

咸水灌溉下制种玉米水分利用效率的研究

袁成福¹, 李燕忠²

(1. 江西水利职业学院, 江西 南昌 330013; 2. 江西省赣州市水利局, 江西 赣州 341000)

摘 要:为了探究石羊河流域地下咸水资源的利用方式,在西北干旱区的石羊河流域开展了咸水灌溉田间试验,通过测定土壤含水率和制种玉米产量指标,研究咸水灌溉对制种玉米耗水量、产量、水分利用效率和灌溉水分利用效率的影响. 研究表明:在相同灌溉水量条件下,不同灌水矿化度对制种玉米的耗水量影响不明显;随着灌水矿化度的增加,制种玉米的产量逐渐降低,3 g/L 的微咸水灌溉与淡水灌溉相比,减产幅度在 20% 以下,而 9 g/L 的高矿化度的咸水灌溉减产幅度在 30% 以上;水分利用效率和灌溉水分利用效率具有与产量类似的规律. 因此,在研究区短时期采用 3 g/L 以下的微咸水进行灌溉,对制种玉米减产幅度、水分利用效率和灌溉水分利用效率的影响较小.

关键词:咸水灌溉;耗水量;产量;水分利用效率

中图分类号:TV93

文献标识码:A

文章编号:1004-4701(2016)05-0313-04

0 引 言

石羊河流域地处中国西北干旱内陆区,该地区水资源供需矛盾日趋尖锐,生态环境持续恶化^[1,2]. 对于地表水资源极其短缺的干旱地区,农业生产主要依靠地下水资源进行灌溉. 然而,近年来由于当地人们对地下水资源的过度开采利用,使当地地下水矿化度呈现逐年增加的趋势,其中石羊河下游的民勤县湖区地下水矿化度高达 3~10 g/L,并且每年以 0.12~0.74 g/L 的速度递增^[3,4]. 为了弥补淡水资源的不足,进而保障干旱缺水地区农业生产的稳步发展,咸水灌溉技术已经被广泛地应用到农业生产^[5]. 甘肃省武威市属大陆性温带干旱气候,由于日照时间长,昼夜温差大,生产的玉米种子商品性好、籽粒饱满,是农业部首批认定的 26 个国家级杂交玉米生产基地^[6]. 制种玉米已成为武威地区主要的经济来源之一^[7]. 由于制种玉米生育期长,种植面积大,耗水量大,而灌溉主要是利用地下水资源进行灌溉.

因此,在石羊河流域开展咸水灌溉下制种玉米水分利用效率的研究,研究结果可为该地区合理利用咸水资源提供理论基础和技术指导.

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本研究田间试验于 2014 年 4 月至 10 月在甘肃省武威市凉州区的中国农业大学石羊河试验站(102°52'E, 37°52'N, 海拔 1 581 m)内进行,该试验站位于石羊河流域中游区域. 该研究区多年平均降水量和蒸发量分别为 164.4 mm 与 2 000 mm 左右,研究区地下水位埋深达 48 m^[8]. 田间试验在非称重式蒸渗仪中进行,修建测坑小区 12 个,每个测坑小区面积为 6.66 m² (3.33 m×2 m),深为 3 m,测坑为无底测坑. 测坑小区 0~100 cm 土壤平均容重为 1.5 g/cm³,饱和含水率和田间持水率分别为 0.37 cm³/cm³与 0.30 cm³/cm³. 试验区土壤理化性质见表 1 所示.

表 1 土壤基本理化性质

土层深度/cm	砂粒/%	粉粒/%	黏粒/%	有机质/(g/kg)	国际制土壤质地分类
0-20	59.79	28.22	11.99	11.76	砂壤土
>20-40	53.03	31.89	15.08	7.12	砂壤土
>40-100	48.69	36.13	15.19	5.48	黏壤土

收稿日期:2016-09-10

作者简介:袁成福(1989-),男,硕士,助理工程师.

1.2 试验设计

试验以盐分为研究对象,共设置 4 种盐分水平,分别为 s0(矿化度 0.71 g/L,淡水)、s3(矿化度 3.00 g/L)、s6(矿化度 6.00 g/L)、s9(矿化度 9.00 g/L),分别代表石羊河流域上游、中部、下游及民勤湖区典型地区的地下水矿化度。共设置 4 个处理,每个处理 3 次重复,共 12 个小区,试验采用顺序排列方式布置,每组重复分别按 s0、s3、s6 和 s9 依次排列。根据制种玉米不同生育阶段,结合当地灌溉经验,分别在制种玉米拔节期、孕穗期、抽雄期、灌浆期及成熟期各灌水一次,设置灌溉制度如表 2 所示。在试验之前进行一次春灌冲洗试验

地,灌水定额为 150 mm。本试验灌溉用水根据当地地下水化学组成配置灌溉咸水,配置的咸水是采用质量比为 2: 2: 1 的 NaCl、MgSO₄ 和 CaSO₄ 溶液组成,各处理灌溉用水 pH 值呈中性。供试作物为当地制种玉米,品种为富农 963 号,于 2014 年 4 月 19 号播种,9 月 19 号收获,全生育期共 153 天。制种玉米按父本和母本 1: 7 的方式种植,种植密度为每个小区 56 株,播种前需要对试验田地进行施肥,施肥量按氮肥 375 kg/hm²,磷肥 225 kg/hm²,钾肥 300 kg/hm² 的标准,其他农艺措施参照当地情况进行。2014 年制种玉米全生育期内降雨量为 141.2 mm。

表 2 各处理灌溉制度

处理	灌水矿化度 (g/L)	灌水定额/mm					灌溉定额 /mm
		6 月 10 日	7 月 1 日	7 月 25 日	8 月 18 日	9 月 5 日	
s0	0.71	120	120	105	105	105	555
s3	3.00	120	120	105	105	105	555
s6	6.00	120	120	105	105	105	555
s9	9.00	120	120	105	105	105	555

1.3 测定项目与方法

2014 年试验期间分别在制种玉米播种前、收获后以及每次灌水前后通过土钻田间获取土样,每个取样点取土深度为 100 cm,共分为 6 层,分别为 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm,每次取完样后回填钻孔并做标记,采用烘干法(土样在 105 ℃ 烘箱内烘 8 h)测定土壤含水率。收获后进行考种,每个处理随机取 6 个穗测定穗长、穗粗;对作物茎秆和果实取样称重,并在烘箱下烘 48 h 得到干物质重,每个处理 6 个重复;从收获的玉米种子中每个处理随机取 6 个重复,每个重复 100 粒,各自称重,取其平均数计算百粒重;对每个试验小区的所有玉米进行脱粒并晒干,收集各试验小区所有玉米籽粒称重得到每个处理的产量,然后再折算为 kg/hm²。应用 SPSS17.0 软件对试验数据进行统计分析,处理间差异性用单因素方差分析。

1.4 水分利用效率计算公式

采用水量平衡方程计算耗水量,水量平衡方程表示为:

$$ET = P_0 + I - \Delta W - R - L + D \tag{1}$$

$$\Delta W = 10 \times rH(W_1 - W_0) \tag{2}$$

式中:ET 为生育期总耗水量(mm);P₀ 为生育期内降雨量(mm);I 为生育期内灌水量(mm);ΔW 为土

壤水分变化量(mm);W₀、W₁ 分别为播前和收获时土壤质量含水率(%);R 为试验小区与外部区域的地面水分交换量(mm),本试验在测坑中进行,可忽略不计;L 为土壤水分侧向交换量(mm),本试验在测坑中进行,可忽略不计;H 为土壤水计算深度(cm),取为 100 cm;r 为土壤干容重;D 为 0~100 cm 土层与下层土壤层的水分交换量(mm),水分向上补给为正,向下渗漏为负,可以通过达西定律进行计算。

水分利用效率表示为:

$$WUE = \frac{Y}{ET} \tag{3}$$

式中:WUE 为水分利用效率(kg/m³);Y 表示各灌水处理制种玉米的产量(kg/hm²)。

灌溉水分利用效率表示为:

$$IWUE = \frac{Y_i - Y_n}{I} \tag{4}$$

式中:IWUE 为灌溉水利用效率(kg/m³);Y_i 表示各处理灌溉后的产量;Y_n 表示没有灌溉时的产量,由于该地区没有灌溉时,制种玉米已经死亡,故 Y_n 为 0。

2 结果与分析

2.1 制种玉米的耗水规律及产量

根据(1)和(2)式计算得到制种玉米生育期的耗水

量,其中土壤水分变化量采用收获后与播种前贮水量之差,计算值为负表示土壤水分被消耗,计算值为正表示蓄水,耗水量计算结果如表 3 所示。从表 3 分析可知,各处理制种玉米的耗水量差异性不大,淡水灌溉 s0 处理耗水量最大为 604.3 mm,咸水灌溉处理耗水量略有减小,其中 s3、s6 和 s9 分别比 s0 处理降低了 2.18%、6.55% 和 1.80%。可见,不同灌水矿化度处理对作物耗水量影响较小,灌水矿化度不是影响作物耗水量的主要因素。

表 4 为各处理制种玉米的产量及其构成因素。由

表 4 分析可知,不同灌水矿化度处理对制种玉米产量的影响显著。在灌溉水量相同条件下,随着灌水矿化度的增大,制种玉米的产量逐渐减小。淡水灌溉 s0 处理制种玉米产量最大为 6 019.1 kg/hm²,s3、s6 和 s9 分别比 s0 处理降低了 18.19%、29.08% 和 32.76%。制种玉米的穗长、穗粗、干物质重和百粒重也随着灌水矿化度的增加而减小,除 s3 处理与 s0 处理的穗长不显著外,其余处理与淡水灌溉处理之间的差异性均显著。可见,咸水灌溉由于存在盐分胁迫,且灌水矿化度越大盐分胁迫越严重,从而抑制作物的生长,影响作物的产量。

表 3 不同处理的耗水量及产量 mm

处理	降雨量	灌水量	土壤水分变化量	0-100 cm 底部水分交换量	耗水量
s0	141.2	555	-1.4a(±2.53)	-93.3a(±15.48)	604.3a(±14.10)
s3	141.2	555	6.9a(±3.82)	-98.2a(±19.37)	591.1a(±23.19)
s6	141.2	555	29.1a(±6.46)	-102.4a(±16.32)	564.7a(±22.78)
s9	141.2	555	-3.3a(±4.32)	-106.1a(±18.59)	593.4a(±14.27)

注:各列中相同字母表示不显著,不同字母表示在 P=0.05 水平上显著;括号里表示标准偏差。下同。

表 4 产量及其构成因素

处 理	穗 长/mm	穗 粗/mm	百粒重/g	干物质重/g	产 量/(kg·hm ⁻²)
s0	169.54a(±6.80)	42.36a(±1.80)	35.98a(±1.95)	204.09a(±19.50)	6 019.10a(±21.47)
s3	163.17a(±4.34)	39.12b(±1.93)	33.76b(±2.51)	175.68b(±12.32)	4 924.20b(±23.84)
s6	158.49b(±7.45)	37.63c(±2.32)	31.34c(±1.56)	149.40c(±13.82)	4 268.80c(±30.99)
s9	152.26c(±8.36)	35.48d(±3.24)	27.84d(±1.23)	131.55c(±18.92)	4 047.10d(±37.85)

表 5 玉米水分利用效率与灌溉水分利用效率

处理	灌水量/mm	耗水量/mm	产量/(kg·hm ⁻²)	水分利用效率/(kg·m ⁻³)	灌溉水分利用效率/(kg·m ⁻³)
s0	555	604.3a(±14.10)	6 019.10a(±21.47)	1.00a(±0.05)	1.08a(±0.004)
s3	555	591.1a(±23.19)	4 924.20b(±23.84)	0.83b(±0.03)	0.89b(±0.006)
s6	555	564.7a(±22.78)	4 268.80c(±30.99)	0.76c(±0.03)	0.77c(±0.005)
s9	555	593.4a(±14.27)	4 047.10d(±37.85)	0.68d(±0.01)	0.73d(±0.006)

2.2 水分利用效率和灌溉水利用效率

表 5 为各处理制种玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率。由表 5 分析可知,不同灌水矿化度处理对制种玉米的水分利用效率影响明显。随着灌水矿化度的增加,制种玉米的水分利用效率逐渐减小。淡水灌溉 s0 处理的水分利用效率最大为 1.00 kg/m³,

s3、s6 和 s9 分别比 s0 处理降低了 16.69%、24.41% 和 31.80%。不同灌水矿化度处理对制种玉米

的灌溉水分利用效率影响明显。灌溉水分利用效率具有与水分利用效率相似的规律,随着灌水矿化度的增加,灌溉水分利用效率逐渐减小。淡水灌溉 s0 处理的灌溉水分利用效率最大为 1.08 kg/m³,s3、s6 和 s9 分别比 s0 处理降低了 18.19%、29.08% 和 32.76%。可见,在相同灌溉水量条件下,灌水矿化度是影响制种玉米水分利用效率和灌溉水分利用效率的主要因素。

3 结 论

通过在石羊河流域开展咸水灌溉田间试验,研究了咸水灌溉下制种玉米耗水规律、产量、水分利用效率及灌溉水分利用效率的规律,主要结论如下:

(1)在相同灌溉水量条件下,不同灌水矿化度处理对制种玉米的耗水量影响较小,咸水灌溉处理与淡水灌溉处理相比,耗水量略有降低,降低在 7% 之内,因此不同灌水矿化度处理对制种玉米的耗水量影响不明显;不同灌水矿化度对制种玉米的产量影响显著,随着灌水矿化度的增加,产量逐渐降低,3 g/L 的微咸水灌溉与淡水灌溉相比,减产幅度在 20% 以下,而 9 g/L 的高矿化度的咸水灌溉减产幅度在 30% 以上。

(2)在相同灌溉水量条件下,不同灌水矿化度对制种玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率影响明显。随着灌水矿化度的增加,水分利用效率和灌溉水分利用效率逐渐减小。3 g/L 的微咸水灌溉与淡水灌溉相比,水分利用效率和灌溉水分利用效率降低在 20% 以下,而 9 g/L 的高矿化度的水分利用效率和灌溉水分利用效率降低在 30% 以上。因此,在研究区短时期采用 3

g/L 以下的微咸水进行灌溉,对制种玉米的产量减产幅度、水分利用效率和灌溉水分利用效率的影响较小,从而达到合理利用咸水资源的目的。

参考文献:

- [1]黄翠华,薛炯,彭飞,等.不同矿化度地下水灌溉对民勤土壤环境的影响[J].中国沙漠,2013,33(2):590~596.
- [2]刘明成,万国北.石羊河流域生态环境存在的主要问题、成因和对策[J].甘肃林业科技,2010,35(4):47~50.
- [3]孙月,毛晓敏,杨秀英,等.西北灌区地下水矿化度变化及其对作物的影响[J].农业工程学报,2010,26(2):103~108.
- [4]袁成福,冯绍元,蒋静,等.咸水非充分灌溉条件下土壤盐运动 SWAP 模型模拟[J].农业工程学报,2014,30(20):72~81.
- [5]Ould Ahmed B A, Inoue M, Moritani S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water content, soil salinity, and growth of wheat[J]. Agricultural Water Management, 2010(97):165~170.
- [6]安贵.凉州区玉米制种产业在农业产业化中的地位 and 作用[J].种子世界,2010(9):8~9.
- [7]张立勤,马忠明,王智琦,等.不同栽培模式下制种玉米的产量及水分生产效应[J].节水灌溉,2012(12):43~50.
- [8]蒋静,冯绍元,霍再林,等.盐化土壤节水灌溉春玉米产量及耗水规律研究[J].中国农村水利水电,2015(5):19~22.

编辑:张绍付

Research on water use efficiency of Seed Maize under saline water irrigation

YUAN Chengfu¹, LI Yanzhong²

(1. Jiangxi Water Resources Institute, Nanchang 330013, China;

2. Ganzhou Municipal Water Resources Bureau of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

Abstract: To explore the ways of using underground salt water resources in Shiyang River basin. A field experiment was conducted under saline water irrigation in Shiyang River basin of Northwest China. The soil water content and seed maize yield indicators were measured for study the effects of saline water irrigation on water consumption, yield, water use efficiency and irrigation water use efficiency. The research results showed that the effects of saline water irrigation on water consumption was not obvious under the same irrigation water quantity. With the increase of irrigation water salinity, seed maize yield gradually decreased. The salinity of 3 g/L brackish water irrigation reduced seed maize yield by below 20% and the salinity of 9 g/L salt water irrigation reduced seed maize yield by above 30% compared with fresh water irrigation. The water use efficiency and irrigation water use efficiency changed similarly to seed maize yield. The saline water irrigation with below 3 g/L is recommended as a result of water use efficiency and irrigation water use efficiency and the seed maize yield decreasing slightly in researching area.

Key words: Saline water irrigation; Water consumption; Yield; Water use efficiency

翻译:袁成福