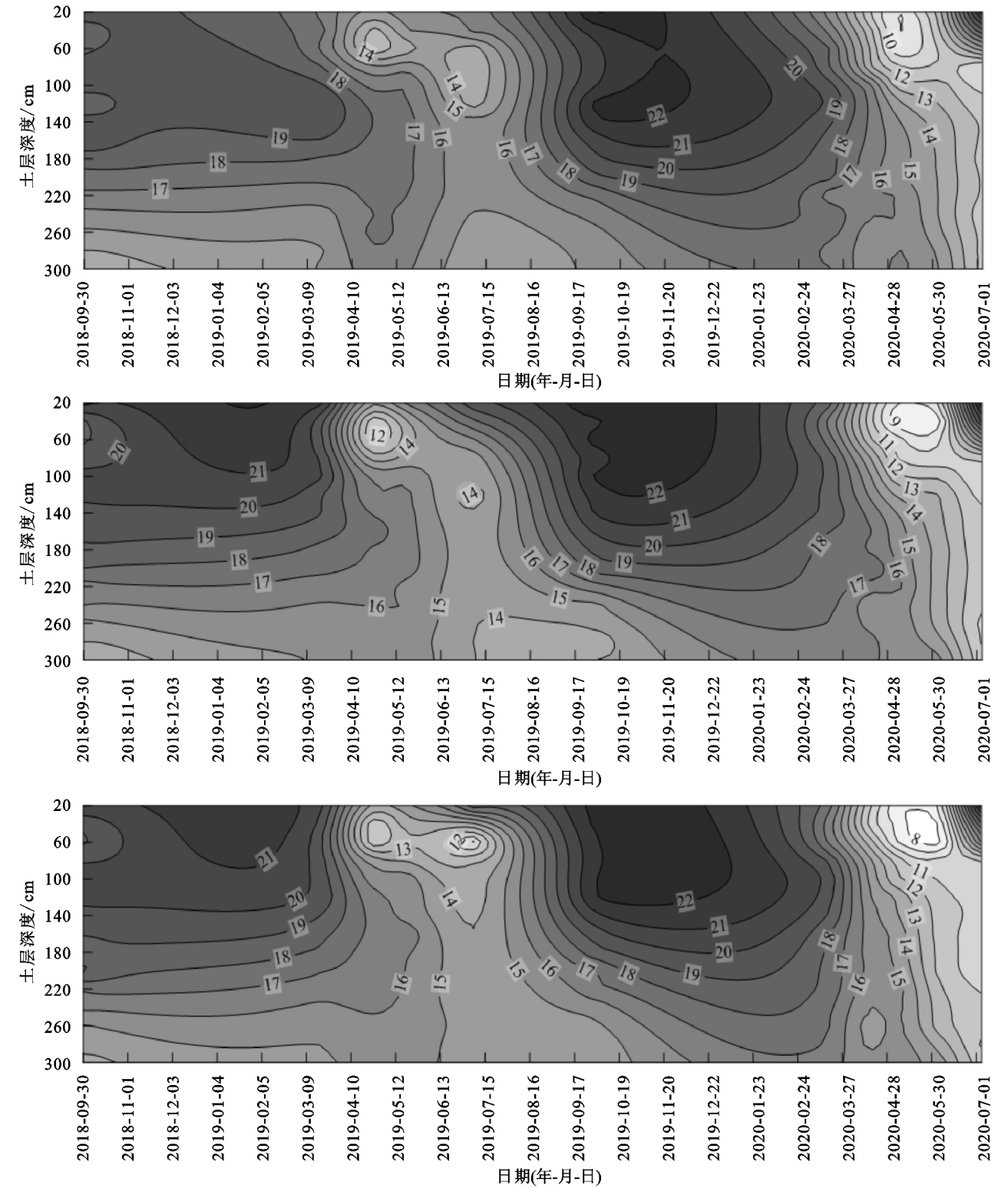
2.5 不同处理对小麦农艺性状和倒伏率的影响

方差分析(表 3)表明,穗长、穗粒数和倒伏率在种植季间均有显著($p<0.05$)或极显著差异($p<0.01$),2019—2020 年种植季倒伏率较 2018—2019 年种植季增加 64.3%。栽培方式对株高、穗长、穗粒数和倒伏率影响达极显著水平($p<0.01$),地膜覆盖显著增加株高、穗长、穗粒数及倒伏率,PE 和 BM 较 LD 株高分别增加 9.7%,6.0%,穗长分别增加 10.8%,7.6%,穗粒数分别增加 9.9%,10.9%,倒伏率分别增加 77.2%,51.8%。品种对穗长、穗粒数和倒伏率有显著($p<0.05$)或极显著($p<0.01$)影响,其中,倒伏率“陇鉴 111”较“陇鉴 110”增加 66.6%,倒伏率增加的主要原因是“陇鉴 111”较“陇鉴 110”穗长显著增加 9.0%。栽培方式与品种互作对株高、穗长和倒伏率影响极显著($p<0.01$)。结果表明,地膜覆盖能够显著促进小麦株高及产量性状提升,但增加植株的倒伏率,影响籽粒灌浆和品质提升。

2.6 不同处理对小麦产量和水分利用效率的影响

种植季、栽培方式、品种对产量和水分利用效率影响不同(表 4、表 5)。种植季、品种及栽培方式与品种互作均对产量和水分利用效率均有极显著影响($p < 0.01$)。“陇鉴 110”地膜覆盖均较露地栽培显著增产,2018—2019 年和 2019—2020 年 2 个种植季 PE、BM 较 LD 分别增产 31.2%,47.6%,21.1%,25.3%,”陇鉴 111”地膜

覆盖 2018—2019 年种植季均较露地栽培显著增产,PE、BM 较 LD 增产 40.3%,29.7%,2019—2020 年种植季均较露地减产,但差异不显著,PE、BM 较 LD 减产 2.5%,3.5%。“陇鉴 110”水分利用效率 2018—2019 年种植季和 2019—2020 年种植季均表现为 BM>PE>LD,“陇鉴 111”水分利用效率 2018—2019 年种植季表现为 PE>BM>LD,2019—2020 年种植季则表现为 LD>PE>BM。



注:a、b、c 分别为露地、PE、BM;图中数字表示土壤含水量(%)。

图 3 冬小麦土壤水分时空变化

表 2 不同处理冬小麦耗水量与土壤水分消耗量变化

单位:mm

种植季	品种	栽培方式	播种—返青期		返青—拔节期		拔节—灌浆期		灌浆—成熟期	
			耗水量	土壤水分消耗量	耗水量	土壤水分消耗量	耗水量	土壤水分消耗量	耗水量	土壤水分消耗量
2018—2019 年	“陇鉴 110”	LD	112.3	8.2	56.5	24.3	63.6	—4.4	198.8	87.1
		PE	105.7	1.6	104.0	71.8	34.0	—34.0	180.9	69.2
		BM	108.3	4.2	88.8	56.6	72.9	4.9	173.9	62.2
	“陇鉴 111”	LD	120.7	16.6	82.2	50.0	62.4	—5.6	155.8	44.1
		PE	107.5	3.4	163.8	131.6	73.3	5.3	101.1	—10.6
		BM	130.4	26.3	172.3	140.1	57.9	—10.1	147.6	35.9
2019—2020 年	“陇鉴 110”	LD	179.5	70.6	177.3	171.1	136.7	72.2	90.8	—46.0
		PE	155.6	46.7	151.1	144.9	154.4	89.9	105.2	—31.6
		BM	155.6	46.7	167.4	161.2	149.9	85.4	98.3	—38.5
	“陇鉴 111”	LD	162.3	53.4	144.0	137.8	34.3	—30.2	213.0	76.2
		PE	165.7	56.8	164.1	157.9	73.2	8.7	146.7	9.9
		BM	155.8	46.9	182.9	176.7	144.2	79.7	72.2	—64.6
2 年平均	“陇鉴 110”	LD	145.9	39.4	116.9	97.7	100.2	33.9	144.8	20.6
		PE	130.6	24.1	127.5	108.3	94.2	27.9	143.0	18.8
		BM	131.9	25.4	128.1	108.9	111.4	45.1	136.1	11.9
	“陇鉴 111”	LD	141.5	35.0	113.1	93.9	48.3	—17.9	184.4	60.2
		PE	136.6	30.1	164.0	144.8	73.3	7.0	123.9	—0.3
		BM	143.1	36.6	177.6	158.4	101.0	34.8	109.9	—14.3

表 3 不同处理对小麦农艺性状和倒伏率的影响

种植季	品种	处理	株高/cm	穗长/cm	穗粒数/粒	倒伏率/%
2018—2019 年	“陇鉴 110”	LD	86.8b	8.2b	44.9b	8.7b
		PE	103.2a	9.6a	58.0a	19.3a
		BM	102.2a	8.6b	51.3ab	16.0a
	“陇鉴 111”	LD	94.5b	9.1b	59.7a	14.0b
		PE	102.7a	10.1a	59.9a	25.3a
		BM	99.9ab	10.1a	64.4a	18.0b
2019—2020 年	“陇鉴 110”	LD	95.1a	8.1b	44.4a	16.7a
		PE	96.5a	9.1a	47.3a	21.0a
		BM	96.0a	8.8ab	45.4a	18.7a
	“陇鉴 111”	LD	100.0b	9.0a	37.5b	23.0c
		PE	110.4a	9.3a	39.8b	45.0a
		BM	100.9b	9.5a	45.7a	42.0b
显著性	种植季		0.1857	0.0199	0.0001	0.0001
	栽培方式		0.0001	0.0001	0.0061	0.0001
<i>p</i> 值	品种		0.8096	0.0004	0.0061	0.3284
	栽培方式×品种		0.0001	0.0076	0.4913	0.0008

注:同列不同字母表示不同处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

表 4 不同栽培方式冬小麦产量与水分利用效率变化

品种	栽培方式	产量/(kg·hm ⁻²)		水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	
		2018—2019 年	2019—2020 年	2018—2019 年	2019—2020 年
“陇鉴 110”	LD	4866.9c	5353.1b	11.3b	9.2b
	PE	6383.7b	6481.8a	15.0a	11.4a
	BM	7183.7a	6709.9a	16.2a	11.7a
“陇鉴 111”	LD	5250.3c	5756.9a	12.5c	10.4a
	PE	7367.0a	5611.3a	16.5a	10.2a
	BM	6808.7b	5557.6a	13.4b	10.0a

表 5 种植季、栽培方式和品种对冬小麦产量与水分利用效率的方差分析

变量	产量 p 值	水分利用效率 p 值
种植季	0.0075	0.0001
栽培方式	0.4629	0.2517
品种	0.0001	0.0001
栽培方式 $\times$ 品种	0.0017	0.0001

2.7 不同处理对小麦主要品质的影响

不同品种冬小麦籽粒硬度、蛋白质含量、湿面筋含量和弱化度差异达极显著水平($p<0.01$),面团形成时间和面团吸水率差异达显著水平($p<0.05$),容重、面筋指数和面团稳定时间差异不显著(表 6)。“陇鉴 110”籽粒平均硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、面团形成时间、面团吸水率和弱化度分别为 61.4,14.9,33.6 和 157.5,较“陇鉴 111”分别增加-5.8%,10.6%,11.1%,-14.4%,-1.9%和 10.3%。栽培措施对籽粒蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、面团稳定时间、

面团形成时间和弱化度影响达极显著水平($p<0.01$),容重和硬度差异达显著水平($p<0.05$),面团吸水率差异未达显著水平。地膜覆盖较 LD 冬小麦籽粒硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、面团稳定时间、面团形成时间和吸水率均不同程度降低,PE 处理降低幅度为 1.5%~46.4%,BM 处理降低幅度为 1.7%~29.7%,籽粒容重和弱化度不同程度提升,PE 处理分别提升 1.9%和 18.2%,BM 处理分别提升 2.5%和 17.0%。BM 处理面团稳定时间和面团形成时间较 PE 处理显著提升,分别提升 31.1%和 42.5%,籽粒硬度、面团吸水率和弱化度较 PE 不同程度降低,但差异不显著。品种和栽培措施交互作用对蛋白质含量和湿面筋含量存在极显著影响($p<0.01$),对面团形成时间和弱化度存在显著影响($p<0.05$),籽粒容重、硬度、面筋指数、面团稳定时间和面团吸水率在品种和栽培措施交互作用下差异不显著。

表 6 不同栽培方式对冬小麦品质的影响

品种	栽培方式	容重/ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	硬度	蛋白质 含量/%	湿面筋/ %	面筋 指数/%	稳定 时间/min	形成 时间/min	吸水率/ %	弱化度 (FU)
“陇鉴 110”	LD	791.3a	63.6a	16.5a	36.3a	92.5a	9.3a	3.2a	58.1a	143.0b
	PE	809.9a	61.5ab	14.1b	32.2b	83.7b	5.4c	2.1b	57.2a	161.7a
	BM	816.3a	59.1b	14.2b	32.2b	90.2ab	6.6b	2.4b	56.4a	167.8a
“陇鉴 111”	LD	796.2a	67.2a	14.9a	32.9a	97.8a	9.9a	3.8a	58.7a	125.8c
	PE	807.3a	63.2b	12.0c	27.2c	86.5b	4.9c	1.9b	57.9a	155.9a
	BM	811.6a	65.2ab	13.6b	30.5b	91.0b	6.9b	3.3a	58.4a	146.7b
显著性	品种	0.8907	0.0011	0.0001	0.0001	0.1053	0.6726	0.0202	0.0218	0.0001
p 值	栽培方式	0.0417	0.0191	0.0001	0.0001	0.0015	0.0001	0.0001	0.1578	0.0001
	栽培方式 $\times$ 品种	0.7867	0.1685	0.0045	0.0001	0.5528	0.3578	0.0436	0.3451	0.0408

3 讨论

3.1 不同栽培方式对冬小麦土壤水分变化的影响

水分是农业生产赖以发展的根源,而降水是限制雨养农作区农业生产的关键性因素^[14]。地膜覆盖能够有效抑制土壤水分蒸发、蓄集降水,大量研究^[15-16]表明,地膜覆盖较露地栽培阻隔土壤—大气水气交换,减少土壤水分无效蒸发,促进土壤水分累积,增加土壤含水量,生物降解地膜覆盖和聚乙烯地膜均能起到土壤水分蓄集和保持效果^[17]。白有帅等^[18]研究表明,降解地膜栽培 0—200 cm 土层土壤平均含水量在小麦生育期内均高于露地,在抽穗至灌浆期低于聚乙烯地膜覆盖,播种至拔节期、成熟期与聚乙烯地膜无显著差异;马明生等^[8]在半干旱区春小麦生物降解地膜覆盖栽培研究表明,不同降水年型条件下,地膜覆盖均能显著提高 0—200 cm 土层土壤水分,在耗水高峰期,地膜覆盖土壤水分依然显著高于露地处理,在春小麦生育期内生物降解地膜土壤水分与聚乙烯

地膜无显著差异。本研究表明,受季节性干旱作用,与露地处理相比,地膜覆盖处理降低 0—300 cm 土层土壤平均含水量,生物降解地膜覆盖对土壤水分保持效果低于聚乙烯地膜,在连续极端干旱气候和作物耗水影响下,显著降低 0—300 cm 土层土壤水分,聚乙烯地膜和生物降解地膜处理 0—80 cm 土壤剖面出现明显低湿层,生物降解地膜在 60cm 土层土壤含水量接近凋萎湿度。说明生物降解地膜相同的栽培模式在不同区域、不同覆盖需求作物应用,对土壤水分变化影响有显著差异。2019 年 7 月上旬露地、聚乙烯地膜覆盖和生物降解地膜覆盖处理 0—200 cm 剖面土层土壤平均水分分别为 14.7%,15.3%和 13.8%,200—300 cm 剖面土层土壤平均水分分别为 14.7%,14.1%和 14.5%,2019 年 9 月下旬播种期露地、聚乙烯地膜覆盖和生物降解地膜覆盖处理 0—200 cm 剖面土层土壤平均水分分别为 21.0%,21.1%和 20.8%,200—300 cm 剖面土层土壤平均水分分别为 16.0%,

14.6%和 15.2%，可见，降水均对露地和地膜覆盖土壤水分有不同程度的补给，但地膜覆盖处理降水对深层土壤水分的补给效果，露地>生物降解地膜>聚乙烯地膜。冬小麦品种及栽培模式间 0—300 cm 土层土壤水分垂直变化趋势相同，但处理间存在差异，可能与冬小麦品种间生长期发生倒伏及品种需水特性差异有关。

3.2 不同栽培方式对冬小麦耗水量、产量和水分利用效率的影响

地膜覆盖调控土壤水分的时空分配，作物品种耗水特性也对土壤水分影响不同^[19]。赵刚等^[9]研究表明，地膜覆盖能够减少播种至返青期耗水量，聚乙烯地膜覆盖在返青至拔节期较降解地膜耗水量增加 11.0%，拔节至灌浆期降解地膜较露地和聚乙烯地膜增加水分消耗，灌浆至成熟期露地较地膜覆盖耗水量增加；常磊等^[20]认为，地膜覆盖能够显著提高冬小麦苗期至拔节期土壤水分，降低冬小麦生长前期和中期的耗水比例，降低冬小麦生长后期耗水比例。本研究表明，冬小麦耗水量年际间变化差异较大，不同处理与品种间耗水量变化不同，2018—2019 年种植季，“陇鉴 110”灌浆至成熟期各处理耗水量均达高峰期，占全生育期耗水量的 39%以上，耗水量由大到小依次为露地>聚乙烯地膜>生物降解地膜，“陇鉴 111”露地处理灌浆至成熟期耗水量达高峰期，占全生育期耗水量的 37.0%，聚乙烯地膜和生物降解地膜处理则在返青至拔节期耗水量达最高峰，分别占全生育期耗水量的 36.8%和 33.9%；2019—2020 年种植季，“陇鉴 110”耗水量最高峰露地和聚乙烯地膜出现在播种至返青期，生物降解地膜处理耗水量最高峰出现在返青至拔节期，“陇鉴 111”露地耗水量最高峰出现在灌浆至成熟期，聚乙烯地膜耗水量最高峰出现在播种至返青期，生物降解地膜耗水量最高峰出现在返青至拔节期。全生育期土壤水分消耗生物降解地膜>露地>聚乙烯地膜，2 个冬小麦品种全生育期土壤水分消耗表现与耗水量相同。有研究^[19]表明，耗水量无显著差异的作物，阶段性耗水量、产量和水分利用效率也存在差异。本研究表明，栽培方式和品种对小麦农艺性状、产量和水分利用效率均有极显著影响，地膜覆盖显著增加小麦株高、穗长和穗粒数，同时也显著增加植株倒伏率，影响产量形成和品质提升。“陇鉴 110”地膜覆盖均较露地栽培显著增产，2018—2019 年种植季和 2019—2020 年种植季 2 个种植季聚乙烯地膜、生物降解地膜较露地分别增产 31.2%和 47.6%，21.1%和 25.3%，“陇鉴 111”地膜覆盖 2018—

2019 年种植季均较露地栽培显著增产，2019—2020 年种植季均较露地减产，而造成减产的主要原因是灌浆中后期小麦倒伏率显著增加，影响籽粒灌浆和产量形成。“陇鉴 110”水分利用效率 2018—2019 年种植季和 2019—2020 年种植季均表现为 BM>PE>LD，“陇鉴 111”水分利用效率 2018—2019 年种植季表现为 PE>BM>LD，2019—2020 年种植季则表现为 LD>PE>BM。可见，即使在同一区域、同一栽培方式，全生育期耗水量基本相同的不同品种，对土壤水分消耗特性、产量和水分利用效率也存在显著差异。

3.3 不同栽培方式对冬小麦主要品质的影响

已有研究^[21]表明，作物品质除受自身遗传学控制外，还受种植区域水、热、土壤等气候环境生态因素影响，地膜覆盖在抑制蒸发、调节土壤水分的同时能够改善作物籽粒的品质。张淑敏等^[22]发现，生物降解地膜覆盖会降低马铃薯蛋白质含量；张礼军等^[23]研究认为，不同覆盖模式对冬小麦面筋指数、面团形成时间、面团吸水率等品质指标没有显著影响，品种基因型是决定作物品质的关键因素。本研究表明，不同品种间冬小麦品质具有显著差异，“陇鉴 110”籽粒平均蛋白质含量、湿面筋含量和弱化度分别较“陇鉴 111”增加 10.6%，11.1%和 10.3%，硬度、面团形成时间、面团吸水率分别较“陇鉴 111”降低 5.8%，14.4%和 1.9%。地膜覆盖冬小麦籽粒硬度、蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、面团稳定时间、面团形成时间和吸水率均较露地不同程度降低，籽粒容重和弱化度不同程度提升。与聚乙烯地膜相比，生物降解地膜栽培容重、蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、面团稳定时间和面团形成时间分别提升 0.7%，6.5%，5.6%，6.5%，31.1%和 42.5%。可能是由于 2019—2020 年种植季发生连续季节性干旱，促进冬小麦籽粒品质的改善^[24]，以及聚乙烯地膜倒伏过多影响品质提升。本研究表明，冬小麦生物降解地膜栽培虽然较露地栽培降低籽粒品质，但较聚乙烯地膜栽培能够显著改善籽粒品质。

4 结论

生物降解地膜覆盖可起到与聚乙烯地膜类似的蓄水保墒功能，但在发生季节性干旱条件下，种植冬小麦对土壤上层及深层水分消耗较大，不利于土壤深层水分恢复，会较露地栽培降低冬小麦品质，但较聚乙烯地膜栽培可改善冬小麦品质，不同类型品种对生物降解地膜适应性不同，在生物降解地膜应用时要选择适宜的品种。

参考文献:

- [1] 程宏波,牛建彪,柴守玺,等.不同覆盖材料和方式对旱地春小麦产量及土壤水温环境的影响[J].草业学报,2016,25(2):47-57.
- [2] 王磊,樊廷录,李尚中,等.株行距配置连作对黄土旱塬覆膜春玉米土壤水分和产量的影响[J].水土保持学报,2019,33(2):79-86,92.
- [3] 王红丽,宋尚有,张绪成,等.半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响[J].生态学报,2013,33(18):5580-5588.
- [4] 杨佳佳,程宏波,柴守玺,等.不同覆盖栽培方式对冬小麦干物质分配与转运的影响[J].麦类作物学报,2021,41(6):745-751.
- [5] 严昌荣,何文清,薛颖昊,等.生物降解地膜应用与地膜残留污染防控[J].生物工程学报,2016,32(6):748-760.
- [6] Sander, M. Biodegradation of polymeric mulch films in agricultural soils: Concepts, knowledge gaps, and future research directions[J]. Environmental Science and Technology, 2019, 53(5): 2304-2315.
- [7] 张占琴,闫紫薇,杨相昆,等.不同降解地膜降解性能及棉花应用效果研究[J].西南农业学报,2018,31(6):1185-1189.
- [8] 马明生,郭贤仕,柳燕兰.全生物降解地膜覆盖对旱地土壤水分状况及春小麦产量和水分利用效率的影响[J].作物学报,2020,46(12):1933-1944.
- [9] 赵刚,樊廷录,党翼,等.旱塬区全生物降解地膜覆盖对冬小麦生长发育的影响[J].干旱区研究,2019,36(2):339-347.
- [10] 张平良,郭天文,刘晓伟,等.半干旱区全膜覆土穴播对小麦土壤氮素矿化/无机氮及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2021,295(5):192-199.
- [11] 侯慧芝,张绪成,尹嘉德,等.秸秆还田量对旱地全膜覆土穴播春小麦水分利用及产量的影响[J].麦类作物学报,2021,41(4):457-464.
- [12] 李夏瑛,郭天文,张平良,等.不同肥料对全膜覆土穴播小麦土壤水分、水分利用效率及产量的影响[J].国土与自然资源研究,2020,188(5):44-48.
- [13] 马青荣,刘荣花,胡程达,等.干旱及灌溉对冬小麦根系和产量的影响研究[J].气象,2020,46(7):971-981.
- [14] 邓浩亮,张恒嘉,田建良,等.黄土高原半湿润农作区春玉米土壤环境和产量对种植方式的响应[J].水土保持学报,2019,33(5):257-265.
- [15] 彭正凯,李玲玲,谢军红,等.不同耕作措施对旱地作物生育期农田耗水结构和水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2018,32(5):214-221.
- [16] 樊廷录,李永平,李尚中,等.旱作地膜玉米密植增产用水效应及土壤水分时空变化[J].中国农业科学,2016,49(19):3721-3732.
- [17] Wang Y J, Jia X F, Olasupo I O, et al. Effects of biodegradable films on melon quality and substrate environment in solar greenhouse[J]. Science of the Total Environment, 2022, 829: e154527.
- [18] 白有帅,贾生海,黄彩霞,等.旱作区生物降解膜对土壤温度/水分及春小麦产量的影响[J].麦类作物学报,2015,35(11):1558-1563.
- [19] 全锦,孙敏,任爱霞,等.高产小麦品种植株干物质积累运转、土壤耗水与产量的关系[J].中国农业科学,2020,53(17):3467-3478.
- [20] 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耗水特征和产量的影响[J].应用生态学报,2019,30(12):4150-4158.
- [21] 李尚中,樊廷录,赵刚,等.旱地玉米不同覆盖栽培模式的土壤水热特征及产量品质效应[J].草业学报,2018,27(4):34-44.
- [22] 张淑敏,宁堂原,刘振,等.不同类型地膜覆盖的抑草与水热效应及其对马铃薯产量和品质的影响[J].作物学报,2017,43(4):571-580.
- [23] 张礼军,鲁清林,汪恒兴,等.覆盖模式对不同类型旱地冬小麦土壤水温特征、籽粒品质和产量的影响[J].西北农业学报,2019,28(6):888-897.
- [24] Grahamn K, Verhulst N, Roberto J P, et al. Durum wheat quality and yield as affected by tillage-straw management and nitrogen fertilization practice under furrow-irrigated condition[J]. Field Crops Research, 2014, 164: 166-177.