

激光平地对灌水均匀度及春小麦生长的影响

白岗栓^{1,2}, 邹超煜¹, 于健³, 史吉刚³, 宋耀兴³

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部
水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 内蒙古自治区水利科学研究院, 呼和浩特 010020)

摘要: 在河套灌区以普通畦田为对照, 研究激光平地对畦田灌水均匀度、土壤盐分及春小麦生长等的影响。结果表明, 激光平地畦田较普通畦田的灌水量减少 26.39%, 水流推进速率提高 37.90%, 田面储水深度降低 25.00%, 水流消退速率降低 8.13%, 灌水效率提高 6.03%, 土壤盐分降低 3.70%, 春小麦产量提高 10.52%。激光平地系统显著提高灌水均匀度, 极显著提高盐分分布均匀度及春小麦生长均匀度, 且越靠近畦尾土壤盐分降低的幅度越大, 春小麦的增产幅度越大。河套灌区应积极开展激光平地。

关键词: 激光平地; 灌水量; 灌水均匀度; 土壤盐分; 春小麦产量

中图分类号: S222; S274.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2014)04-0083-06
DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2014.04.016

Effects of Laser Land Leveling on Irrigation Uniformity and Spring Wheat Growth

BAI Gang-shuan^{1,2}, ZOU Chao-yu¹, YU Jian³, SHI Ji-gang³, SONG Yao-xing³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shannxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shannxi 712100; 3. Institute of Inner Mongolia Hydraulic Research, Huhhot 010020)

Abstract: In order to save irrigation water, reduce soil salinity, promote the laser land leveling technology in Hetao Irrigation District, compared with ordinary border, irrigation uniformity, soil salinity and growth status of spring wheat and others were determined under the border with laser land leveling. The results showed that the irrigation quantity of border under the laser land leveling decreased than ordinary border by 26.39%, as well water advance rate increased by 37.90%, water depth of field decreased by 25.00%, water recession rate decreased by 8.13%, irrigation efficiency increased by 6.03%, soil salinity decreased by 3.70%. Laser land leveling technology significantly increased irrigation uniformity, extremely significantly increased soil salinity distribution uniformity and spring wheat growth uniformity, and the closer the border trail the soil salinity reduction amplitude and the spring wheat yields increased amplitude larger. It indicated that laser land leveling technology should be vigorously carried out in Hetao Irrigation District.

Key words: laser land leveling; irrigation amount; irrigation uniformity; soil salinity; yields of spring wheat

1 研究背景

土地平整度往往影响畦灌、漫灌的灌水均匀度^[1-3], 灌水均匀度则影响干旱半干旱区盐渍化土壤的盐分分布与含量, 从而影响作物产量^[4-5]。土壤盐渍化与土壤水分运移及蒸发密切相关^[6]。内蒙古河套灌区农田灌溉以漫灌为主, 灌水分布不均匀及排水不畅等极易引起土壤盐渍化。春小麦为中性耐盐作物^[7], 为河套灌区的主要农作物, 随着土壤盐渍化的不断发展及危害程度的不断增强, 播种面积不断缩小。如何提高土地平整度, 提高灌水均匀度, 降低灌水量, 降低土壤盐渍化是河套灌区农业持续发展必须解决的问题。激光平地系统可提高土地平整度, 提高水流推进速率, 减少灌溉量, 减轻土壤盐渍化^[8-10], 但有关激光平地对盐渍化土壤的灌水均匀度、土壤盐分分布等研究较少。研究激光平地对盐渍化土壤灌水均匀度、土壤盐分分布的影响, 可节约灌水量, 降低、防止土壤盐渍化, 同时对激光平地系统在干旱、半干旱地区的应用具有一定的意义。

收稿日期: 2014-02-24

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目: 内蒙古河套灌区粮油作物节水技术集成与示范(2011BAD29B03); 黄土丘陵沟壑区水土保持与高效农业关键技术集成与示范(2011BAD31B05)

作者简介: 白岗栓(1965—), 男, 硕士, 研究员, 主要从事果树栽培及农业生态方面的研究。E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn

2 试验设计与测定方法

2.1 试验区概况与设计

试验地位于河套灌区西部的磴口县补隆淖尔镇,海拔 1 048.7 m,地处干旱、半荒漠草原地带,年均气温 7.6 °C,降雨量 142.7 mm,蒸发量 2 381.8 mm,无霜期 136~144 d,日照时数 3 209.5 h。试验地土壤为灌淤土,地下水位在 1.0 m 以下,灌淤层 100 cm 以上。试验地耕层土壤有机质为 11.95 g/kg,碱解氮 182.93 mg/kg,速效磷 16.65 mg/kg,速效钾 156.69 mg/kg,耕层田间持水率 23.23%,凋萎系数 7.48%,总孔隙度为 45.02%,含盐量为 1.15 g/kg 左右,主要为氯化物—硫酸盐。0—80 cm 土层土壤体积质量较一致,平均为 1.48 g/cm³[10-11]。试验地灌溉水为过境黄河水,pH 值为 8.1,矿化度 0.32 g/L,残余 Na₂CO₃(RSC)为 0.87 mg/L,阳离子总量为 0.13 g/L,阴离子总量为 0.26 g/L[10]。

试验地为长 90.0 m,宽 16.0 m,面积 0.144 hm²,土壤理化性质、肥力基本一致的相邻两块盐渍化畦田。2012 年秋季玉米收获后用水准仪测定两块畦田的平整度(平整度为田块内所有地形测点处地面相对高程的标准偏差值 S_d , S_d 越小,土地的平整状况越高),测量网格为 5 m×5 m,经测定两块畦田的平整度分别为 5.96 cm 和 5.48 cm。对平整度为 5.96 cm 的畦田,采用美国的激光平地系统和农用拖拉机(904)实施无纵横坡激光平地作业,然后用水准仪测定其平整度,平整后的平整度为 1.62 cm。对平整度为 5.48 cm 的畦田不进行平地。2012 年土壤封冻前对两块畦田进行漫灌洗盐,灌水量以水流锋面与畦尾地埂完全接触为标准,普通畦田、激光平地畦田灌水量分别为 185 mm 和 171 mm。

试验以不进行激光平地的普通畦田为对照,分段测定激光平地畦田的灌水均匀度、土壤盐分含量及春小麦生长状况等。

2.1 测定内容与方法

监测区:春小麦分蘖期灌水前分别在两块畦田内布设 3 排 8 列 24 个监测区,每个监测区的面积为 1.0 m×1.0 m。不同排之间相距 4 m,不同列之间相距 10 m;边排距畦埂 4 m(图 1)。

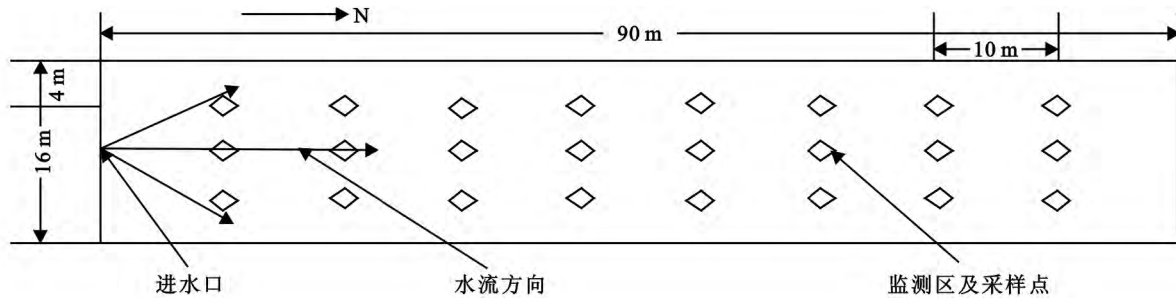


图 1 试验监测区的示意图

灌水量:在春小麦分蘖期(05-10)及抽穗期(06-02),用出水量为 100 m³/h 的 QDX100-3-1.5 小型潜水泵从渠中抽水进行灌溉。灌水量根据抽水时间来计算: $I = \frac{100t}{60} \times \frac{1000}{90 \times 16}$ (1)

式中: I 表示灌水量(mm); t 表示抽水时间(min)。

水流推进速率、田面储水深度及水面消退速率:灌溉前在两块畦田不同监测区的中心点及畦首、畦尾布设 3 排带刻度的标尺,记录水流锋面推进到每个标尺的时间;当水流锋面推进到畦尾地埂时关泵停水,立即记录每个标尺处的田面储水深度;停水后记录每个标尺处的田面水流消退时间。根据相邻列标尺间的距离(10.0 m)和水流通过时间计算不同地段的水流推进速率;根据田面储水深度及水面消退时间计算不同地段的水面消退速率。

储存在根层土壤中的水分和灌水效率:分蘖期和孕穗期灌水前 1 d 及灌水后第 5 d,以 10 cm 土层为一层,用土钻($\varphi=4$ cm)分层采集两块畦田 0—80 cm 土壤,烘干法测定两块畦田各监测区及畦首、畦尾的土壤水分质量分数(%)。根据不同土层的土壤体积质量、土层厚度和土壤水分质量分数,换算出不同土层的土壤水层厚度(mm)[12-13]。河套灌区春小麦的根层土壤为 0—80 cm 土层土壤[14]。储存在根层土壤内的水分 I_s (mm)为:

$$I_s = I_a - I_p + DE_v \quad (2)$$

式中: I_a 为灌溉后根层土壤水层厚度(mm); I_p 为灌溉前根层土壤水层厚度(mm); D 为灌溉前到灌溉后之间的间隔天数(d); E_v 为春小麦分蘖期或孕穗期的土壤蒸散量(mm/d)。根据戴佳信等的试验结果,春小麦分蘖期(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

E_v 为 5.20 mm/d, 孕穗期为 6.82 mm/d^[15]。灌水效率以 I_e 表示: $I_e = \frac{I_s}{I}$ (3)

土壤盐分:在分蘖期和孕穗期灌水后的第 5 d, 结合土壤水分测定, 以 10 cm 土层为一层, 分层采集两块畦田不同地段 0—20 cm 土层(耕层)土壤, 用电导法测定各层土壤盐分的电导率^[16], 然后根据经验公式换算为土壤水溶性全盐质量分数^[17]: $Y = 3.471L + 0.015$ (4)

式中: Y 为土壤盐分质量分数(g/kg); L 为 25℃时待测土壤 1:5 土壤水浸出液的电导率(mS/cm)。

春小麦生长状况:分蘖期和孕穗期灌水后的第 5 d, 在两块畦田的每个监测区及畦首、畦尾随机采取 50 株春小麦, 测定其地上部生物量。成熟期以 1.0 m² 为取样单位, 测定不同测试区及畦首、畦尾的春小麦生物量、茎数及产量, 并计算单株(单茎)生物量。灌水均匀度、土壤盐分均匀度及春小麦生长均匀度、产量均匀度均用

克里斯琴森均匀系数 C_u 表示^[5]: $C_u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{nx}$ (5)

式中: x_i 为沿水流方向灌溉后不同地段的根层土壤水层厚度、耕层土壤盐分质量及春小麦生物量、产量; \bar{x} 为沿水流方向灌溉后不同地段根层土壤的平均水层厚度、平均耕层土壤盐分质量及平均春小麦生物量、产量; n 为沿水流方向的测点数。

2.3 农艺措施与数据处理

供试春小麦品种为永良 4 号(宁春 4 号), 2013 年 3 月 25 日用播种机进行播种和施肥。两块畦田的播种量均为 450.0 kg/hm², 行距均为 11.0 cm, 播种时均施磷酸二铵 375.0 kg/hm², 氯化钾 37.5 kg/hm²; 春小麦孕穗期均随灌水追施尿素 150.0 kg/hm²。春小麦生育期均灌水 4 次, 分别在分蘖期(05—10)、孕穗期(05—26)、扬花期(06—10 日)和灌浆期(06—30), 灌溉方式均为漫灌。春小麦生育期两块畦田的灌水次数、施肥、追肥、除草等管理措施相同。

同一列的平均值作为该地段的测定值, 8 个地段及畦首、畦尾的平均值作为该畦田的测定值。试验数据采用 Excel 2003 制作图表, 用 SPSS 10.0 软件进行单因素方差分析; 如果差异显著, 则采用邓肯氏新复极差检验法进行多重比较, 检验处理间的差异显著性。

3 结果与分析

3.1 激光平地对灌水量、水流推进速率、水流消退速率及水分均匀度的影响

从畦首到畦尾, 分蘖期普通畦田水流推进需 89.0 min, 激光平地畦田需 66.9 min, 灌水量相应为 103.01 mm 和 77.43 mm, 水流推进速率分别为 1.18 m/min 和 1.60 m/min, 激光平地畦田较普通畦田灌水量减少了 24.83%, 水流推进速率提高了 35.59%(图 2a)。孕穗期激光平地灌水量较普通平地减少了 27.94%, 水流推进速率提高了 40.20%(图 2b)。分蘖期、孕穗期的平均水流推进速率激光平地畦田较普通畦田提高了 37.90%, 灌水量减少了 26.39%。

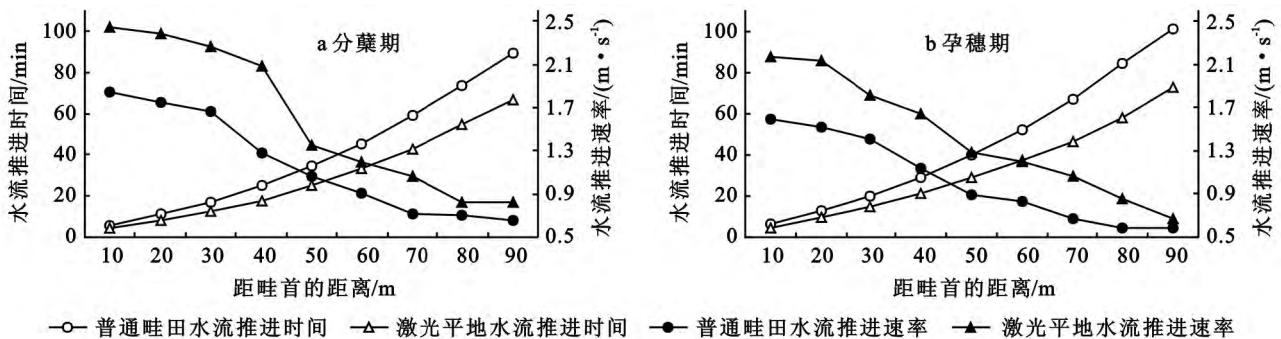


图 2 不同平地方式的水流推进时间及速率

从畦首到 70 m, 两块畦田的水流消退时间均缓慢上升, 水流消退速率缓慢下降, 从 70 m 到畦尾, 水流消退时间均急剧上升, 水流消退速率快速下降, 且普通畦田的变化幅度大于激光平地畦田(图 3a)。分蘖期普通畦田、激光平地畦的水流消退时间分别为 15.24 h 和 11.07 h, 水流消退速率分别为 0.73 cm/h 和 0.66 cm/h, 激光平地畦田较普通畦田水流消退时间缩短了 27.36%, 水流消退速率降低了 9.59%。孕穗期激光平地畦田的水流消退时间较普通畦田缩短了 29.09%, 水流消退速率降低了 6.67%。激光平地畦田在分蘖期、孕穗期的平均水流消退时间较普通畦田缩短了 28.23%, 水流消退速率降低了 8.13%。

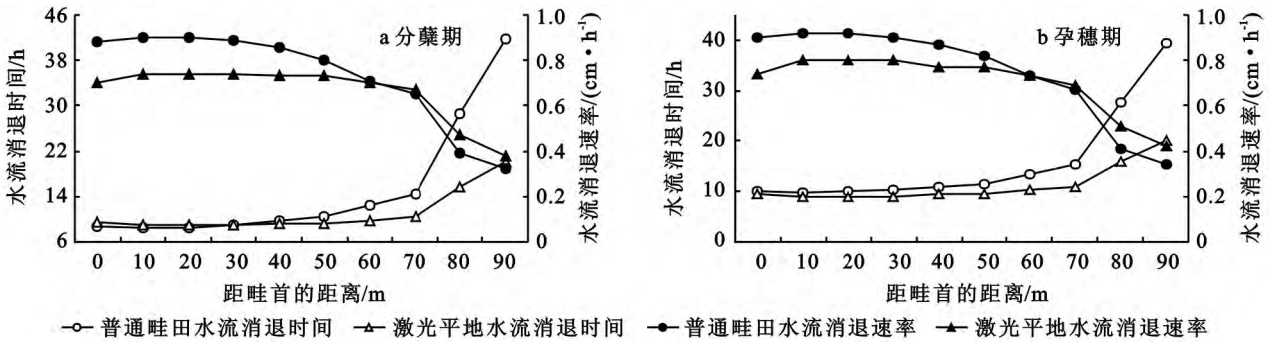


图 3 不同平地方式的水流消退时间及速率

两块畦田的田面储水深度均表现为畦首较低,畦尾较高(图 4a,图 4b)。分蘖期、孕穗期普通畦田的田面储水深度分别为 9.1 cm 和 10.1 cm,激光平地畦田为 6.9 cm 和 7.5 cm,两块畦田之间存在极显著差异。分蘖期、孕穗期普通畦田的畦首与畦尾的储水深度相差 5.5 cm 和 4.3 cm,激光平地畦田的相差 1.1 cm 和 1.3 cm,激光平地畦田的差异幅度极显著低于普通畦田。分蘖期、孕穗期激光平地畦田的平均田面储水深度较普通畦田降低 25.00%。

在分蘖期和孕穗期,无论是灌水前还是灌水后,根层土壤水分均为普通畦田高于激光平地畦田(图 4c,图 4d)。从畦首到 70 m,两块畦田不同地段的土壤水分基本稳定在一定水平,不同地段间差异较小;从 70 m 到畦尾,不同地段间的土壤水分逐渐提高。分蘖期灌水前普通畦田不同地段 0—80 cm 土层土壤水分最低为 181.29 mm,最高为 194.16 mm,平均为 185.01 mm;激光平地畦田最低为 177.24 mm,最高为 179.46 mm,平均为 177.74 mm,普通畦田较激光平地畦田平均高 7.27 mm;灌水后普通畦田最低为 235.65 mm,最高为 259.67 mm,平均为 239.29 mm,激光平地畦田最低为 213.31 mm,最高为 219.56 mm,平均为 215.21 mm,普通畦田较激光平地畦田平均高 24.09 mm。分蘖期普通畦田的灌水均匀度为 0.91,激光平地畦田为 0.96,激光平地畦田较普通畦田提高了 5.21%,达到显著差异。孕穗期灌水前、灌水后普通畦田、激光平地畦田不同地段根层土壤水分变化规律与分蘖期基本相同,孕穗期普通畦田的灌水均匀度为 0.90,激光平地畦田为 0.95,激光平地畦田较普通畦田提高了 5.26%,达到显著差异。分蘖期、孕穗期普通畦田的平均灌水均匀度为 0.91,激光平地畦田为 0.96,激光平地畦田较普通畦田提高了 5.21%,达到显著差异。普通畦田的灌水均匀度主要受畦尾部分土壤水分的影响较大。

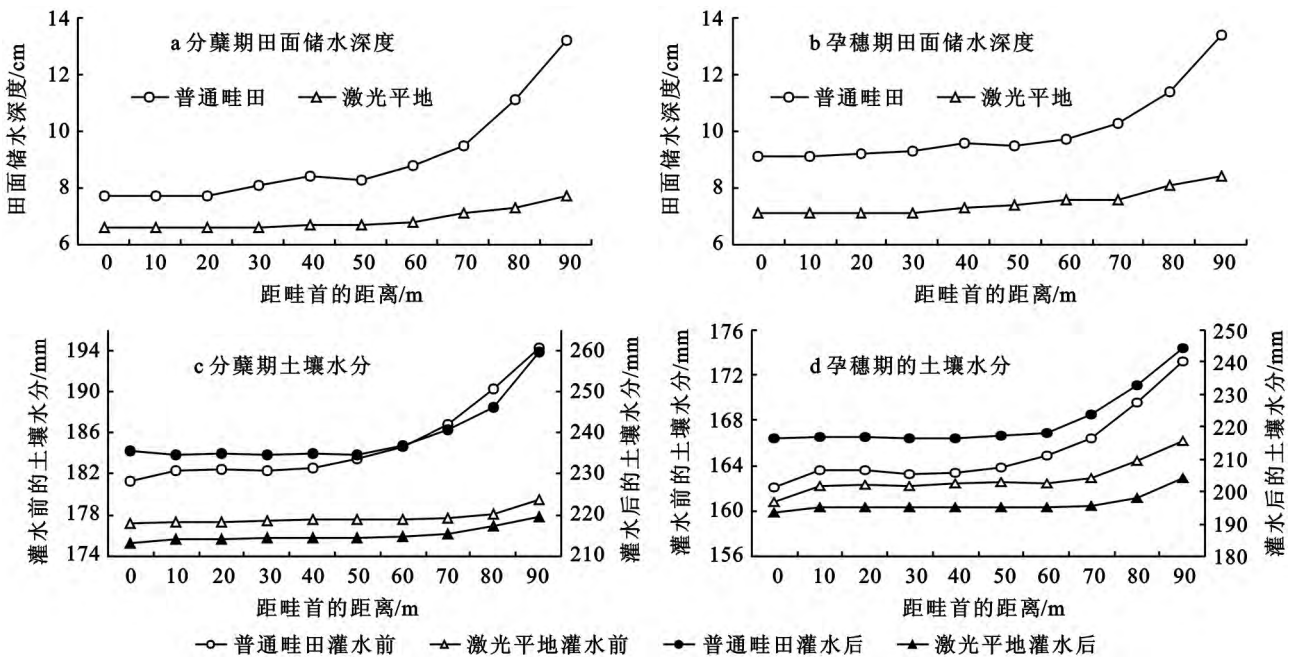


图 4 不同平地方式不同灌水时期的田面储水深度和土壤水分

3.2 对灌水效率及土壤盐分的影响

两块畦田根层土壤储水量均表现为畦首较低,畦尾较高(图 5a,图 5b)。分蘖期普通畦田、激光平地畦田根层土壤储水量分别为 85.49 mm 和 68.66 mm,灌水效率分别为 0.83 和 0.89。孕穗期普通畦田的土壤储水量

平均为 97.95 mm,激光平地畦田为 74.26 mm,灌水效率分别为 0.84 和 0.88。分蘖期、孕穗期激光平地畦田的平均灌水效率较普通畦田提高了 6.03%。从畦首到 50 m,两块畦田的耕层土壤盐分基本一致,从 50 m 到畦尾,土壤盐分均逐渐升高,其中普通畦田的升幅高于激光平地畦田(图 5c,图 5d)。分蘖期、孕穗期普通畦田的耕层土壤盐分分别为 1.32 g/kg 和 1.47 g/kg,激光平地畦田分别为 1.28 g/kg 和 1.41 g/kg,激光平地畦田较普通畦田降低了 3.61%和 3.79%,平均降低了 3.70%。分蘖期、孕穗期普通畦田的盐分均匀度分别为 0.82 和 0.81,激光平地畦田均为 0.93,较普通畦田分别提高了 13.41%和 14.81%,平均提高了 14.11%,达到极显著差异。

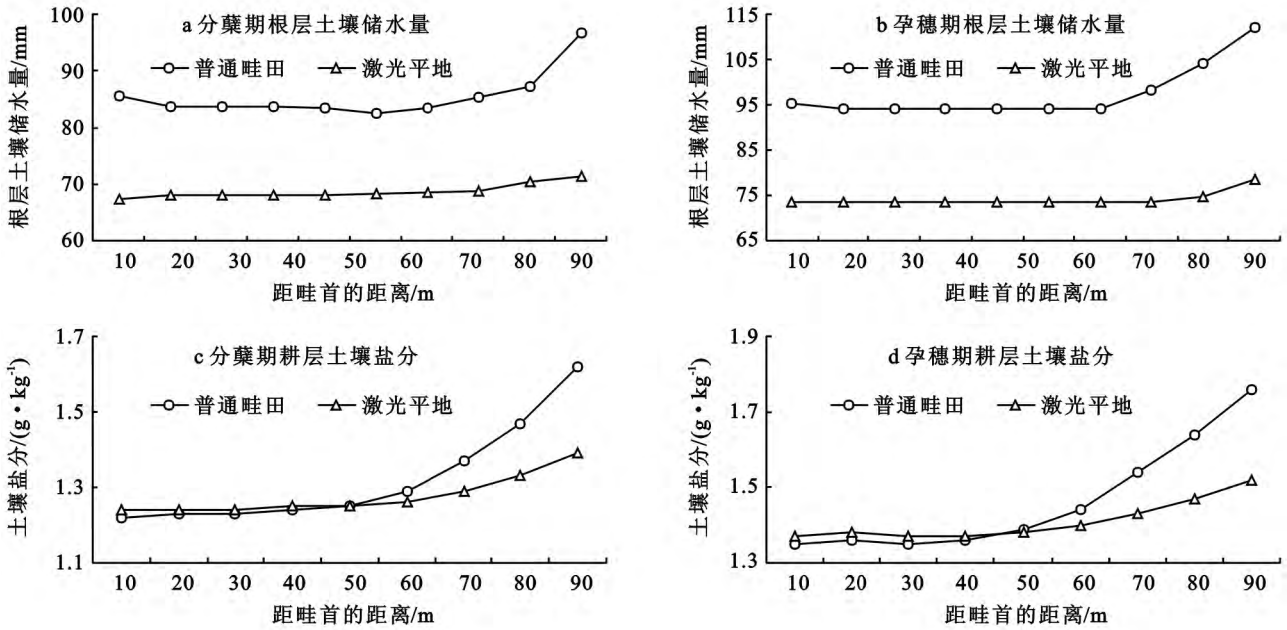


图 5 不同平地方式不同时期的根层土壤储水量和耕层土壤盐分

3.3 对春小麦生长的影响

从畦首到 40 m,两块畦田及不同地段的春小麦生物量基本相同,从 40 m 到畦尾,春小麦生物量均逐渐降低,且普通畦田的降低幅度大于激光平地畦田(图 6a,6b,6c)。分蘖期、孕穗期和成熟期普通畦田的生物量分别为 72.34,454.24 mg/株和 1 256.65 mg/株,激光平地畦田分别为 74.17,478.41 mg/株和 1 327.99 mg/株,激光平地畦田较普通畦田分别提高了 2.52,5.32%和 5.68%,平均提高了 4.51%。分蘖期、孕穗期和成熟期普通畦田春小麦生长均匀度为分别为 0.86,0.81 和 0.79,激光平地畦田分别为 0.95,0.94 和 0.93,激光平地畦田较普通畦田分别提高了 10.47,16.05%和 17.72%,平均提高了 14.75%,达到极显著差异。

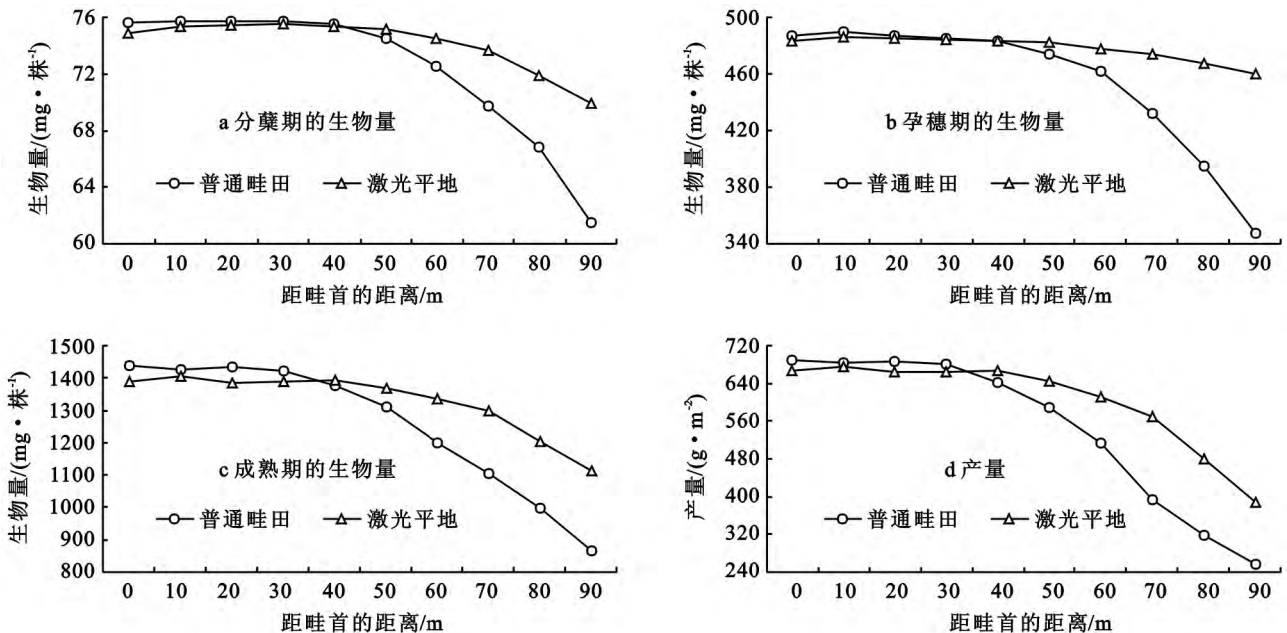


图 6 不同整地方式不同时期的生物量及产量

从畦首到 40 m,普通畦田的春小麦产量平均为 676.95 g/m²,激光平地畦田为 667.47 g/m²,激光平地畦田较普通畦田降低了 1.40%,但无显著差异。从 40 m 到畦尾,普通畦田的平均产量为 414.51 g/m²,激光平地畦田为 538.85 g/m²,激光平地畦田较普通畦田提高了 30.00%,达到极显著差异;整块普通畦田的平均产量为 545.73 g/m²,激光平地畦田为 603.16 g/m²,激光平地畦田较普通畦田提高了 10.52%,达到极显著差异。普通畦田春小麦产量均匀度为 0.73,激光平地畦田为 0.89,激光平地畦田较普通畦田提高了 21.92%,达到极显著差异。

4 结论与讨论

4.1 讨论

激光平地后田面平整,减少了田面水流阻力,利于灌溉水流快速推进,降低水流推进锋面,提高水流速率,因而田面储水深度降低且差异减小,灌水均匀度提高^[1-3,8]。水流速率提高利于水流锋面提早到达畦尾,从而缩短灌水时间,减少灌水量^[8-9]。激光平地时地面经机械多次碾压,提高了土壤的紧实度,造成水分不易下渗,故激光平地显著降低了水流消退速率,促进灌溉水缓慢入渗,促使灌溉水分相对较多地保留在根层土壤中,提高灌水效率^[8]。激光平地畦田的灌水量较普通畦田少,灌水均匀度高,灌水效率高,利于作物吸收、利用土壤水分,从而减少地面蒸发,减少土壤盐分表聚,减轻耕层土壤盐分^[10]。激光平地削弱了畦尾的汇水区,降低了土壤盐分,故畦尾部分的春小麦生物量、产量显著提高,春小麦生长均匀度显著提高。

普通畦田、激光平地畦田畦尾的水流消退速率降低,田面储水深度、土壤水分、根层土壤储水量及土壤盐分升高,春小麦生物量及产量降低,主要是试验地土壤为多年引黄漫灌而形成的灌淤土,畦首土壤含粗沙粒较多,畦尾含细沙粒较多,畦尾土壤的通透性较差,保水能力强,故土壤水分入渗速率降低,土壤水分较高;且长期的漫灌,造成畦尾部分成为汇水区,故畦尾部分田面储水深度较深,根层土壤储水量较高。畦尾部分土壤水分较高,蒸散量较大,导致耕层土壤盐分较高;且畦尾部分土壤受多年灌溉、蒸发的影响,试验前畦尾部分的土壤盐分已高于畦首部分^[10]。激光平地畦田较普通畦田提高了畦尾部分的水流消退速率,主要是在平整过程中畦尾部分为填方区域,从畦首或其他部分推移过来的土壤改善了畦尾原有的土壤结构,促进了水分入渗。

4.2 结论

激光平地畦田与普通畦田相比,极显著提高了灌溉水流推进速率,极显著减少了灌水量和田面储水深度,极显著缩短了水流消退时间,水流消退速率降低了 8.13%,灌水效率提高了 6.03%,灌水均匀度提高了 5.21%。激光平地畦田耕层土壤盐分较普通畦田降低了 3.70%,盐分均匀度提高了 14.11%,且显著降低了畦尾部分的耕层土壤盐分。激光平地显著提高畦尾部分的春小麦生物量及产量,提高了春小麦生长均匀度。

参考文献:

- [1] Agarwal M C, Goel A C. Effect of field leveling quality on irrigation efficiency and crop yield[J]. *Agricultural Water Management*, 1981(4): 89-97.
- [2] Finney C. The benefits of land leveling on irrigation schemes in Turkey and Sindh Province, Pakistan[J]. *ICID Journal*, 1996, 45(1): 1523-1539.
- [3] 陈博, 欧阳竹, 刘恩民, 等. 不同畦面结构下地面灌溉效果的对比分析[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(11): 30-36.
- [4] Kang S Z, Shi P, Pan Y H, et al. Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas[J]. *Irrig. Sci.*, 2000, 19: 181-190.
- [5] 李久生, 尹剑锋, 张航, 等. 滴灌均匀性对土壤水分和氮素分布影响的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(12): 27-33.
- [6] 王全九, 王文焰, 吕殿青, 等. 膜下滴灌盐碱地水盐运移特征研究[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(4): 54-57.
- [7] 裴自友, 温辉芹, 任永康, 等. 小麦的耐盐性及其改良研究进展[J]. *作物研究*, 2012, 26(1): 93-98.
- [8] 徐睿智, 魏占民, 夏玉红, 等. 激光精细平地对畦田灌水质量的影响及节水效果分析[J]. *灌溉排水学报*, 2012, 31(2): 6-9.
- [9] 任文涛, 胡忠飞, 崔红光, 等. 激光平地乳芽直播节水效果的研究[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(3): 72-75.
- [10] 白岗栓, 杜社妮, 于健, 等. 激光平地改善土壤水盐分布并提高春小麦产量[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(8): 125-134.
- [11] 杜社妮, 耿桂俊, 白岗栓, 等. 保水剂施用方式对土壤水分及向日葵生长的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(4): 139-143.
- [12] 杜社妮, 白岗栓, 赵世伟, 等. 沃特和 PAM 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.
- [13] 杜社妮, 白岗栓, 赵世伟, 等. 沃特和 PAM 施用方式对土壤水分及玉米生长的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(11): 30-35.
- [14] 白岗栓, 张蕊, 耿桂俊, 等. 保水剂对河套灌区土壤水分和春小麦生长的影响[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(3): 393-399.
- [15] 戴佳信, 史海滨, 田德龙, 等. 河套灌区套种粮油作物耗水规律的试验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(1): 49-53.
- [16] 刘光崧. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法—土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 196-200.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 196-208.