

灌水对水肥一体化制种玉米产量和水分利用效率的影响

张立勤¹, 崔云玲¹, 崔增团², 张举军³, 万 伦²

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省耕地质量建设保护总站, 甘肃 兰州 730030; 3. 景泰县农业技术推广中心, 甘肃 景泰 730400)

摘要: 研发和推广应用高效节水技术是提升扬黄灌区制种玉米产量、支撑制种玉米产业增效和持续发展的重要途径。为了给建立制种玉米水肥一体化技术模式下的科学高效灌溉制度提供科学依据。在甘肃扬黄灌区滴水灌溉水肥一体化条件下, 研究了不同灌溉定额和灌水次数下制种玉米的产量表现和水分利用效果。结果表明, 灌溉定额从 2 250 m³/hm² 增加到 3 000 m³/hm² 时, 制种玉米增产幅度达 33.84%, 但灌溉定额高于 3 000 m³/hm² 并继续增大时增产效果不明显, 生育期耗水量增加, 水分利用效率降低明显。灌水次数从 10 次增加至 20 次时, 制种玉米产量及水分利用效率均呈降低趋势, 灌水次数多于 15 次并继续增加时, 制种玉米减产显著。灌水次数和灌溉定额之间不存在互作效应。在灌溉定额偏低条件下, 增加灌水次数会造成制种玉米严重减产。当生育期灌溉定额为 3 000 m³/hm²、灌水次数为 10 次时, 折合产量较高, 为 7 386.9 kg/hm², 较其余处理增产 -2.77%~93.58%; 水分利用效率最高, 为 17.83 kg/(mm·hm²), 较其余处理提高 5.32%~78.30%; 种植纯收益较高, 为 29 683.6 元/hm², 较其余处理增加 -511.8~20 675.4 元/hm²; 产投比最高, 为 3.03, 较其余处理增加 0.07~1.38。可见, 灌水 10 次、灌溉定额为 3 000 m³/hm² 时灌溉水利用效果相对优化。

关键词: 灌溉定额; 灌水次数; 制种玉米; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S513; S275

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2022)02-0124-06

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2022.02.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2022.02.006)

Effects of Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Seed Corn under the Condition of Water and Fertilizer Integration

ZHANG Liqin¹, CUI Yunling¹, CUI Zengtuan², ZHANG Jujun³, WAN Lun²

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. General Station of Gansu Cultivated Land Quality Construction and Protection, Lanzhou Gansu 730030, China; 3. Agricultural Technology Extension Centre of Jingtai County, Jingtai Gansu 730400, China)

Abstract: Research and extension on efficient water-saving technologies are of great importance in increasing the seed corn yield, supporting seed corn industry efficiency enhancement and sustainable development in Yanghuang irrigated area. To provide reference for scientific irrigation system establishment under the water and fertilizer integration mode for seed corn, the yield performance and water use efficiency of seed corn under different irrigation quota and irrigation times were studied under the condition of water and fertilizer integration of drip irrigation in Yanghuang irrigated area of Gansu Province. The results showed that when irrigation quota increased from 2 250 m³/ha to 3 000 m³/ha, the yield of seed corn increased by 33.84%, however, when the irrigation quota was at or higher than 3 000 m³/ha, the results of yield increase along with the increase of irrigation quota was not significant, the water consumption increased during the growth period, and the water use efficiency decreased significantly. When the irrigation times increased from 10 times to 20 times, the yield and water use efficiency of seed corn showed a trend of decrease. When the number of irrigation times was more than 15, the yield decreased significantly along with the increase of irrigation times. No interaction effect between irrigation times and irrigation quota was detected. Especially under the condition of low irrigation quota, increasing irrigation times would reduce yield of seed corn seriously. When compared with other treatments, under the treatment of 3 000 m³/ha irrigation quota and 10 times of frequency, average seed corn yield was high which was 7 386.9 kg/ha and was increased by -2.77% to 93.58%, water use efficiency was the highest which was 17.83 kg/(mm·ha) and was increased by 5.32% to 78.30%, the net income was the highest which was 29 683.6 RMB/ha and was increased by -511.8 to 20 675.4 RMB/ha, and the production investment ratio was the highest which was 3.03 and was increased by 0.07 to 1.38. Therefore, the irrigation water utilization efficiency was relatively optimized when irrigated 10 times at the irrigation quota of 3 000 m³/ha.

Key words: Irrigation quota; Irrigation time; Seed corn; Yield; Water use efficiency

收稿日期: 2022-10-06

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD22B00)子课题(2015BAD22B05-06)。

作者简介: 张立勤(1970—), 男, 甘肃张掖人, 研究员, 主要从事作物栽培与水肥资源高效利用研究工作。Email: lqzhang1993@163.com。

甘肃扬黄灌区气候干旱、降水稀少, 利用黄河水提灌是当地农业发展的重要保障。但受扬程高、提灌能力有限、轮灌周期长等诸多因素的影响, 区内制种玉米生产中供需水矛盾突出, 阶段性缺水多发, 在很大程度上影响了其产量水平和种植效益^[1-2]。研发和推广应用高效节水技术是提升扬黄灌区制种玉米产量、支撑制种玉米产业增效和持续健康发展的重要途径。研究表明, 滴灌水肥一体化技术具有显著的节水增产效果^[3-6], 有关学者就其灌溉定额和灌溉次数方面进行了研究。杨凡等^[7]的研究结果表明, 增加灌溉定额, 酿酒葡萄的百粒质量和产量逐渐增大, 灌溉定额为 2 295 m³/hm² 时, 葡萄生长、产量及品质指标均较好。王克全等^[8]研究表明, 玉米穗长、穗粗、行粒数和百粒质量与灌溉定额总体呈正相关, 籽粒产量随灌溉定额的增大而增大。李宁等^[9]研究认为, 多次灌水有利于小麦株高生长和叶面积系数增大, 增加灌水次数, 有利于小麦增产。贺忠群等^[10]研究提出, 温室黄瓜开花结果到拔秧期的适宜灌溉定额为 1 934.76 m³/hm², 灌水次数为 10 次。陈婷婷^[11]的研究结果表明, 生育期灌水 8 次、灌溉定额为 3 765 m³/hm² 时, 有利于提高玉米的产量、水分利用以及营养品质。邢小宁等^[12]认为, 增加灌溉定额和灌水次数可以促进棉花营养生长, 提高蕾期和花铃期叶面积指数, 并提出南疆免冬、春灌棉花生育期适宜灌溉定额为 420 mm, 灌水次数为 16 次。牟洪臣等^[13]指出, 在北疆干旱地区, 灌水次数为 9 次、灌溉定额为 360~405 mm 时, 更有利于春小麦的生长和产量提高。目前围绕制种玉米开展的研究和报道不多, 已有研究多在漫灌或沟灌模式下进行^[14-17]。农户在生产中应用水肥一体化技术时, 多根据自身经验进行, 盲目、过量灌水较为普遍, 致使该技术应用成效难以充分发挥。近年来, 水肥一体化技术在甘肃扬黄灌区制种玉米生产中的应用面积逐年扩大, 因此, 研发和建立制种玉米水肥一体化技术模式下的科学高效灌溉制度, 显得尤为紧迫。我们通过研究灌溉定额和灌水次数对制种玉米产量和水分利用的影响, 以期制种玉米水肥一体化条件下的灌水参数制定和高效灌溉制度建立提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 4—9 月在位于甘肃省扬黄灌

区的白银市景泰县条山农场进行。试验区位于 103° 33' ~104° 43' E, 36° 43' ~37° 38' N, 多年平均降水量 185.6 mm, 蒸发量 1 722.8 mm, ≥10℃ 的有效积温 3 038.4℃。试验于 5 月 1 日播种母本, 5 月 6 日播种 1 期父本, 5 月 11 日播种 2 期父本, 10 月 11 日收获, 期间降水量 218.9 mm, 其中 ≥5 mm 的有效降水量 179.4 mm, 具体见图 1。试验地前茬为马铃薯, 土壤肥力均匀, 耕层(0~20 cm)土壤含水氮 87.48 mg/kg、速效磷 43.95 mg/kg、速效钾 246.29 mg/kg、全盐 1.24 g/kg。

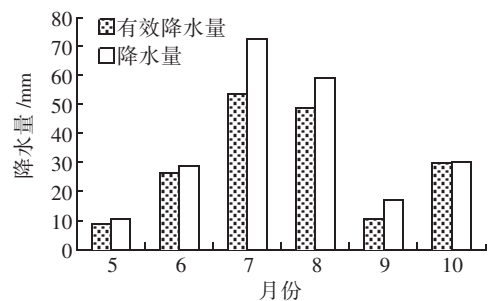


图 1 制种玉米生育期降水量

1.2 供试材料

供试氮肥为甘肃刘化(集团)有限责任公司生产的尿素(含 N 46.4%), 磷肥为四川什邡市运东化工有限公司生产的磷酸一铵(含 P₂O₅ 61%、N 11.8%), 钾肥为国投罗布泊钾盐有限责任公司生产的农业用硫酸钾(含 K₂O ≥51%)。指示作物为制种玉米品系, 代号为 1760, 亲本由甘肃农垦良种有限责任公司提供。内镶式滴灌带由亚美特公司生产, 内径 16 mm, 滴头间距 30 cm, 流量 1.4 L/h。

1.3 试验设计

试验按照裂区设计的原理, 采用大区无重复设计, 试验区面积为 286.0 m² (11.0 m × 26.0 m)。试验共设 9 个处理, 其中主区为制种玉米生育期滴水次数, 设 3 个水平, 分别为 S: 10 次, Z: 15 次, G: 20 次; 副区为灌溉定额, 设 3 个水平, 分别为 L: 2 250 m³/hm², M: 3 000 m³/hm², H: 3 750 m³/hm²。不同灌水条件的灌溉设计方案见表 1。

1.4 试验方法

试验采用条膜覆盖栽培模式, 带幅 100 cm, 覆盖后地膜采光面 50 cm, 膜间距 50 cm。滴灌带铺设于膜下正中。制种玉米亲本均在膜面种植, 采用满天星加行比的方式, 父母本比例 1:5, 即每播 5 行母本种 1 行父本, 并在两母本行中间加播 1 行父本。母本播种后 5 d 播一期父本, 10 d 后

播二期父本，母本株距 21 cm，密度 78 000 株 / hm²，父本密度 30 900 株 / hm²。各处理施肥量、肥料分配及施肥时间均相同，施氮(N)270 kg/hm²、磷(P₂O₅)90 kg/hm²、钾(K₂O)54 kg/hm²，所有肥料均通过滴灌系统分 8 次随水追施。肥料分配及施肥方案如下：播前、出苗至拔节期、拔节期至吐丝期、吐丝期至灌浆中期、灌浆中期至成熟期等生长阶段施肥次数分别依次为 0、2、3、2、1 次，氮(N)-磷(P₂O₅)-钾(K₂O)分配量(kg/hm²)分别依次为 0-0-0、81.0-36.0-0、108.0-27.0-27.0、81.0-27.0-16.2、0-0-10.8。

1.5 测定项目与方法

1.5.1 土壤水分 播种前及收获后各测定 1 次。在制种玉米母本行确定测点采用土钻取土，用烘干法测定。测定土壤深度为 120 cm，测定层次分别为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80、80~100、100~120 cm。对 0~120 cm 土壤水分含量测定值进行加权平均。

1.5.2 作物生育期耗水量及水分利用效率 作物生育期耗水量根据田间水平衡方程式 $ET=P+I+G \pm \Delta W$ 计算，式中 ET 为制种玉米生育期耗水量(mm)； P 为播种至收获期有效降水量(mm)； I 为生育期灌水量(mm)； G 为作物利用地下水量(mm)，由于试验地地下水埋深 20 m 以上，因此取 $G=0$ ； ΔW 为播种至收获期 0~120 cm 土层土壤贮水量的变化(mm)，具体按公式 $\Delta W=($ 播种前

体积含水量 - 收获后体积含水量) $\times 1\ 200$ mm 计算。水分利用效率计算公式为 $WUE=Y/ET$ ，式中 Y 为制种玉米母本籽粒产量(kg)， ET 为生育期耗水量(mm)。

1.5.3 计产及考种 每处理区沿南北方向随机确定 3 个测产区，每个测产区面积 52 m²，制种玉米收获期按确定的测产区分区计产，在每个测产区随机取样 10 株考种。

1.6 数据分析

利用 Excel 软件对试验数据进行统计整理，采用 DPS 软件对试验测定数据进行统计分析

2 结果与分析

2.1 不同灌水条件下的制种玉米产量表现

从表 2 可以看出，灌水条件对制种玉米产量影响较大。在不同灌溉定额和滴水次数条件下，制种玉米的产量差异较为显著，其中处理 SH 折合产量最高，为 7 597.2 kg/hm²，比其余处理增产 165.6~3 781.2 kg/hm²，增产幅度为 2.23%~99.09%；其次为处理 ZH，折合产量为 7 431.6 kg/hm²，比其余处理增产 0.61%~94.75%；处理 SM 居第 3 位，折合产量为 7 386.9 kg/hm²，比其余处理增产 8.73%~93.58%，且处理 ZH、处理 SM 与处理 SH 之间的产量差异均不显著。处理 GL 折合产量最低，为 3 816.0 kg/hm²，比其余处理减产 30.67%~49.77%，与其余处理的产量差异均达极显著水平。

进一步分析灌水次数和灌溉定额对制种玉米

表 1 不同灌水条件的灌溉设计方案

生长阶段	生育期灌水次数 /次	阶段灌水次数 /次	阶段灌水量/(m ³ /hm ²)		
			L	M	H
播种至拔节期(5月1日至6月15日)	10(S)	2	630	705	780
	15(Z)	3	630	705	780
	20(G)	4	630	705	780
拔节期至吐丝期(6月16日至7月24日)	10(S)	3	720	1 020	1 320
	15(Z)	5	720	1 020	1 320
	20(G)	7	720	1 020	1 320
吐丝期至灌浆中期(7月25日至8月26日)	10(S)	3	540	765	990
	15(Z)	4	540	765	990
	20(G)	5	540	765	990
灌浆中期至成熟(8月27日至10月11日)	10(S)	2	360	510	660
	15(Z)	3	360	510	660
	20(G)	4	360	510	660

表 2 不同灌水条件下的制种玉米产量

主处理(灌水次数)	副处理(灌溉定额)			平均
	L(2 250 m ³ /hm ²)	M(3 000 m ³ /hm ²)	H(3 750 m ³ /hm ²)	
S(10次)	5 767.1 deCD	7 386.9 abAB	7 597.2 aA	6 917.1 aA
Z(15次)	5 504.3 eD	6 793.5 bcABC	7 431.6 abAB	6 576.5 aA
G(20次)	3 816.0 fE	6 014.0 cdeCD	6 343.8 cdBCD	5 391.3 bB
平均	5 029.5 bB	6 731.5 aA	7 124.2 aA	6 295.0

产量的具体影响, 结果表明, 相同灌溉定额条件下, 制种玉米产量随灌水次数的增加而下降(表2), 灌水 10 次时制种玉米折合产量最高, 为 6 917.1 kg/hm², 比灌水 15、20 次的处理分别增产 5.18%、28.30%。在灌水 10~15 次的范围内, 增加灌水次数, 制种玉米折合产量虽然下降, 但减产不显著; 当灌水次数高于 15 次并继续增加至 20 次时, 制种玉米减产明显。

与灌水次数相反, 增加灌溉定额, 制种玉米产量呈增加趋势(表2)。在 3 750 m³/hm² 的高灌溉定额条件下, 制种玉米折合产量最高, 为 7 124.2 kg/hm², 比灌溉定额为 2 250、3 000 m³/hm² 的处理分别增产 5.83%、41.65%。在不同灌溉定额范围内, 水分对制种玉米产量的作用效果不同。灌溉定额从 2 250 m³/hm² 增加到 3 000 m³/hm² 时, 制种玉米增产 33.84%, 增产效果十分显著; 继续增加灌溉定额至 3 750 m³/hm² 时, 制种玉米增产不再显著。可见, 膜下滴灌水肥一体化条件下, 在 2 250~3 000 m³/hm² 范围内适度增加灌水量, 有利于显著提高制种玉米产量水平; 当生育期灌溉定额高于 3 000 m³/hm² 且继续增加时, 尽管仍具有一定的增产效应, 但水分对玉米产量的贡献力下降, 增产不明显, 使灌溉投入和生产成本增加, 并对种植效益产生负面影响。

对比分析灌水次数和灌溉定额间的 *F* 值发现, 与灌水次数相比, 灌溉定额对制种玉米产量的影响相对较大, 且灌水次数与灌溉定额之间不存在互作效应。以上结果表明, 水肥一体化条件下, 保证足额充分供水对制种玉米的产量至关重要, 水分供应不足, 不利于制种玉米高产。通过增加灌水次数的方式, 不能补偿供水不足对制种玉米产量造成的负面影响。灌溉水总量严重不足时, 灌水次数越多, 减产幅度越大。

2.2 灌水次数和灌溉定额对制种玉米产量构成要素的影响

制种玉米千粒重受供水条件的影响较大, 在灌水次数相同的条件下增加灌溉定额, 千粒重随之增加; 灌水定额从 2 250 m³/hm² 增加到 3 000 m³/hm² 时千粒重增加明显。与灌溉定额相比, 灌水次数对千粒重的影响相对弱化, 在 2 250 m³/hm² 的低灌溉定额条件下, 灌水次数越多制种玉米千粒重越低。在 3 000~3 750 m³/hm² 相对较高的灌

溉定额范围内增加灌水次数时则千粒重呈增加趋势, 但不同处理之间差异不显著。在灌水次数和灌溉定额的共同作用下, 处理 GH 千粒重最高, 与其余处理相比千粒重增加 1.1~49.7 g。

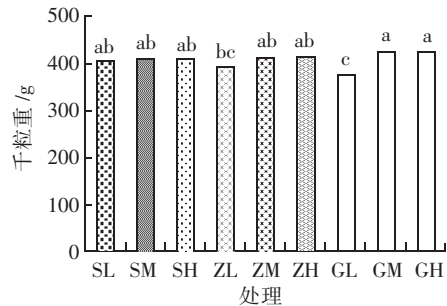


图2 不同灌水处理玉米的千粒重

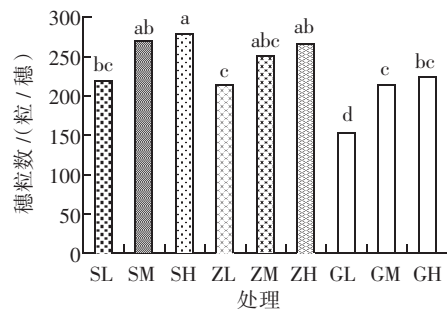


图3 不同灌水处理的玉米穗粒数

灌溉定额对穗粒数的影响与千粒重相同, 灌水次数相同时, 增加灌溉定额, 穗粒数随之增加。灌水次数对穗粒数的影响与千粒重不同, 同一灌溉定额条件下增加灌水次数, 制种玉米穗粒数下降。尤其将灌水次数从 10 次增加到 20 次时, 制种玉米穗粒数减少均明显。在所有处理中, 处理 SH 和处理 SM 穗粒数相对较高, 比其余处理分别增加 9.7~125.2 粒和 2.0~115.5 粒。

从以上结果看出, 灌水次数增加, 造成制种玉米减产的主要原因与穗粒数减少有关, 在供水量相同的条件下, 增加灌水次数, 单次灌水量会随之减少, 造成灌溉后水分下渗有限, 多分布于土壤表层, 深层土壤含水量不足, 土壤向作物适时和持续供水能力弱化, 进而影响制种玉米的授粉效果, 结实率下降, 穗粒数降低。在此过程中, 尽管千粒重有所增加, 但效果不明显, 从而造成制种玉米产量下降。

2.3 不同灌水条件下的制种玉米水分利用效果

生育期耗水量是影响制种玉米水分利用效率的关键因素。不同灌水条件下, 各处理生育期耗水量在 370.2~541.0 mm(表3), 其中 GH 处理耗水

量最高，与其余处理相比增加 60.4 ~ 170.8 mm。灌水次数相同时，增加灌溉定额，制种玉米生育期耗水量增加明显。相同灌溉定额条件下，灌水次数从 10 次增加到 15 次时，制种玉米生育期耗水量呈下降趋势。继续增加至 20 次时，制种玉米耗水量也随之增大。在 3 000 ~ 3 750 m³/hm² 灌溉定额范围内，灌水 20 次的处理耗水量均高于灌水 10 次和 15 次处理。不同灌水条件对制种玉米水分利用效率的影响不同，相同的灌水次数条件下增加灌溉定额，制种玉米水分利用效率先增加而后降低，灌溉定额为 3 000 m³/hm² 时最高。在相同灌溉定额条件下，灌水次数对水分利用效率的影响既不规律也不明显。不同供水条件下，处理 SM 水分利用效率最高，与其余处理相比增加 0.90 ~ 7.83 kg/(mm·hm²)，增幅为 5.32% ~ 78.30%。

2.4 不同处理种植效益比较

生产成本和产量水平是决定制种玉米种植效益的两大关键因素。灌溉定额不同的处理，生产成本差异主要因灌溉水成本不同所致(表4)，不同处理间差异介于 750~1 500 元/hm²；灌溉定额相同的处理，生产成本也相同，产值直接决定种植效益，而产值又因产量水平不同而不同。灌水次数增多，产量水平降低，种植效益随之下降。不同处理中，以处理 SH 和处理 SM 纯收益相对较高，

比其余处理分别增加 511.8~21 187.2 元/hm² 和 481.8~20 675.4 元/hm²。其中处理 SM 产投比最高，比其余处理增加 0.07~1.38。从以上结果看出，水肥一体化条件下，科学合理的灌水参数对技术成效至关重要，盲目过量或少量多次灌溉，不仅增加生产成本，还会使制种玉米减产，产生增投减收的不良后果。

3 讨论与结论

在作物生长过程中，灌溉是土壤水分的主要来源和调节水分供应效果的关键措施 [18-19]。滴灌水肥一体化条件下，灌水不仅直接影响作物的生长和产量形成，而且对肥料的运移以及作物对养分的吸收利用均有重要影响。供水不足，易使作物受旱减产；而灌水过量，将造成灌溉水浪费，并引起养分淋溶 [3]，进而降低水肥利用效率。李侠等 [20] 的研究表明，灌溉定额 4 410 m³/hm² 时，制种玉米产量较好。连彩云等 [21] 的研究结果显示，滴水量为 3 600 m³/hm²、10 d 滴水 1 次时制种玉米产量最高。本试验表明，灌水次数和灌溉定额对制种玉米产量均有重要影响，在 2 250~3 750 m³/hm² 范围内增大灌溉定额，制种玉米千粒重、穗粒数和产量均随之增加；在 10~20 次范围内增加灌水次数，制种玉米穗粒数减少，产量明显下降，尤其在灌水次数从 15 次增加到 20 次时减产

表 3 不同灌水条件下制种玉米的水分利用效率

处理	0~120 cm 土层贮水量/mm		降水量 ^① /mm	灌水量 /mm	耗水量 /mm	折合产量 /(kg/hm ²)	水分利用效率 /[kg/(mm·hm ²)]
	播种前	收获后					
SL	155.7	152.6	179.4	225.0	407.5	5 767.1 CDde	14.15 CDcd
SM	155.7	220.8	179.4	300.0	414.3	7 386.9 ABab	17.83 Aa
SH	155.7	250.6	179.4	375.0	459.5	7 597.2 Aa	16.53 ABab
ZL	155.7	189.9	179.4	225.0	370.2	5 504.2 De	14.87 BChc
ZM	155.7	233.7	179.4	300.0	401.4	6 793.5 ABCbc	16.93 ABa
ZH	155.7	269.9	179.4	375.0	440.2	7 431.6 ABab	16.88 ABa
GL	155.7	178.4	179.4	225.0	381.7	3 816.0 Ef	10.00 Ff
GM	155.7	154.5	179.4	300.0	480.6	6 014.0 CDede	12.51 DEde
GH	155.7	169.1	179.4	375.0	541.0	6 343.8 BCDed	11.73 EFef

①为播种期至收获期有效降水量。

表 4 不同灌水条件下制种玉米的收益对比^①

处理	折合产量 /(kg/hm ²)	投入/(元/hm ²)					产出/(元/hm ²)		产投比	
		肥料	灌水	滴灌系统	地膜及种子	用工及其他	总投入	产值		纯收益
SL	5 767.1	2 037.6	2 250.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	13 887.8	34 602.6	20 714.8	2.49
SM	7 386.9	2 037.6	3 000.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	14 637.8	44 321.4	29 683.6	3.03
SH	7 597.2	2 037.6	3 750.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	15 387.8	45 583.2	30 195.4	2.96
ZL	5 504.2	2 037.6	2 250.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	13 887.8	33 025.5	19 137.7	2.38
ZM	6 793.5	2 037.6	3 000.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	14 637.8	40 761.0	26 123.2	2.78
ZH	7 431.6	2 037.6	3 750.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	15 387.8	44 589.6	29 201.8	2.90
GL	3 816.0	2 037.6	2 250.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	13 887.8	22 896.0	9 008.2	1.65
GM	6 014.0	2 037.6	3 000.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	14 637.8	36 084.0	21 446.2	2.47
GH	6 343.8	2 037.6	3 750.0	3 450.2	1 875.0	4 275.0	15 387.8	38 062.8	22 675.0	2.47

①水费 1.0 元/m³(含提灌过滤、滴灌水费)，滴灌带投入 3 000.1 元/hm²，滴灌系统折旧 450.0 元/hm²，玉米种子出售价 6.0 元/kg。

严重。以上结果也说明,在水肥一体化条件下,灌水时要注意适度,并不是灌溉定额越高、灌水次数越多,制种玉米产量越高。

在甘肃扬黄灌区滴灌水肥一体化条件下,研究了不同灌溉定额和灌水次数下制种玉米的产量表现和水分利用效果。结果表明,制种玉米生育期耗水量随灌溉定额的增加而增大,这与赵引等^[22]、刘凤^[23]的研究相一致,但水分利用效率与其不同,表现为随灌溉定额的增大先增加而后降低。表明在一定范围内适度增加灌水,水分对产量的贡献力会大幅度提升,进而促使制种玉米显著增产,提高其水分利用效率。但灌水量偏高时,尽管仍然具有一定的增产效果,但不明显,同时耗水量却显著增加,水分对产量的贡献力下降,导致水分利用效率降低。与灌溉定额相比,灌水次数对水分利用效率的影响规律不明显。

在年度试验条件下,灌水10次、灌溉定额为3 000 m³/hm²时,制种玉米折合产量相对较高,为7 386.9 kg/hm²,仅较最高产量的处理(灌水15次、灌溉定额为3 750 m³/hm²)减产2.77%且减产差异不显著,但比其余处理增产8.73%~93.58%;水分利用效率最高,为17.83 kg/(mm·hm²),较其余处理提高5.32%~78.30%;种植纯收益较高,为29 683.6元/hm²,较其余处理增加-511.8~20 675.4元/hm²;产投比最高,为3.03,较其余处理增加0.07~1.38。可见,灌水10次、灌溉定额为3 000 m³/hm²时灌溉水利用效果相对优化。

参考文献:

- [1] 杨思存,车宗贤,王成宝,等.甘肃沿黄灌区土壤盐渍化特征及其成因[J].干旱区研究,2014,31(1):57-64.
- [2] 徐德辉.甘肃河西走廊及沿黄灌区农业节水现状分析[J].人民黄河,2011,23(1):112-113;116.
- [3] 张鑫,蔡焕杰,邵光成.膜下滴灌的生态环境效应研究[J].灌溉排水,2002(2):1-4.
- [4] 张朝勇.膜下滴灌条件下土壤水热的动态变化和作物需水规律的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2003.
- [5] 石玫莉,陆兴伦,宾士友,等.马铃薯水肥一体化技术应用试验研究[J].广西农学报,2012,27(2):11-14.
- [6] 邢英英,张富仓,张燕,等.滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):713-726.
- [7] 杨凡,田军仓,朱和,等.滴灌方式及灌溉定额对酿酒葡萄生长、产量及品质的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(2):1-6.
- [8] 王克全,王国栋,梁飞,等.灌溉定额对膜下滴灌春玉米土壤水热空间分布及产量的影响[J].河南农业科学,2017,46(11):25-29;41.
- [9] 李宁,王振华.北疆不同灌水次数对滴灌春小麦生长及产量的影响[J].节水灌溉,2013(7):13-15.
- [10] 贺忠群,邹志荣,陈小红,等.温室黄瓜节水灌溉指标研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(3):77-80.
- [11] 陈婷婷.宁夏引黄灌区灌溉定额对玉米生长、产量及水分利用特征的影响[D].银川:宁夏大学,2022.
- [12] 邢小宁,姚宝林,孙三民.不同灌溉制度对南疆绿洲区膜下滴灌棉花生长及产量的影响[J].西北农业学报,2016,25(2):227-236.
- [13] 牟洪臣,王振华,何新林,等.不同灌水处理对北疆滴灌春小麦生长及产量的影响[J].节水灌溉,2015(1):27-32.
- [14] 胡铁民,栾元利,王增丽.覆膜畦灌条件下制种玉米需水规律及优化灌溉制度研究[J].中国农村水利水电,2016(6):19-22.
- [15] 马兴祥,陈雷,王鹤龄,等.灌水量对制种玉米干物质积累及产量性状的影响[J].中国农学通报,2014,30(9):180-185.
- [16] 肖让,康永德,张永玲,等.河西走廊制种玉米不同施肥与灌溉定额优化研究[J].节水灌溉,2021(12):30-37.
- [17] 师学珍,王增丽,温广贵,等.垄作沟灌条件下不同灌溉制度对土壤水分及制种玉米产量的影响[J].节水灌溉,2017(1):41-44.
- [18] 蔡玲惠.甘肃引黄灌区林草间作系统节水调控效应研究-以枸杞//红豆草为例[D].兰州:甘肃农业大学,2021.
- [19] 王婵,赵向田,李永生,等.灌水量及覆膜对河西地区制种玉米产量的影响[J].河南农业科学,2016,45(8):25-30.
- [20] 李侠,肖让,张永玲,等.不同灌溉定额对膜下滴灌制种玉米生育期土壤含水量的影响[J].农业科技与信息,2020(23):44-45;47.
- [21] 连彩云,马忠明.滴水量和滴水频率对膜下滴灌制种玉米产量及种子活力的影响[J].甘肃农业科技,2021,52(11):28-33.
- [22] 赵引,毛晓敏,段萌.覆膜和灌水量对农田水热动态和制种玉米生长的影响[J].排灌机械工程学报,2018,49(8):275-284.
- [23] 刘凤.水肥耦合对土壤水分及制种玉米产量的影响[J].甘肃农业科技,2019(6):41-44.