

水氮运筹对膜下滴灌制种玉米生长及产量的影响

孙和折, 崔云玲, 张立勤, 史多鹏

(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)

摘要: 膜下滴灌技术能够使玉米适应更复杂的种植环境, 实现玉米水肥需求的目标。通过研究甘肃引黄灌区制种玉米适宜的施氮量和灌水量, 为建立制种玉米水肥一体化灌溉施肥技术提供参考。以制种玉米汭丰 19 为研究对象, 设计不同灌水量和施氮量对膜下滴灌玉米生长及产量的影响。结果表明, 灌溉量和施氮量对玉米产量和经济效益有促进作用, 施氮量 225 kg/hm²、灌水量 3 750 m³/hm² 时, 玉米的产量最高, 为 6 639.0 kg/hm², 较不施氮肥增产 104.67%; 施氮量 225 kg/hm²、灌水量 3 000 m³/hm² 时玉米产量 6 539.5 kg/hm², 较不施氮肥增产 101.60%。考虑高水氮高投入和经济效益时, 施氮量 225 kg/hm²、灌水量 3 000 m³/hm² 时的纯收入最高, 达 27 439.5 元/hm²; 施氮量 225 kg/hm²、灌水量 3 750 m³/hm² 时纯收入 27 286.5 元/hm²。综合形态指标和经济性状, 膜下滴灌条件下, 施氮量 225 kg/hm²、灌水量 3 000 m³/hm² 时的制种玉米的效益较好, 同时还可以避免水肥资源浪费, 符合节水节肥理念。

关键词: 水氮运筹; 制种玉米; 产量; 经济效益

中图分类号: S513; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2024)11-1025-07

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.11.009

Effects of Water and Nitrogen Management on the Growth and Yield of Seed Maize with Drip Irrigation under Film

SUN Hezhe, CUI Yunling, ZHANG Liqin, SHI Duopeng

(Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Drip irrigation under film technology enables maize to adapt to more complex planting environments and achieve the goal of meeting water and fertilizers demand in maize. In order to explore the optimal amount of water and nitrogen on seed-producing maize in Yellow River irrigating area of Gansu so as to provide a basis for integrated water-fertilizer irrigation techniques, a study was conducted using the seed corn variety Jufeng 19 as the material to analyze the effects of different irrigation and nitrogen levels on maize growth and seed yield with drip irrigation under film. Results showed that both irrigation and nitrogen application levels could have promoting effects on maize yield and economic benefits. When nitrogen application rate was 225 kg/ha and irrigation amount was 3 750 m³/ha, the yield reached its peak at 6 639.0 kg/ha, a 104.67% increase over no nitrogen application. When nitrogen application rate was 225 kg/ha and irrigation amount was 3 000 m³/ha, the yield was 6 539.5 kg/ha, a 101.60% increase over no nitrogen application. Economic benefits were maximized with 225 kg/ha nitrogen and 3 000 m³/ha irrigation, reaching a net income of 27 439.5 Yuan/ha. When nitrogen application rate was 225 kg/ha and irrigation amount was 3 750 m³/ha, the net profit was 27 286.5 Yuan/ha. In summary, seed maize has good benefits when nitrogen application is 225 kg/ha and irrigation amount is 3 000 m³/ha. This can also avoid the waste of water and fertilizer resources, in line with the concept of water and fertilizer conservation.

Key words: Water and nitrogen management; Seed maize; Output; Economic benefit

甘肃引黄灌区是西北的主要灌区之一, 利用黄河水提灌是发展当地农业的重要保障^[1], 降水量少, 蒸发量大, 也是我国重要的玉米种植产区。

受多种因素的影响, 该产区的制种玉米的水资源供需矛盾突出。膜下滴灌技术是将传统的滴灌技术与覆膜技术相结合, 使玉米能够适应更复杂的

收稿日期: 2024-09-25

基金项目: “十四五”国家重点研发计划(2022YFD1900204); “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0200404)。

作者简介: 孙和折(1996—), 女, 甘肃会宁人, 研究实习生, 主要从事耕作与栽培方面的研究工作。Email: 2978389044@qq.com。

通信作者: 崔云玲(1972—), 女, 甘肃永靖人, 研究员, 主要从事植物营养与土壤肥料方面的研究工作。Email: tfscyl@163.com。

种植环境,实现玉米水肥需求的目标^[2]。膜下滴灌条件下施肥管理对玉米的产量影响很大,氮磷钾肥的合理施用可以有效提高玉米的产量和经济效益^[3]。李哲等^[4]发现,膜下滴灌少量多次的施肥方式可以促进玉米的生长、提高玉米产量。滴灌条件下的水肥一体化技术,可以实现对灌溉量、施肥量,以及灌溉施肥时间的把控,提高水分、养分利用效率,有效降低化肥损耗和土壤表面水分的蒸发。

合理的灌溉和施肥是增加玉米产量、改善玉米品质的有效途径^[5]。氮是作物生长和生产力的主要养分,在作物生产中有效利用氮肥对于获得最佳作物生产力至关重要^[6]。灌溉是促进玉米的生理生长以及延缓干旱迫使减产的有效措施^[7]。因此,优化灌溉量和施肥量对作物的可持续农业管理至关重要^[8]。了解灌溉与施氮量的耦合效应,以及作物有效利用水氮的能力,对于提高水分和氮的利用效率,同时保持高产具有至关重要的意义^[9]。针对甘肃引黄灌区多年来肥料过度使用造成的环境污染问题,以及近年来水资源越来越紧缺的现状,我们开展了膜下滴灌条件下制种玉米氮肥施用量和灌溉量的研究,探寻甘肃引黄灌区制种玉米合理的氮肥施用量和灌溉量,为建立制种玉米水肥一体化灌溉施肥技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在甘肃省景泰县条山农场(104° 06' E, 37° 21' N)进行,当地常年气候干燥,日照充足、雨水稀少且昼夜温差大,年平均气温 8.25 °C,无霜期 141 d 左右,年均降水量 185.6 mm,温带干旱型大陆气候。试验区土壤为砂壤土,耕层(0~20 cm)土壤含有机质 14.41 g/kg、水解氮 85.18 mg/kg、速效磷 62.95 mg/kg、速效钾 249.2 mg/kg、全盐 0.69 g/kg, pH 为 8.54。

1.2 供试材料

供试制种玉米品种为汭丰 19,由甘肃农垦良种有限责任公司提供。

1.3 试验设计

试验采用两因素裂区设计,主区为施氮水平,分别为不施氮处理(N0)、施氮量 225 kg/hm²(N1)、施氮量 300 kg/hm²(N2)3 个水平;副区为灌水量,

分别为 2 250 m³/hm²(W1)、3 000 m³/hm²(W2,前期试验筛选出的较优灌水量)、3 750 m³/hm²(W3),共 7 个处理(表 1)。采用完全随机区组排列,重复 3 次,小区面积 60 m²(10 m×6 m)。于 2022 年 4 月 10 日采用膜下滴灌方式种植玉米,株距 19 cm,行距 50 cm,密度 10.5 万株/hm²。以 SODm 尿素(N 46%)为氮源、磷酸为磷源、硫酸钾为钾源,施磷量(P₂O₅)75 kg/hm²,施钾量(K₂O)45 kg/hm²。氮肥和磷肥分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆期施入 30%、30%、20%、20%,钾肥分别于大喇叭口期、抽雄期各施入 50%。全生育期滴水 10 次,分别于拔节期、大喇叭口期、抽雄吐丝期、灌浆期滴入 10%、25%、45%、20%(表 1),分别于拔节期、大喇叭口期、抽雄吐丝期、灌浆期滴 1、3、4、2 次。于 9 月 18 日收获,其余管理同当地大田。

表 1 试验各处理不同生育阶段的灌水分配 m³/hm²

| 处理 | 拔节期 | 大喇叭口期 | 抽雄吐丝期 | 灌浆期 |
|----------|--------|-------|---------|-------|
| NOW2(CK) | 300.00 | 750.0 | 1 350.0 | 600.0 |
| N1W1 | 225.00 | 562.5 | 1 012.5 | 450.0 |
| N1W2 | 300.00 | 750.0 | 1 350.0 | 600.0 |
| N1W3 | 375.00 | 937.5 | 1 687.5 | 750.0 |
| N2W1 | 225.00 | 562.5 | 1 012.5 | 450.0 |
| N2W2 | 300.00 | 750.0 | 1 350.0 | 600.0 |
| N2W3 | 375.00 | 937.5 | 1 687.5 | 750.0 |

1.4 测定项目和方法

1.4.1 玉米株高、茎粗和叶面积的测定 于玉米拔节期在各小区选择 5 株长势均匀的植株做好标记,分别在拔节期、大喇叭口期、灌浆期和收获期用卷尺测定玉米的株高、用游标卡尺测定茎粗,用直尺测定玉米叶片的叶长(L)和最大叶宽度(W)。

玉米单片叶面积 = $L \times W \times 0.75$

式中,0.75 是由叶片的外形确定的修正系数。

1.4.2 地上干物质积累量测定 于玉米的拔节期、大喇叭口期、灌浆期和收获期分别取 3 株代表性植株,称鲜重,然后 105 °C 杀青 30 min,75 °C 烘干至恒重。用电子天平测定其干物质积累量。

1.4.3 产量构成及产量 玉米收获期统计各个小区的成穗数,取 10 株代表性植株,自然风干后记录玉米的穗位高、穗长、穗粗、穗粒重和百粒重。折算籽粒产量。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 2019 和 SPSS 26.0 对数据进行计算和统计分析, 不同处理之间数据的差异显著性采用 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 水氮运筹对制种玉米形态指标的影响

2.1.1 水氮运筹对玉米株高的影响 株高能够反映玉米生长状况。从各处理对玉米关键生育期株高的影响(图1)可以看出, 除了 N0W2(CK)、N2W1 处理外, 其余处理株高随生育期的延长持续增长, 在拔节期至大喇叭口期增幅较大, 之后增幅平缓。除 N2W3 处理外, 拔节期各施氮处理间株高差异不显著, 均与 N0W2(CK)差异显著; 大喇叭口期、吐丝期和收获期各施氮处理间差异不显著, 均与 N0W2(CK)差异显著。在同一灌溉水平下, 玉米株高随着施氮量的增加而略有增减, 影响不大。氮肥水平一定时, 各施氮处理灌水量对玉米株高影响不明显。与 N0W2(CK)相比, 施氮对拔节期和收获期玉米的株高影响较大, N1W1、N1W3、N2W2、N1W2 处理的拔节期株高分别增加 44.61%、50.62%、52.63%、44.49%, 收获期分别增加 33.33%、31.67%、31.74%、31.08%。表明适量的氮肥能够使玉米的株高增加, 施氮量过高或过低均会影响玉米的株高。

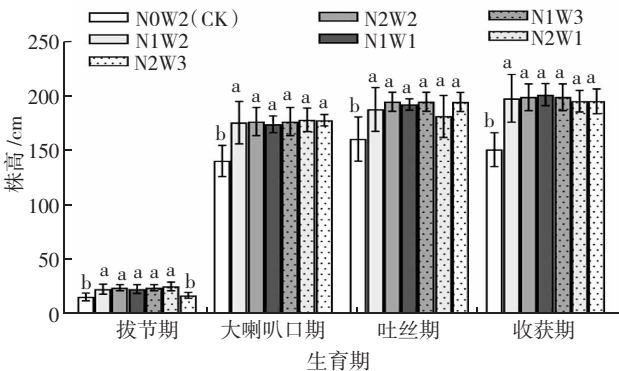


图 1 水氮运筹下制种玉米的株高

2.1.2 水氮运筹对玉米茎粗的影响 从不同灌水量和施氮量对玉米茎粗的影响(图2)可知, 茎粗随着生育期的延长, N1W1、N2W1、N2W3、N0W2(CK)处理呈先增长再降低的趋势, N1W2、N2W2、N1W3 处理呈逐渐降低的趋势。拔节期和吐丝期, 玉米茎粗处理间差异不显著; 大喇叭口期 N2W2 处理与 N0W2(CK)差异显著, 与其余各处理差异

均不显著; 收获期, 除 N0W2(CK)与 N1W1 处理差异显著, 与其余各处理差异不显著。氮肥水平一定时, 灌水量对玉米的茎粗影响不大, 收获期施氮量为 N2 时的茎粗随灌水量的增加而增加, 其余各生育期施氮量为 N2 时的茎粗随灌水量的增加先增加后降低。灌水量相同时, 除灌水量为 W3 外, 玉米茎粗随施氮量的增加而增加。施氮对玉米大喇叭口期和收获期茎粗的影响较大, 以 N2W2 处理表现较优, 与 N0W2(CK)相比, 大喇叭口期增加 18.58%, 收获期增加 20.60%。说明 N2W2 处理的水氮运筹方式有利于促进玉米茎粗的生长。

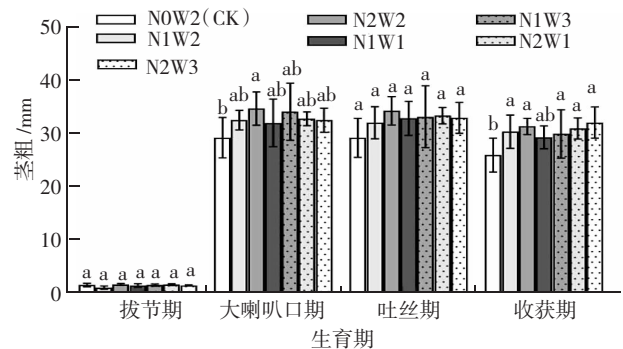


图 2 水氮运筹下制种玉米的茎粗

2.1.3 水氮运筹对玉米叶面积的影响 叶面积与光合、蒸腾及呼吸等诸多生理指标密切相关, 对作物的产量有一定的影响。由图 3 可知, 各处理玉米的叶面积随生育期的延长呈先增加再降低的趋势。除拔节期外, 其余生育期各处理的叶面积均高于 N0W2(CK)。施氮量为 N1 时, 随着灌水量的增加大喇叭口期和吐丝期玉米叶面积逐渐增加, 拔节期和收获期的叶面积先增加再降低; 施氮量为 N2 时, 随着灌水量的增加玉米大喇叭口期和吐丝期的叶面积先增加再降低, 收获期的叶面积持续增加。灌水量相同时, 随施氮量的增加拔节期

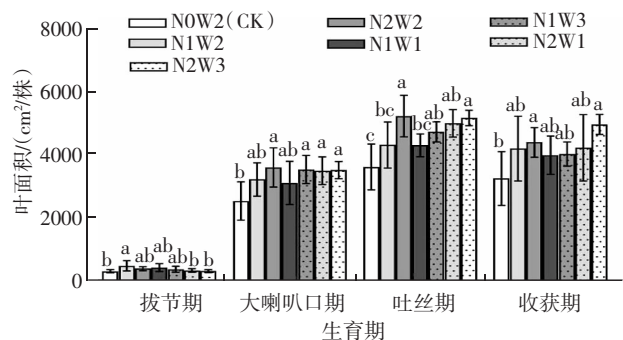


图 3 水氮运筹下制种玉米的叶面积

的叶面积先增加再降低，其余各生育期的叶面积均持续增加。大喇叭口期和吐丝期的叶面积均以 N2W2 处理最大，收获期以 N2W3 处理的叶面积最大。表明高水氮条件能增加收获期玉米的叶面积。

2.1.4 水氮运筹对玉米地上部干物质的影响 水和氮对制种玉米干物质的积累有着至关重要的影响。由图 4 可知，随着生育期的推进，各处理地上部干物质逐渐增大，在拔节期至吐丝期，干物质的积累相对较小；吐丝期至收获期干物质积累增幅最大。拔节期 N1W3 处理与其余处理差异显著；大喇叭口期 N1W3 处理与 N1W1 处理差异显著，与其余各处理差异不显著；吐丝期和收获期各处理间差异不显著。当施氮量为 N1 时，各生育期的玉米的干物质随着灌水量的增加持续增加；当施氮量为 N2 时，随着灌水量的增加拔节期和大喇叭口期玉米的干物质逐渐降低，吐丝期和收获期先增加再降低。灌水量相同时，除灌水量为 W3 外，施氮能使玉米的干物质呈不同程度的增加。收获期 N1W3、N2W2、N1W2 处理的玉米干物质积累量分别比 N0W2(CK)增加了 38.36%、34.09%、25.79%。可见，不同处理各生育阶段以 N1W3 处理的水氮运筹方式有利于玉米地上部干物质的积累。总之，施氮和灌水均能使玉米的干物质不同程度地增加，但过多的灌水和施肥反而不利于玉米生长，使玉米干物质降低。

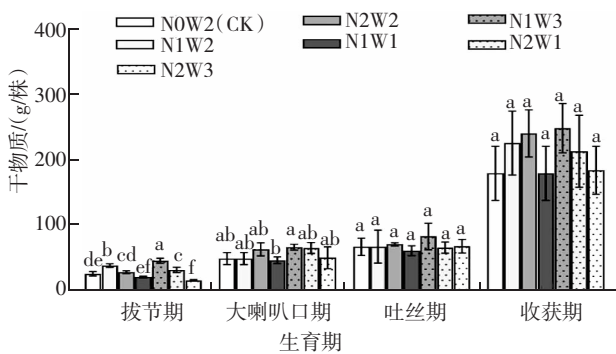


图 4 水氮运筹下制种玉米地上部干物质

2.2 水氮运筹对制种玉米经济性状的影响

由表 2 可知，水氮运筹下灌水量为 W1 和 W2 处理时的穗粒重、穗位高、穗粗和百粒重均随着施氮量的增加而增加。随着灌水量的增加，玉米的经济性状在施氮量为 N1 时逐渐增加，施氮量为 N2 时先增加再减少。穗位高以 N2W2 处理最高，为 93.5 cm，较 N0W2 (CK)增加 15.86%；其次是

N1W3 处理，为 89.6 cm，较 N0W2(CK)增加 11.03%。N2W2 处理与 N1W3、N2W1 处理差异不显著，与其余处理差异显著。玉米穗长为 14.5 ~ 16.3 cm，各处理差异不显著。穗粗以 N2W2 处理最粗，为 45.1 cm，较 N0W2(CK)增加 4.64%；其次是 N2W1、N1W3 处理，均为 44.3 cm，较 N0W2(CK)增加 2.78%。N2W2、N1W3、N2W1 处理间差异不显著，与 N1W1 处理差异显著，与其余处理差异不显著。穗粒重以 N1W3 处理最高，为 84.2 g，较 N0W2(CK)增加 28.35%；其次是 N2W2 处理，为 81.9 g，较 N0W2(CK)增加 24.85%；各处理间差异显著。百粒重以 N2W2 处理最高，为 35.73 g，较 N0W2(CK)增加 3.21%；其次是 N1W3 处理，为 35.42 g，较 N0W2(CK)增加 2.31%。百粒重各处理间差异不显著。可见，N2W2 处理的经济性状相对较优。过量的灌水和施氮反而使得玉米的穗位高、穗长、穗粗、穗粒重和百粒重均降低。

表 2 水氮运筹下制种玉米的经济性状

| 处理 | 穗位高 /cm | 穗长 /cm | 穗粗 /mm | 穗粒重 /g | 百粒重 /g |
|----------|----------|--------|---------|--------|---------|
| N0W2(CK) | 80.7 bcd | 15.1 a | 43.1 ab | 65.6 e | 34.62 a |
| N1W1 | 78.0 cd | 15.1 a | 41.6 c | 60.7 g | 33.92 a |
| N1W2 | 83.3 bcd | 15.6 a | 43.5 ab | 74.5 c | 34.80 a |
| N1W3 | 89.6 ab | 16.3 a | 44.3 a | 84.2 a | 35.42 a |
| N2W1 | 85.3 abc | 14.5 a | 44.3 a | 69.8 d | 34.00 a |
| N2W2 | 93.5 a | 15.5 a | 45.1 a | 81.9 b | 35.73 a |
| N2W3 | 81.8 bcd | 14.9 a | 43.5 ab | 63.1 f | 33.88 a |

2.3 水氮运筹对制种玉米产量的影响

水氮运筹对制种玉米产量有显著的影响(表 3)。不同的灌水和施氮条件下，制种玉米的产量存在显著差异。与 N0W2(CK)相比，其余各处理的产量显著增加，增产 334.7 ~ 3 395.2 kg/hm²，增幅为 10.32% ~ 104.67%。其中 N1W3 处理的产量最高，为 6 639.0 kg/hm²，较 N0W2(CK)增产 104.67%；其次是 N1W2 处理，为 6 539.5 kg/hm²，较 N0W2 (CK)增产 101.60%；N0W2 (CK)的产量最低，为 3 243.8 kg/hm²。N1W3、N1W2 处理玉米产量差异不显著，均与其余处理差异显著。当灌水量为 W1 时，玉米产量随着施氮量的增加而增加；灌水量为 W2 时，随着施氮量的增加先增加再减少。当施氮量为 N1 时，随着灌水量的增加玉米产量持续增加，与 N1W1 处理相比，N1W2、N1W3 处理的

产量显著增加 82.74%、85.52%；当施氮量为 N2 时，随着灌水量的增加玉米产量先增加再减少，与 N2W1 处理相比，N2W2、N2W3 处理的产量分别增加 34.98%、20.51%。灌水和施氮均能使制种玉米的产量显著增加，适当增加灌水和施氮有利于玉米增产，当达到一定值时，玉米的产量不再持续增加，过量施氮肥反而使得产量减少。

表 3 水氮运筹下制种玉米的产量

| 处理 | 折合产量 /(kg/hm ²) | 较对照增产 /(kg/hm ²) | 增产率 /% | 位次 |
|----------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|----|
| N0W2(CK) | 3 243.8±168.8 f | | | 7 |
| N1W1 | 3 578.5±210.3 e | 334.7 | 10.32 | 6 |
| N1W2 | 6 539.5±176.1 a | 3 295.7 | 101.60 | 2 |
| N1W3 | 6 639.0±164.8 a | 3 395.2 | 104.67 | 1 |
| N2W1 | 4 590.0±162.1 d | 1 346.2 | 41.50 | 5 |
| N2W2 | 6 195.8±166.8 b | 2 952.0 | 91.00 | 3 |
| N2W3 | 5 531.2±155.3 c | 2 287.4 | 70.52 | 4 |

2.4 水氮运筹对制种玉米经济效益的影响

水氮运筹对制种玉米的经济效益有一定的影响(表 4)。制种玉米的纯收入由产量和投入共同决定，一般情况下与产量成正比，与投入成反比。各处理的总投入成本随着水氮投入量的增加而增大。各处理的产值较 N0W2 (CK) 增加 2 008.2 ~ 20 371.3 元 /hm²，除去肥料、滴水及其他投入后的纯收益为 10 423.5 ~ 27 439.5 元 /hm²，较 N0W2 (CK) 增加 1 768.2 ~ 18 784.2 元 /hm²。其中 N1W2 处理的纯收入最多，为 27 439.5 元 /hm²；产投比也最高，为 3.33。N1W3 处理的纯收入次之，为 27 286.5 元 /hm²；产投比为 3.17。产投比与纯收入呈正相关，与产量相反，可能是因为高水高氮处理成本也最大的缘故。

3 讨论与结论

玉米生长发育受土壤水氮状况的影响，水氮不足或者过高都会影响玉米的生长^[10]。株高、茎粗和叶面积是反映玉米生长状况的重要的指标。本研究结果表明，膜下滴灌条件下施氮可以使玉米的株高、茎粗和叶面积不同程度的增加，但施氮量 225、300 kg/hm² 对制种玉米形态指标的影响不明显。等养分条件下，增加灌水量使得玉米株高、茎粗和叶面积也随之增加，蔡晓^[11]的研究表明，滴灌条件下，随着施氮量的增加株高和茎粗均呈先升高再降低的趋势，一般施氮量 240、300 kg/hm² 时最大。本研究可知，施氮量 300 kg/hm² 时的玉米的株高、茎粗和叶面积较高。施氮量超过作物实际需氮量时，作物需要更多的能量维持细胞稳定，进而影响作物蒸腾与养分吸收，致使株高与茎粗的生长受到抑制^[12-13]。陈涛^[14]的研究表明，膜下滴灌条件下适宜的水氮用量更有利于制种玉米的生长发育，进而提高株高、茎粗和叶面积指数。充足的灌溉和施氮有利于作物的生长发育，是作物高产的基础。

干物质的积累和分配与作物产量密切相关，地上部干物质很大程度上可以影响玉米产量的多少。灌水量和施氮量对玉米各生长发育阶段的生长状况有一定的影响。有研究结果显示，膜下滴灌条件下增施氮肥对玉米营养生殖期内的干物质积累有显著的促进作用，灌水量的增加对玉米干物质积累并无显著促进作用，施氮量 180 kg/hm² 时，玉米地上干物质积累量最高^[15-16]。本试验的结果显示，膜下滴灌条件下，制种玉米生殖生长阶段的干物质积累较营养生长高，可能与本试验

表 4 水氮运筹下制种玉米产量和经济效益^①

| 处理 | 肥料投入 /(元/hm ²) | 滴水投入 /(元/hm ²) | 总投入 /(元/hm ²) | 产值 /(元/hm ²) | 纯收入 /(元/hm ²) | 产投比 |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------|
| N0W2(CK) | 1 057.5 | 3 000 | 10 807.5 | 19 462.8 | 8 655.3 | 1.80 |
| N1W1 | 2 047.5 | 2 250 | 11 047.5 | 21 471.0 | 10 423.5 | 1.94 |
| N1W2 | 2 047.5 | 3 000 | 11 797.5 | 39 237.0 | 27 439.5 | 3.33 |
| N1W3 | 2 047.5 | 3 750 | 12 547.5 | 39 834.0 | 27 286.5 | 3.17 |
| N2W1 | 2 377.5 | 3 000 | 12 127.5 | 27 540.0 | 15 412.5 | 2.27 |
| N2W2 | 2 377.5 | 2 250 | 11 377.5 | 37 174.8 | 25 797.3 | 3.27 |
| N2W3 | 2 377.5 | 3 750 | 12 877.5 | 33 187.2 | 20 309.7 | 2.58 |

① 玉米种子价格 6.0 元/kg，N 4.4 元/kg，P₂O₅ 8.7 元/kg，K₂O 9.0 元/kg，滴水费用 1.0 元/m³，用工及其他费用 6 750 元/hm²。

是不同生育期的灌水施氮试验, 短期内水氮并不能显著影响玉米对光热资源的竞争, 从而影响干物质的积累。

水分和养分均会影响作物高产潜力的发挥^[17]。适宜的水氮运筹能够促进玉米生育前期营养器官积累的干物质向籽粒转运, 从而获得高产^[18]。产量不仅与玉米的生长环境有关, 而且与穗部如穗长、穗粗、穗粒重等产量构成因素有关^[19-20]。本研究发现, 膜下滴灌条件下施氮和灌水能优化玉米的产量构成因素, 其中各处理的穗长和百粒重无显著差异, 施氮和灌水均能使玉米的产量构成因子有所增加, 施氮量 225 kg/hm² 时产量构成因子随着灌水量的增加显著增加, 施氮量为 300 kg/hm² 时的产量构成因子随着灌水量的增加先增加再降低。灌水和施氮量均能使制种玉米产量不同程度地增加。当施氮量 225 kg/hm²、灌水量 3 750 m³/hm² 时的制种玉米的产量最高。王飞等^[21]研究了膜下滴灌条件下水氮调控对河西干旱地区制种玉米产量的影响, 发现灌溉定额 4 800 m³/hm²、追施氮肥 540 kg/hm² 时制种玉米产量最高, 达 8 356 kg/hm²。连彩云等^[22]研究表明, 膜下滴灌条件下滴水量 3 600 m³/hm² 时的玉米产量最高。过量的灌溉和施氮对玉米增产无效, 反而会降低玉米的产量构成因子和产量^[23-24]。张立勤等^[25]研究发现, 灌水能使制种玉米的产量增加, 当灌溉量高于 3 000 m³/hm² 时, 产量增加不明显, 反而使得生育期耗水量增加。张雨珊等^[26]研究表明, 灌溉量和施氮量对玉米产量和经济效益有促进作用, 影响程度为施氮量 > 灌溉量, 灌溉量 2 344 m³/hm²、施氮量 276.6 kg/hm² 时, 经济效益最高。本研究表明, 膜下滴灌条件下水氮投入影响制种玉米的产量和经济效益, 灌水量 3 750 m³/hm²、施氮量 225 kg/hm² 时的玉米产量最高, 为 6 639.0 kg/hm², 较不施氮肥增产 104.67%; 其次是灌水量 3 000 m³/hm²、施氮量 225 kg/hm², 为 6 539.5 kg/hm², 较不施氮肥增产 101.60%。灌水量 3 000 m³/hm²、施氮量 225 kg/hm² 时纯收益最高, 达 27 439.5 元/hm²; 其次是灌水量 3 750 m³/hm²、施氮量 225 kg/hm², 为 27 286.5 元/hm²。因此, 在当地膜下滴灌条件下, 灌水量 3 000 m³/hm²、施氮量 225 kg/hm² 时的灌溉施肥模式较为合理, 可为当地的制种玉米种植过

程中的灌水施肥提供参考。

参考文献:

- [1] 王红英, 栾倩倩, 刘 斌. 甘肃引黄灌区玉米灌溉制度研究现状与发展趋势探析[J]. 南方农机, 2023, 54(11): 61-63.
- [2] 张 锐. 玉米膜下滴灌种植技术及应用要点[J]. 新农业, 2022(11): 15.
- [3] 苑喜军, 聂大杭. 玉米水肥一体化施肥模式对肥料利用率的影响[J]. 作物研究, 2017, 31(4): 391-394.
- [4] 李 哲, 屈忠义, 任中生, 等. 河套灌区膜下滴灌高频施肥促进玉米生长及产量研究[J]. 节水灌溉, 2018(10): 1-4; 8.
- [5] 陈世超, 刘文丰, 杜太生. 基于水氮管理与种植结构优化的作物丰产高效管理策略[J]. 农业工程学报, 2022, 38(16): 144-152.
- [6] SANDHU S S, MAHAL S S, VASHISTK K, et al. Crop and water productivity of bed transplanted rice as influenced by various levels of nitrogen and irrigation in northwest India[J]. Agricultural Water Management, 2011, 104: 32-39.
- [7] 彭致功, 张宝忠, 刘 钰, 等. 华北典型区冬小麦区域耗水模拟与灌溉制度优化[J]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 238-246.
- [8] DAI Z, FEI L, HUANG D, et al. Coupling effects of irrigation and nitrogen levels on yield, water and nitrogen use efficiency of surge-root irrigated jujube in a semiarid region[J]. Agricultural Water Management, 2019, 213: 146-154.
- [9] GHEYSAARI M, MIRLATIFI S M, BANNAYAN M, et al. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(5): 809-821.
- [10] 王科捷, 杨乔乔, 王 佳, 等. 水氮协同对玉米光合特性及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(7): 48-55.
- [11] 蔡 晓. 滴灌条件下水氮运筹对夏玉米生长及水氮利用的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [12] 马建华, 孙 毅, 王玉国, 等. 不同氮浓度对高粱幼苗形态及生理特征的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(1): 233-238.
- [13] 曲俊杉. 水氮供应对北疆春玉米生长及水氮利用效率的影响研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.
- [14] 陈 涛. 绿洲灌区制种玉米膜下滴灌水氮耦合效应研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2023.
- [15] 张兴梅, 周攒义, 殷奎德, 等. 氮水耦合对黑龙江

- 西部覆膜玉米生长及产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, 27(6): 5-9.
- [16] 宋海星, 李生秀. 不同水氮供应条件下夏玉米养分累积动态研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 399-403.
- [17] FASAKHODI A A, NOURI S H, AMINI M. Water resources sustainability and optimal cropping pattern in farming systems; a multi-objective fractional goal programming approach[J]. *Water Resources Management*, 2010, 24(15): 4639-4657.
- [18] 范虹, 李文娟, 赵财, 等. 绿洲灌区水氮运筹对玉米生长及产量形成的耦合效应[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(1): 51-59.
- [19] 孙永健, 孙园园, 徐徽, 等. 水氮管理模式对不同氮效率水稻氮素利用特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(9): 1639-1649.
- [20] 李妍妍, 景希强, 丰光, 等. 我国不同时期玉米主要农艺性状与产量变化分析[J]. 玉米科学, 2010, 18(3): 37-42.
- [21] 王飞, 王浩宇, 蔺宝军, 等. 水氮调控对河西干旱区制种玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2024, 42(3): 298-307.
- [22] 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): 28-34.
- [23] 曹雪松, 郑和祥, 苗平, 等. 引黄滴灌条件下水氮互作对玉米耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(3): 33-39.
- [24] 严富来, 张富仓, 范兴科, 等. 基于空间分析的宁夏沙土春玉米滴灌水氮管理模式研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(11): 219-228.
- [25] 张立勤, 崔云玲, 崔增团, 等. 灌水对水肥一体化制种玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(2): 124-129.
- [26] 张雨珊, 杨恒山, 葛选良, 等. 西辽河平原浅埋滴灌下水氮运筹对玉米产量和效益的影响[J]. 东北农业科学, 2023, 48(5): 32-36; 80.