

灌溉定额与灌溉水矿化度对春玉米水分利用效率影响研究

袁成福

(江西水利职业学院水利工程系,江西 南昌 330013)

摘要:通过在甘肃省石羊河流域开展春玉米咸水灌溉田间试验,研究了灌溉定额和灌溉水矿化度对春玉米耗水量及水分利用效率的影响。研究结果表明:春玉米耗水量随着灌溉定额的增大而增大,随着灌溉水矿化度的增大而减小。而从充分利用土壤贮水的角度考虑,非充分灌溉能够提高土壤播前贮水的利用量,而咸水灌溉则会降低土壤贮水利用量;非充分灌溉有利于提高春玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率,而咸水灌溉会降低春玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率。本次试验得到淡水轻度缺水灌溉处理的水分利用效率和灌溉水分利用效率最大值分别为 2.90 kg/m^3 和 4.23 kg/m^3 。与淡水充分灌溉处理相比,在研究区若采用灌溉定额为 340 mm 和灌溉水矿化度为 0.71 g/L 的灌溉方式,春玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率可提高 25% 以上,同时可节水 170 mm 。

关键词:灌溉定额;灌溉水矿化度;春玉米;耗水量;水分利用效率

中图分类号:TV93

文献标识码:A

文章编号:1004-4701(2017)03-0157-05

0 引言

甘肃省河西走廊的石羊河流域地处中国西北干旱内陆区,该流域生态环境脆弱,水资源短缺是制约社会经济发展和农业生产的瓶颈问题^[1,2]。该流域地表水资源短缺,农业生产主要利用机井抽取地下水进行农田灌溉,而随着地下淡水资源的大量开采,导致地下水位逐年降低,同时也造成地下水矿化度逐年升高,其中石羊河下游的民勤县地下水矿化度高达 $3 \sim 10 \text{ g/L}$,抽上来的地下水已经是咸水^[3,4]。采用咸水灌溉在一定程度上可以弥补淡水资源的不足,但同时随着咸水灌溉的长期使用,土壤盐分逐渐累积会改变土壤的理化性状,从而影响作物的产量、耗水和水分利用效率^[5]。国内外研究者就咸水灌溉下作物耗水和水分利用效率规律开展了大量研究工作。张俊鹏等在华北平原开展了棉花咸水灌溉试验,研究表明 7 g/L 以下的咸水灌溉对棉花耗水过程产生了一定影响,但对总耗水量的影响不明显,灌溉水矿化度为 7 g/L 水处理比 1 g/L 水处理的水分利用效率降低了 7.31%^[6]。张济斌在石羊河流域开展了春小麦咸水灌溉试验,研究表明灌溉水矿化度的增加会降低春小麦的水分利用效率,灌溉水矿化度为 3 g/L 、 5 g/L 和 7 g/L 与淡水灌溉相比春小麦的水分利用

效率分别降低 8.30%、13.89% 和 14.58%^[7]。Wang 等 2009~2011 年在石羊河开展为期 3 年的春玉米咸水灌溉试验,研究表明采用灌溉水矿化度低于 3 g/L 的微咸水连续灌溉 3 年对春玉米的水分利用效率影响较小^[8]。

春玉米是甘肃省河西走廊地区主要的粮食作物之一,它具有种植面积广,生育期长,耗水量大的特点,是当地农业生产中的用水大户^[9]。而关于不同灌溉定额和灌溉水矿化度对春玉米耗水量及水分利用效率的研究报道较少。因此,在西北干旱区的石羊河流域开展不同灌溉定额和灌溉水矿化度对春玉米耗水量及水分利用效率影响的研究,研究结果可为研究区合理利用地下咸水资源和节水灌溉提供科学依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本研究田间试验于 2011 年 4 月至 9 月在中国农业大学石羊河试验站内进行,该试验站处于石羊河流域中游区域,地下水位埋深平均值为 48.00 m 。对甘肃省武威市凉州区气象站 1956~2005 年的气象资料进行统计分析,得到该研究区多年平均降水量和蒸发量分别为 164 mm 与 2000 mm 。试验在测坑区进行,共使用测坑

收稿日期:2017-02-26

作者简介:袁成福(1989-),男,硕士,助理工程师。

18 个;测坑的上口面积为 6.66 m^2 ($3.33\text{ m}\times2.00\text{ m}$),深度为 3.00 m ,有底,测坑之间由混凝土墙隔开。测坑 $0\sim100\text{ cm}$ 土壤平均容重为 1.51 g/cm^3 ,饱和含水率和田间持水率分别为 $0.41\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 和 $0.30\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (体积含水率,下同),凋萎系数为 $0.075\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。土壤基本理化性质见表 1 所示。

表 1 土壤基本理化性质

土层深度 /(cm)	全氮 /(g/kg)	全磷 /(g/kg)	全钾 /(g/kg)	有机质 /(g/kg)	CEC /(mmol/kg)	pH	土壤质地
0~20	0.29	0.43	20.90	2.60	249	8.85	粉质壤土
20~60	0.29	0.50	20.00	2.64	228	8.90	
60~100	0.42	0.56	19.80	5.69	238	8.50	

1.2 试验设计

试验设置灌溉定额和灌溉水矿化度两种因素,灌溉定额因素设置 3 种水平:S(充分灌溉,灌溉定额 = ET_c)、D(轻度缺水,灌溉定额 = $2/3ET_c$)、DD(重度缺水,灌溉定额 = $1/2 ET_c$)。 ET_c 为作物需水量,利用 Penman – Monteith 公式计算得到的 ET_0 再乘以春玉米作物系数 K_c 得到玉米全生育期 ET_c 累计值为 $510\text{ mm}^{[10]}$ 。同时,设置 3 种灌溉水矿化度水平,分别为 F(淡水灌溉,灌溉水矿化度为 0.71 g/L)、3(灌溉水矿化度为 3.00 g/L)、6(灌溉水矿化度为 6.00 g/L)。其中 0.71 g/L 、 3.00 g/L 和 6.00 g/L 代表石羊河流域上、中、下游典型地区的地下水矿化度。试验采用完全随机区组设计,共设 9 个处理,分别为 SF(对照)、S3、S6、DF、D3、

D6、DDF、DD3 和 DD6,受试验地条件所限,每个处理重复 2 次,共设置 18 个小区,每个测坑为一个小区。根据春玉米不同生育阶段,结合当地灌溉经验,设置灌溉制度见表 2 所示。本试验所用的淡水是通过水泵抽取当地地下水得到,咸水是采用质量比为 2: 2: 1 的 NaCl、 $MgSO_4$ 和 $CaSO_4$ 混合地下水配制而成,每次灌溉水量利用水表控制。供试作物是品种为“金穗 1 号”的当地春玉米,于 2011 年 4 月 22 日播种,9 月 12 日收获,全生育期 143 天。每个小区按 8 列 6 行进行播种,共计 48 株,玉米行距 35 cm ,株距 25 cm 。播种前需要对试验地进行施肥,按磷酸二铵 40 kg/亩 ,尿素 20 kg/亩 ,钾肥 15 kg/亩 的标准施肥,其他农艺措施均参照当地实际情况进行。2011 年春玉米全生育期内降雨量为 119 mm 。

表 2 各处理灌溉制度

处理	灌溉水矿化度 /(g/L)	灌水定额 /mm				灌溉定额 /mm
		6 月 6 日	6 月 25 日	7 月 16 日	8 月 13 日	
SF	0.71	120	135	135	120	510
DF	0.71	80	90	90	80	340
DDF	0.71	60	67	67	60	255
S3	3.00	120	135	135	120	510
D3	3.00	80	90	90	80	340
DD3	3.00	60	67	67	60	255
S6	6.00	120	135	135	120	510
D6	6.00	80	90	90	80	340
DD6	6.00	60	67	67	60	255

1.3 测定项目与方法

2011 年试验期间分别在春玉米播种前、收获后通过土钻田间分层获取土样,取土深度为 100 cm ,共分为 6 层,分别为 $0\sim10\text{ cm}$ 、 $10\sim20\text{ cm}$ 、 $20\sim40\text{ cm}$ 、 $40\sim60\text{ cm}$ 、 $60\sim80\text{ cm}$ 和 $80\sim100\text{ cm}$,每次取完样后回填钻孔并做标记,采用烘干法测定土壤含水率。春玉米出苗后

开始观测春玉米生长发育形状,记录各生育阶段的起止日期。收获后进行测产,每个试验处理的所有玉米进行脱粒并晒干后再称重得到每个处理的产量,然后再折算为 kg/hm^2 。

1.4 耗水量计算公式

采用水量平衡方程计算耗水量,水量平衡方程表示

为:

$$ET = P_0 + I - \Delta W - L - R + D \quad (1)$$

$$\Delta W = 10 \times rH(W_1 - W_0) \quad (2)$$

式中, ET 为生育期总耗水量(mm); P_0 为降雨量(mm); I 为灌溉量(mm); ΔW 为土壤水分变化量(mm); W_0 、 W_1 分别为播前和收获时土壤质量含水率(%); 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; R 为测坑与周围环境的地面径流交换量, 包括测坑灌溉时流出, 以及其他区域灌溉时流入两个维度的交换量, 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 100 cm; r 为土壤平均容重(g/cm^3); D 为 0~100 cm 土层底部的水分交换量(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。

水分利用效率采用下列公式计算:

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (3)$$

式中: WUE 为水分利用效率(kg/m^3); Y 表示春玉米产量(kg/hm^2)。

灌溉水分利用效率采用下列公式计算:

$$IWUE = \frac{Y_i - Y_n}{I} \quad (4)$$

式中: $IWUE$ 为灌溉水利用效率(kg/m^3); 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 灌溉定额与灌溉水矿化度对春玉米耗水量的影响

图 1 为不同处理不同土层的土壤水分变化量, 土壤水分变化量采用收获后与播种前土壤储水量之差计算, 计算值为负值即土壤水分被利用, 计算值为正即土壤水分增加, 计算深度为 100 cm。充分灌溉条件下, 除灌溉水矿化度为 6.00 g/L 水灌溉处理的表层土层土壤水分增加外, 其余处理不同土层的土壤水分均被利用, 且对土壤贮水利用量为: 0.71 g/L 水灌溉 > 3.00 g/L 水灌溉 > 6.00 g/L 水灌溉。这是因为咸水灌溉会对春玉米根系造成不同程度的盐分胁迫, 抑制根系吸水能力, 进而降低土壤贮水利用量。轻度缺水灌溉条件下, 不同灌溉水矿化度处理的土壤水分变化规律与充分灌溉条件下相似, 对土壤贮水利用量同样为: 0.71 g/L 水灌溉 > 3.00 g/L 水灌溉 > 6.00 g/L 水灌溉, 并且实际土壤贮水利用量也与充分灌溉条件下差异不大, 但是由于轻度缺水灌溉的总耗水量要小于充分灌溉, 所以土壤贮水利用量对总耗水量的贡献比例要大于充分灌溉。重度缺水灌溉条件下, 由于各处理在春玉米生育期内灌溉定额较小, 土壤水分变化量差异较小, 土壤贮水利用量整体表现出淡水灌溉处理大于咸水灌溉处理。由此可见, 咸水灌溉由于盐分胁迫的作用会降低土壤贮水利用量, 而非充分灌溉能够提高土壤播前贮水利用量。因此, 在研究区进行咸水灌溉时, 为了保证充分利用土壤贮水, 应该适当降低灌溉定额。

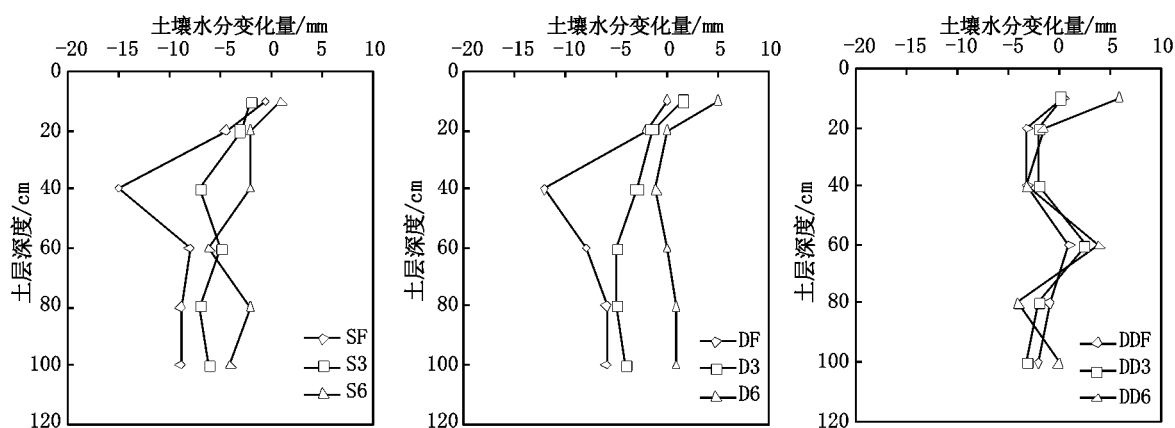


图1 各处理不同土层的土壤水分变化量

表 3 为不同处理春玉米全生育期的耗水量。春玉米的耗水量主要受到灌溉定额、灌溉水矿化度和土壤水分消耗量的影响。灌溉定额对耗水量的影响最大, 灌溉定额越大春玉米的耗水量也越大。SF 处理春玉米的耗水量最高, 达 683 mm。与之相比, DF 处理和 DDF 处理的耗水量分别降低了 27.4% 和 44.0%; 灌溉水矿化度

为 3.00 g/L 水灌溉条件下, D3 和 DD3 处理的耗水量分别比 S3 处理降低 27.9% 和 43.1%; 灌溉水矿化度为 6.00 g/L 水灌溉条件下, 相同对比情况下降低了 28.5% 和 41.4%。充分灌溉条件下, 春玉米的根系更容易吸水, 有利于作物的蒸腾作用, 进而向春玉米茎、叶、穗输送更多的营养物质, 作物的营养生长和生殖生

长都相对强劲,所以耗水量比较大。春玉米的耗水量随灌溉水矿化度的增大而减小,充分灌溉条件下,灌溉水矿化度为 3.00 g/L 水和 6.00 g/L 水灌溉处理的耗水量分别比淡水灌溉降低了 2.9% 和 6.8%;轻度缺水灌溉条件下,相同对比情况下降低了 3.5% 和 8.2%;重度缺水灌溉条件下,相同对比情况下降低了 1.2% 和 2.4%。由此可见,春玉米耗水量随着灌溉定额的增大而增大,随着灌溉水矿化度的增大而减小。因此,在研究区制定春玉米灌溉制度的时候,为了充分利用土壤贮水,达到节水灌溉的目的,应适当减少灌溉定额和采用低灌溉水矿化度的咸水进行灌溉。

表 3 不同处理春玉米的耗水量 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
SF	119	510	-46	-7.7	683
S3	119	510	-30	-4.1	663
S6	119	510	-3	-4.4	636
DF	119	340	-34	-2.9	496
D3	119	340	-17	-2.3	478
D6	119	340	6	-2.2	455
DDF	119	255	-8	-0.7	382
DD3	119	255	-3	-0.6	378
DD6	119	255	2	-0.2	373

2.2 灌溉定额与灌溉水矿化度对春玉米水分利用效率的影响

表 4 为不同处理春玉米水分利用效率和灌溉水分利用效率。春玉米水分利用效率主要受到耗水量和产量的影响,是表示作物对土壤水分吸收利用过程效率的一个指标。由表 4 可知,非充分灌溉处理的水分利用效率普遍大于充分灌溉处理。灌溉水矿化度为 0.71 g/L 水灌溉条件下,充分灌溉处理的水分利用效率最低为 2.23 kg/m³,轻度缺水灌溉和重度缺水灌溉处理的水分利用效率分别比充分灌溉处理增加了 30.2% 和 20.0%;灌溉水矿化度为 3.00 g/L 水灌溉条件下,轻度缺水灌溉和重度缺水灌溉处理的水分利用效率分别比充分灌溉处理增加了 13.6% 和 27.4%;灌溉水矿化度为 6.00 g/L 水灌溉条件下,相同对比情况下增加了 10.5% 和 11.4%。可见,一定程度的非充分灌溉有利于提高作物的水分利用效率,本次试验春玉米水分利用效率最大为 DF 处理,最大值为 2.90 kg/m³。随着灌溉水矿化度的增加,春玉米的水分利用效率呈下降趋势。充分灌溉条件下,灌溉水矿化度为 3.00 g/L 水灌溉和 6.00 g/L 水灌溉处理的水分利用效率分别比淡水灌溉

处理降低了 11.9% 和 11.5%;轻度缺水灌溉条件下,灌溉水矿化度为 3.00 g/L 水灌溉和 6.00 g/L 水灌溉处理的水分利用效率分别比淡水灌溉处理降低了 23.1% 和 24.8%;重度缺水灌溉条件下,相同对比情况下则降低了 6.5% 和 17.9%。咸水灌溉会对春玉米造成不同程度的盐分胁迫,而盐分胁迫会抑制春玉米的生长,导致春玉米产量的降低,在耗水量减少有限的情况下,咸水灌溉处理春玉米的水分利用效率也会降低。春玉米的灌溉水分利用效率具有与水分利用效率相似的规律。随着灌溉水矿化度的增加,灌溉水分利用效率逐渐减小,以轻度缺水灌溉为例,DF 处理的灌溉水分利用效率为最大,最大值为 4.23 kg/m³,D3 和 D6 处理的灌溉水分利用效率分别比 DF 处理降低了 25.8% 和 31.0%;非充分灌溉处理的灌溉水分利用效率高于充分灌溉处理,以灌溉水矿化度为 3.00 g/L 水灌溉处理为例,S3 处理的灌溉水分利用效率为 2.55 kg/m³,D3 和 DD3 处理的灌溉水分利用效率分别比 S3 处理增加了 23.1% 和 45.5%。综上所述,非充分灌溉有利于提高春玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率,而咸水灌溉会降低春玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率,本次试验 DF 处理的水分利用效率和灌溉水分利用效率分别比 SF 处理提高了 30.1% 和 29.6%。因此,在研究区进行农田灌溉时,为了合理利用咸水资源和达到节水灌溉的目的,应当适当减少灌溉定额和采用低灌溉水矿化度的咸水进行灌溉,可以提高春玉米水分利用效率和灌溉水分利用效率。

表 4 不同处理春玉米的水分利用效率与灌溉水分利用效率

处理	耗水量 /mm	产量/(kg/hm ²)	水分利用效率 /(kg/m ³)	灌溉水利用效率/(kg/m ³)
SF	683	15 220.0	2.23	2.98
S3	663	13 030.0	1.97	2.55
S6	636	12 559.0	1.97	2.46
DF	496	14 391.0	2.90	4.23
D3	478	10 678.0	2.23	3.14
D6	455	9 929.0	2.18	2.92
DDF	382	10 230.0	2.68	4.01
DD3	378	9 452.0	2.50	3.71
DD6	373	8 195.0	2.20	3.21

3 结 论

(1)春玉米耗水量随着灌溉定额的增大而增大,随

着灌溉水矿化度的增大而减小,而从充分利用土壤贮水的角度考虑,非充分灌溉能够提高土壤播前贮水的利用量,咸水灌溉由于盐分胁迫作用则会降低土壤贮水利用量。

(2)春玉米水分利用效率和灌溉水分利用效率规律表明:非充分灌溉有利于提高春玉米水分利用效率和灌溉水分利用效率,而咸水灌溉会降低春玉米水分利用效率和灌溉水分利用效率。本次试验 DF 处理的水分利用效率和灌溉水分利用效率最大值分别为 2.90 kg/m^3 和 4.23 kg/m^3 , DF 处理的水分利用效率和灌溉水分利用效率分别比 SF 处理提高了 30.1% 和 29.6%。与淡水充分灌溉处理相比,在研究区若采用灌溉定额为 340 mm 和灌溉水矿化度为 0.71 g/L 的灌溉方式,春玉米的水分利用效率和灌溉水分利用效率可提高 25% 以上,同时可节水 170 mm。

参考文献:

[1] 魏育国,陈雷,蒋菊芳,等. 灌溉方式和播期对地膜春玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(6):203~208.

- [2] 王利书,悦琳琳,唐泽军等. 气候变化和农业发展对石羊河流域地下水位的影响[J]. 农业机械学报,2014,45(1):121~128.
- [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水盐运动 SWAP 模型模拟[J]. 农业工程学报,2014,30(20):72~82.
- [5] 王辉. 我国微咸水灌溉研究进展[J]. 节水灌溉,2016(6):59~63.
- [6] 张俊鹏,冯棣,曹彩云,等. 咸水灌溉对棉花耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(6):107~112.
- [7] 张济斌. 咸水灌溉对小麦耗水特性及土壤水盐分布的影响[D]. 太原:太原理工大学,2016.
- [8] Wang Qingming, Huo Zailin, Zhang Liudong, et al. Impact of saline water irrigation on water use efficiency and soil salt accumulation for spring maize in arid region of China[J]. Agricultural Water Management, 2016;163:125~138.
- [9] 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.
- [10] Jiang Jing, Feng Shaoyuan, Ma Juanjuan, et al. Irrigation management for spring maize grown on saline soil based on SWAP model[J]. Field Crop Research, 2016,196:85~97.

编辑:张绍付

A study on the effect of irrigation norm and water salinity on water use efficiency for spring maize

YUAN Chengfu

(Department of Hydraulic Engineering, Jiangxi Water Resources Institute, Nanchang 330013, China)

Abstract: A field experiment was conducted to study on the effects of irrigation norm and water salinity on water use efficiency for spring maize under saline water irrigation in Shiyang River basin of Gansu province. The research results showed that the water consumption of spring maize gradually increased with irrigation norm increased. With the increased of irrigation water salinity, the water consumption of spring maize decreased. The deficit irrigation could improve soil water storage and saline water irrigation could decrease soil water storage from soil water – holding capacity considering. The deficit irrigation could improve water use efficiency and irrigation water use efficiency and saline water irrigation could decrease water use efficiency and irrigation water use efficiency of spring maize. The maximum water use efficiency and irrigation water use efficiency of spring maize was deficit irrigation with fresh water treatment and the maximum value was 2.90 kg/m^3 and 4.23 kg/m^3 , respectively. When irrigation norm was 340 mm and irrigation water salinity was 0.71 g/L , water use efficiency and irrigation water use efficiency of spring maize increased above 25%, and also 170 mm of water has been saved compared with sufficient irrigation and fresh water treatment in study district.

Key words: Irrigation norm; Irrigation water salinity; Spring maize; Water consumption; Water use efficiency

翻译:袁成福