

微咸水-淡水交替灌溉对玉米生长指标及产量的影响

郑君玉¹, 朱成立^{1,2}, 翟亚明^{1,2}

(1.河海大学 水利水电学院, 南京 210098;

2.南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京 210098)

摘 要:以隆平206玉米品种为载体进行了温室避雨盆栽试验,试验设计“咸-淡-淡”、“淡-咸-淡”和“淡-淡-咸”3种交替灌溉模式,即分别在壮苗期、拔节期、抽雄—乳熟期3个阶段灌溉微咸水,微咸水矿化度设计为1、3和5 g/L,监测生长生理和产量指标。结果表明,任一时期灌溉矿化度1 g/L微咸水对玉米株高、叶面积、SPAD和产量影响不明显;随微咸水矿化度的增加,玉米受抑制作用增强;微咸水灌溉后壮苗期玉米株高、叶面积、SPAD受影响显著,由于玉米前期补偿生长能力强,随生长推进,壮苗期微咸水灌溉处理与CK间差异逐渐减小,玉米株高、叶面积、SPAD受抑制最显著的为拔节期微咸水灌溉处理,其次是壮苗期,抽雄—乳熟期最小;对玉米产量影响最大的是抽雄—乳熟期微咸水灌溉处理,其次是拔节期,壮苗期影响最小,故生殖生长阶段不宜采用微咸水灌溉;滨海农区可根据淡水、微咸水资源的时空分布特征设计交替灌溉制度,利用淡水灌溉的补偿效应确保玉米产量。

关 键 词:微咸水; 交替灌溉; 玉米; 盆栽试验; 沿海农区

中图分类号:S274

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.04.007

郑君玉,朱成立,翟亚明.微咸水-淡水交替灌溉对玉米生长指标及产量的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(4):37-41.

0 引 言

我国滨海地区农业发展潜力巨大,但该地区农业水资源以微咸水为主,科学利用微咸水灌溉是缓解滨海农区淡水资源缺乏问题、实现农业高产稳产的有效途径。玉米是一种被广泛种植、具有较强盐碱耐性的粮食作物,因此研究微咸水灌溉对玉米生长与产量的影响具有重要现实意义。已有研究^[1-3]表明,玉米在不同生育期耐盐性不同,其增减产程度与微咸水矿化度、微咸水灌溉时期相关。矿化度较低的灌溉水对玉米生长影响不显著^[4],甚至有促进作用^[5]。当灌溉水矿化度高于一定阈值,玉米的生理生化 and 形态特征会发生变化,如株高和茎粗受到抑制,叶面积指数降低^[6-7],光合速率、蒸腾速率、气孔组里叶绿素量受到影响^[8],干物质积累及产量降低^[9-10]。但是不同研究给出了不同的矿化度阈值。张展羽等^[5]研究表明,玉米苗期进行微咸水灌溉,矿化度低于3 g/L时,对幼苗生长没有影响甚至有促进作用,当微咸水矿化度大于3 g/L时,光合作用明显受到抑制。而杨建国等^[11]研究表明3 g/L微咸水灌溉对春玉米叶面积、株高、叶绿素、干物质质量、产量均有不良影响。王军涛等^[12]研究表明,玉米拔节期进行微咸水灌溉,玉米的产量、百粒质量、干物质质量随灌溉水矿化度的增加(≥ 3 g/L)呈下降趋势。

以往研究多以玉米单个时期或全生育期为对象,讨论了微咸水灌溉对玉米生理生化和产量的影响,但主要采用了微咸水直接灌溉或微咸水淡水混合灌溉的模式,对微咸水-淡水交替灌溉模式研究较少。为此,通过温室玉米盆栽试验,探讨不同生育期不同矿化度微咸水灌溉对玉米生长发育及产量的影响,以为合理开发玉米微咸水-淡水交替灌溉模式提供一定科学依据。

收稿日期:2016-05-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51409086);江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20130838)

作者简介:郑君玉(1991-),女,安徽安庆人。硕士研究生,主要从事水土资源规划、农田灌溉与排水。E-mail: 506094452@qq.com

通信作者:翟亚明(1982-),男,江苏泰州人。讲师,主要从事水土资源规划、农田灌溉排水、土地整理节水灌溉理论与技术等方面的研究。
E-mail: 332155763@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试玉米品种为隆平 206,于 2015 年 7—10 月在河海大学节水园区温室内进行盆栽试验。盆栽桶高 50 cm,直径 40 cm,供试土壤为附近耕层土,自然风干,过 2 mm 筛后装桶,每桶装土 45 kg,压实至同一深度(体积质量为 1.25 g/cm³),均匀施肥,每桶施尿素 6.66 g,有机肥 51.14 g,硫酸钾 2.66 g,磷酸二氢钾 7.78 g。玉米成熟期每桶追施 4.5 g 尿素。播种培育至壮苗开始进入灌水试验期。

以微咸水矿化度和玉米生育期为双因素进行完全试验,矿化度设置 1、3、5 g/L 三个水平,生育期依次划分为壮苗期、拔节期、抽雄—乳熟 3 个阶段,以完全淡水灌溉为对照(CK),共 10 个处理(表 1),每个处理 3 个重复。微咸水灌溉制度设计见表 2。试验期间定期测定株高、叶面积、叶绿素等指标,收获时测定玉米穗的产量指标(穗质量和百粒质量)及形态指标(穗长、穗粗、秃尖长)。

表 1 各处理微咸水-淡水交替灌溉试验方案										g/L
生育期	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
壮苗期(1~24 d)	F	1	3	5	F	F	F	F	F	F
拔节期(25~39 d)	F	F	F	F	1	3	5	F	F	F
抽雄—乳熟期(40~61 d)	F	F	F	F	F	F	F	1	3	5

注 天数自试验期始计,F 代表淡水灌溉,数字代表不同矿化度微咸水灌溉。

表 2 各处理灌溉定额												L
日期	0710	0716	0723	0727	0801	0806	0811	0816	0821	0825	0902	0910
CK	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
T1 处理	2	3 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4	4	4	4	4	4	4
T2 处理	2	3 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4	4	4	4	4	4	4
T3 处理	2	3 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4	4	4	4	4	4	4
T4 处理	2	3	4	4	4 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4	4	4	4
T5 处理	2	3	4	4	4 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4	4	4	4
T6 处理	2	3	4	4	4 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4	4	4	4
T7 处理	2	3	4	4	4	4	4	4 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4
T8 处理	2	3	4	4	4	4	4	4 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4
T9 处理	2	3	4	4	4	4	4	4 [#]	4 [#]	4 [#]	4	4

注 带#是灌微咸水的处理,其他是淡水处理,数字代表灌溉水量。

1.2 指标测定方法

株高指植株自然状态下最高点至根茎部的垂直高度,采用垂线测量,测 3 次,取均值。叶面积采用 LI-3000A 叶面积仪测定第二片展开叶,测 3 次,取均值。叶绿素采用 502 叶绿素仪测定第二片展开叶,测前叶片擦拭干净,测定 5 次,取均值。玉米穗的质量用 0.01 g 精度天平测量,形态指标用游标卡尺测定。

1.3 数据分析

用 Excel 进行数据记录和整理,用 SPSS 19.0 进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 咸淡水交替灌溉模式对植株生长生理的影响

由表 3 可知,微咸水矿化度和灌水时期对玉米株高有不同程度的影响。与 CK 相比,矿化度为 1 g/L 的微咸水对玉米株高影响较小甚至具有一定的促进作用($P<0.05$);矿化度为 3、5 g/L 时,株高明显受到抑制,且后者的抑制作用强于前者($P<0.05$),主要是因为灌溉水矿化度越高,土壤溶液渗透压越高,对玉米产生的盐胁迫作用越明显,从而影响玉米植株生长^[13]。在不同生育期进行微咸水灌溉后,淡水灌溉对玉米株高有补偿效应,但微咸水灌溉越晚,补偿效应越弱。“咸-淡-淡”交替灌溉模式下,拔节期(07-29),与 CK 株高相比,T1 处理高 8.16%,T2、T3 处理低 12.93%、28.91%;抽雄期(08-12),T1 处理高 1.88%,T2、T3 处理分别低 4.71%、10.36%;乳熟期(08-26),T1 处理高 1.52%,T2、T3 处理分别低 2.90%、4.15%。显然,随生育期推移,微咸水灌溉对玉米株高的促进或抑制作用均逐渐减弱,此为淡水灌溉的补偿效应。“淡-咸-淡”交替灌溉模式下,抽雄期(08-12),与 CK 株高相比,T4 处理高 1.13%,T5、T6 处理分别低 11.30%、24.86%;乳熟期(08-26),T4 处理高

1.11%，T5、T6 处理分别低 8.02%、16.60%。“淡-淡-咸”交替灌溉模式下，乳熟期(08-26)，与 CK 株高相比，T7 处理高 0.42%，T8、T9 处理分别低 5.58%、12.97%；恢复淡水灌溉后(09-03)，T7 处理高 0.41%，T8、T9 处理分别比 CK 低 5.39%、12.86%，几乎无补偿效应，此时玉米已由营养生长转化为生殖生长，株高变化不大。综上，微咸水矿化度 1 g/L 对玉米株高具弱促进作用，3 g/L 的抑制作用明显，但小于 5 g/L 的抑制作用，交替灌溉模式对玉米株高最终的影响程度为“淡-咸-淡”>“淡-淡-咸”>“咸-淡-淡”。

表 3 各处理不同时期玉米的株高

	cm							
日期	0715	0722	0729	0805	0812	0819	0826	0903
CK	30.33a	63.00a	98.00b	135.00b	177.00a	219.00a	239.00b	241.00a
T1 处理	30.00a	64.00a	106.00a	140.67a	180.33a	222.67a	242.67a	244.67a
T2 处理	29.67a	57.00b	85.33c	125.00c	168.67b	211.33b	232.00c	234.00b
T3 处理	31.00a	50.67c	69.67d	110.33d	158.67c	204.00c	226.00d	231.00bc
T4 处理	29.00a	62.00a	97.00b	136.00b	179.00a	221.67a	241.67ab	243.67a
T5 处理	30.67a	64.00a	99.00b	125.00c	157.00c	197.33d	219.67e	221.67d
T6 处理	29.67a	62.67a	98.67b	114.00d	133.00d	173.00e	197.00g	201.00f
T7 处理	30.33a	63.33a	100.00b	136.67ab	178.33a	220.00a	240.00ab	242.00a
T8 处理	29.67a	63.67a	99.33b	135.33b	177.67a	209.00bc	225.67d	228.00c
T9 处理	29.33a	62.67a	98.33b	134.00b	176.00a	193.00d	208.00f	210.00e

注 表中同一列数值后字母标记不同表明差异显著($P<0.05$)，下同。

由表 4 可知，玉米植株叶面积受微咸水矿化度和灌水时期的影响与株高相似。与 CK 相比，矿化度为 1 g/L 的微咸水对玉米叶面积影响不明显($P>0.05$)，矿化度为 3、5 g/L 时，叶面积均明显受到抑制($P<0.05$)，后者作用强于前者。不同交替灌溉模式对叶面积的影响程度不同，微咸水灌溉后的淡水灌溉对叶面积也有一定补偿效应。“咸-淡-淡”交替灌溉模式下，拔节期(07-29)，与 CK 相比，T1 处理高 1.59%，T2、T3 处理分别低 5.38%、13.23%；乳熟期(08-26)，T1 处理高 0.85%，T2、T3 处理分别低 1.69%、2.65%。“淡-咸-淡”交替灌溉模式下，抽雄期(08-12)，与 CK 相比，T4 处理高 1.40%，T5、T6 处理分别低 4.01%、8.22%；乳熟期(09-03)，T4 处理高 0.68%，T2、T3 处理分别低 2.82%、5.08%。“淡-淡-咸”交替灌溉模式下，乳熟期(08-26)，T7 处理高 0.52%，T8、T9 处理分别低 1.92%、4.01%；恢复淡水灌溉后(09-03)，T7 处理高 0.51%，T8、T9 处理分别低 2.03%、4.06%。综上，微咸水矿化度 1 g/L 对玉米叶面积有微弱促进作用，3 g/L 的抑制作用明显但小于 5 g/L 的抑制作用，交替灌溉模式对玉米叶面积最终的影响程度为“淡-咸-淡”>“淡-淡-咸”>“咸-淡-淡”。

表 4 各处理不同时期玉米叶面积

	cm ²							
日期	0715	0722	0729	0805	0812	0819	0826	0903
CK	210bcd	276abc	378abc	442bc	499cd	546b	574b	591b
T1 处理	214a	280a	384a	447a	504ab	551a	579a	596a
T2 处理	209cde	266e	358d	426e	486e	535d	564c	581c
T3 处理	213ab	251f	328e	414f	476f	527f	557d	575d
T4 处理	208de	273cd	377bc	444ab	506a	551a	578a	595a
T5 处理	206e	279a	380abc	436d	479f	529ef	557d	574d
T6 处理	212abc	276abc	383ab	428e	458g	511g	544f	561f
T7 处理	211abcd	274bcd	375c	441bc	497d	547b	577ab	594ab
T8 处理	213ab	271d	376c	444ab	501bc	540c	563c	579c
T9 处理	208de	278ab	379abc	439cd	498cd	531e	551e	567e

由表 5 可知，不同交替灌溉模式下，微咸水矿化度对玉米 SPAD 的影响都表现为：1 g/L 影响不明显，3、5 g/L 有抑制作用，5 g/L 的抑制作用强于 3 g/L。“咸-淡-淡”交替灌溉模式下，拔节期(07-29)，与 CK 相比，T1 处理高 1.47%，T2、T3 处理分别低 4.34%、11.94%；乳熟期(09-03)，T1 处理高 0.99%，T2、T3 处理分别低 0.99%、2.33%。“淡-咸-淡”模式下，抽雄期(08-12)，与 CK 相比，T4 处理高 1.14%，T5、T6 处理分别低 3.75%、10.10%；乳熟期(09-03)，T4 处理高 1.04%，T5、T6 处理分别低 2.23%、8.63%。“淡-淡-咸”交替灌溉模式下，乳熟期(08-26)，与 CK 相比，T7 处理高 0.25%，T8、T9 处理分别低 1.41%、4.29%，恢复淡水灌溉后(09-03)，T7 处理高 0.30%，T8、T9 处理分别低 1.49%、3.42%。综上，微咸水矿化度 1 g/L 对玉米叶绿素有弱促进作用，3 g/L 的抑制作用明显但小于 5 g/L 的抑制作用，交替灌溉模式对玉米叶绿素最终的影响程度为“淡-咸-淡”>“淡-

淡-咸”>“咸-淡-淡”。

表 5 各处理不同时期玉米 SPAD 值

日期	0715	0722	0729	0805	0812	0819	0826	0903
CK	41.5ab	44.9a	50.0bcd	56.1ab	61.4bc	63.9b	66.0b	67.2a
T1 处理	41.3b	45.3a	50.7a	56.7a	62.1a	64.6a	66.7a	67.9a
T2 处理	41.6ab	43.4b	47.8e	54.9d	60.2d	63.1c	65.2c	66.5b
T3 处理	41.5ab	41.8c	44.0f	52.6e	58.4f	61.4e	63.6d	65.6c
T4 处理	41.1b	44.7a	50.3ab	56.8a	62.1a	64.6a	66.7a	67.9a
T5 处理	41.6ab	45.1a	49.7cd	55.1cd	59.1e	61.9de	63.5d	65.7c
T6 处理	41.3b	44.5a	49.4d	53.2e	55.2g	58.3f	60.2e	61.4e
T7 处理	41.9a	44.7a	49.6cd	56.0b	61.4bc	64.1ab	66.2ab	67.4a
T8 处理	41.5ab	45.0a	50.4ab	55.7bc	61.1c	63.6bc	65.1c	66.2bc
T9 处理	41.4ab	45.1a	50.2abc	56.2ab	61.7ab	62.4d	63.2d	64.9d

2.2 咸淡水交替灌溉对产量及穗部形态的影响

各处理玉米产量指标(穗质量、百粒质量)和穗部形态特征参数见表 6。每株玉米收获 1 穗,各处理平均穗质量和百粒质量的变化趋势完全一致,不同交替灌溉模式下,随微咸水矿化度升高,玉米产量明显降低,表现为 CK=(T1、T4、T7 处理)1 g/L>(T2、T5、T8 处理)3 g/L>(T3、T6、T9 处理)5 g/L,3 种灌溉模式大小为“咸-淡-淡”>“淡-咸-淡”>“淡-淡-咸”,表明微咸水矿化度越高、咸水灌水越靠后,减产越严重,如 T9 处理的穗质量减产率达 32.9%,穗粒减产达 17.7%。微咸水灌溉导致的玉米减产也体现在玉米穗的形态特征上,穗长、穗粗越小,产量必然越低,秃尖越长表明玉米穗越不饱满。与 CK 相比,矿化度 1 g/L(T1、T4、T7 处理)对玉米的穗长、穗粗、秃尖长影响不明显,3 g/L(T2、T5、T8 处理)明显使得玉米穗长变短、穗粗变细、秃尖变长,5 g/L(T3、T6、T9 处理)的作用更明显。微咸水矿化度越高、咸水灌水越靠后,导致玉米穗的外观形态越差。

表 6 各处理玉米产量及穗部形态参数对比

处理	穗长/cm	秃尖长/cm	穗粗/cm	百粒质量/g	穗质量/(g·株 ⁻¹)
CK	16.6ab	1.9b	4.6ab	24.44a	123.50a
T1	16.9a	1.5a	4.6a	24.43a	123.37a
T2	16.0c	1.8b	4.4cd	23.44b	114.86b
T3	15.4d	2.2c	4.3e	22.26d	105.72d
T4	16.8a	1.8b	4.5abc	24.55a	126.18a
T5	15.4d	2.0bc	4.4cd	23.33b	113.51bc
T6	14.2e	2.2c	4.2f	21.29e	99.01e
T7	16.4bc	2.0bc	4.8bcd	24.37a	124.30a
T8	15.1d	2.2c	4.4d	22.78c	109.81c
T9	13.8e	2.5d	4.1f	20.11f	82.90f

3 结论与展望

- 1)试验条件下,矿化度为 1 g/L 的灌溉水对玉米植株株高、叶面积、产量及穗部形态影响不明显,而矿化度为 3、5 g/L 的微咸水对玉米株高、叶面积、产量和穗部形态均有明显抑制作用,且抑制作用随微咸水矿化度的增加而增大。
- 2)交替灌溉模式对玉米生长的影响程度大小为“淡-咸-淡”>“淡-淡-咸”>“咸-淡-淡”,对产量的影响程度大小为“淡-淡-咸”>“淡-咸-淡”>“咸-淡-淡”,“咸-淡-淡”交替灌溉模式对玉米生长生理和产量的影响最小,对生长影响最大的模式为“淡-咸-淡”,对产量影响最大的灌溉模式则是“淡-淡-咸”,说明玉米生殖生长期不宜使用微咸水灌溉。
- 3)若农业经营者以减产不超过 10%为可接受范围,则可在“咸-淡-淡”交替灌溉模式下用矿化度为 5 g/L 甚至更高一点的咸水进行灌溉,或者在“淡-咸-淡”交替模式下用矿化度低于 5 g/L 的微咸水进行灌溉,而在“淡-淡-咸”交替模式下,灌溉水矿化度不宜高于 3 g/L。
- 因此,在滨海淡水资源季节性匮乏的地区,可根据微咸水的矿化度选择合适的交替灌溉模式降低玉米减产,减少农业损失。研究结果是基于盆栽试验得出的,与大田存在一定差异,后期需进一步开展大田试验研究。

参考文献:

- [1] AYARS J E, CHRISTEN E W, HORNBUCKLE J W. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 86 (1): 128-139.
- [2] 米迎宾, 屈明, 杨劲松, 等. 咸淡水轮灌对土壤盐分和作物产量的影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2010, 29(6): 83-86.
- [3] 马文军, 程琴娟, 李良涛, 等. 微咸水灌溉下土壤水盐动态及对作物产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 73-80.
- [4] 李红, 李庆朝. 微咸水灌溉对小麦、玉米及土壤盐分的影响[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2007, 38(1): 72-74.
- [5] 张展羽, 郭相平. 微咸水灌溉对苗期玉米生长和生理性状的影响[J]. *灌溉排水*, 1999, 18(1): 18-22.
- [6] 焦艳平, 高巍, 潘增辉, 等. 微咸水灌溉对河北低平原土壤盐分动态和小麦、玉米产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(2): 134-140.
- [7] 季泉毅, 冯绍元, 霍再林, 等. 咸水灌溉对土壤盐分分布和物理性质及制种玉米生长的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2016, 35(3): 20-25.
- [8] 王毅萍, 周金龙, 郭晓静. 我国咸水灌溉对作物生长及产量影响研究进展与展望[J]. *中国农村水利水电*, 2009(9): 4-7.
- [9] 刘颖, 赵新宇, 姜素云. 微咸水灌溉对玉米生长特性和产量影响研究[J]. *科学技术与工程*, 2011, 11(30): 7 497-7 499.
- [10] 杨凯歌, 霍再林, 齐艳冰. 咸水灌溉对制种玉米生长及土壤盐分的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(1): 1-5.
- [11] 杨建国, 樊丽琴, 邵日坤, 等. 微咸水灌溉对土壤盐分和春玉米生长发育的影响[J]. *浙江农业学报*, 2010, 22(6): 813-817.
- [12] 王军涛, 李强坤. 黄河下游地区微咸水灌溉利用研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2013, 24(5): 149-151.
- [13] RAMOS T B, ŠIMUNEK J, GONÇALVES M C, et al. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 111(4): 87-104.

Impact of Alternating Irrigation Using Saline and Fresh Water on Maize Growth and Its Yield

ZHENG Junyu¹, ZHU Chengli^{1,2}, ZHAI Yaming^{1,2}

(1. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Key Laboratory of Efficient Irrigation-drainage and Agricultural Soil-water Environment in Southern China, Ministry of Education, Nanjing 210098, China)

Abstract: This paper investigated the impact of alternating fresh and saline water in irrigation on maize growth and its yield. We took Long Ping NO.206 maize as the model and grew it in a greenhouse. Three alternations were examined: ① Saline water - fresh water - fresh water, ② fresh water - saline water - fresh water, and ③ fresh water - fresh water - saline water. That is, the plants were irrigated with saline water at their seedling stage, jointing stage and the tasseling to milk stage respectively. The salinity of the saline water was 1, 3, 5 g/L. The growth and physiological traits of the plants were measured during their growth period. The results showed that irrigating by saline water with salinity of 1 g/L did not have noticeable impact on maize growth. An increase in salinity, however, could significantly affect the growth and physiological traits of the maize at seedling stage. As the plants grew, difference between the “saline water - fresh water - fresh water” alternation and the CK (fresh water irrigation only) decreased due to the strong compensation of the maize in its early growth stage. The most severe suppression to maize was in the “fresh water - saline water - fresh water” alternation, followed by saline-water irrigation at the seedling stage and the tasseling milk stage. Irrigating with saline water in the tasseling stage had the most severe influence on maize yield, followed by at the jointing and the seedling stages, suggesting that saline-water irrigation at reproductive stage should be avoided. In summary, alternating saline and fresh waters in irrigation can sustain maize yield in coastal farmlands if managed correctly both temporally and spatially.

Key words: brackish water; alternate irrigation; maize; pot experiment; coastal area

责任编辑: 白芳芳