

膜下滴灌灌溉制度对土壤水盐空间分布及玉米产量的影响

陈 选, 王忠波, 邵 敏, 张世伟, 谭智湘

(东北农业大学, 哈尔滨 150030)

摘 要:灌溉制度对土壤水盐分布具有密切的关系, 土壤水盐的分布又直接影响着作物产量。为了正确合理配置和利用水资源, 改善试验区生态环境, 减小肇州地区土壤含盐量对玉米产量造成的危害, 选择肇州县水利科学试验站作为试验地点, 试验结合膜下滴灌, 设置 4 个水平的灌溉定额(200、300、400 和 500 m³/hm²), 灌水次数分别为 2 次、3 次和 4 次, 测定并分析不同土层深度处土壤含水率、土壤可溶性盐浓度和玉米产量的变化。结果表明, 灌溉定额为 400 m³/hm²、灌水次数为 4 次时, 玉米产量达到最大, 且根系部位抑盐效果较好, 是肇州地区较为经济合理的灌溉制度。

关键词: 玉米; 膜下滴灌; 含水率; 含盐量; 产量

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Influence of Drip Irrigation System under Film on Spatial Distribution of Soil Water and Salt and Maize Yield

CHEN Xuan, WANG Zhong-bo, SHAO Min, ZHANG Shi-wei, TAN Zhi-xiang

(Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The irrigation system has a close relationship with the distribution of soil water and salt, and the distribution of soil water and salt directly affects crop yield. In order to correctly and rationally deploy and utilize water resources, improve ecological environment and reduce the harm of soil salinity to maize yield in Zhaozhou area of Heilongjiang, China, Zhaozhou water conservancy scientific research station was chosen as the test site. Combined with drip irrigation under film, the irrigation quota was set at four levels(200, 300, 400 and 500 m³/ha) and irrigation was implemented for two, three and four times, and the soil moisture in different soil depth, soil soluble salt concentration, and maize grain yield were determined and analyzed. The results showed that when the irrigation quota was 400 m³/ha and irrigation times were four times, the yield of maize reached the maximum, and the effect of salt inhibition on root parts was better, which was a more economical and reasonable irrigation system.

Key words: Maize; Drip irrigation under film; Water content; Salt content; Yield

传统地面灌溉由于大量水分的无效蒸发被逐渐摒弃。膜下滴灌作为一项新的节水灌溉技术, 使用地膜覆盖与滴灌相结合, 减小了棵间蒸发, 提高了土壤温度, 还可减少深层渗漏, 有利于作物的节水增产。肇州县是黑龙江省重点干旱的县份之一, 也是

黑龙江省盐渍土主要分布区之一^[1], 素有“十年九旱”之称。玉米作为肇州县的主要作物, 其产量受到降雨量的限制^[2], 而水资源又十分珍贵。因此, 对肇州地区进行玉米膜下滴灌的研究十分重要。

国内许多学者对膜下滴灌试验进行研究^[3~6], 但对肇州及附近地区的研究大都集中在玉米膜下滴灌水肥耦合和农艺措施等方面, 对玉米膜下滴灌灌溉制度以及不同灌溉制度下水盐的空间分布研究较少。同时, 对膜下滴灌灌溉制度土壤水盐分布的研究主要以不同灌水定额为主, 同时对灌水频次加以试验分析的研究鲜有报道^[7~11]。本研究通过进行大田试验, 重点研究膜下滴灌条件下, 不同灌溉制度对

录用日期: 2018-06-20

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划子课题(2014BAD12B01)

作者简介: 陈 选(1992-), 硕士, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。

E-mail: cxneau@163.com

王忠波为本文通讯作者。

E-mail: wangzhongbo71@163.com

玉米生育期农田土壤水盐时空分布特征、玉米产量及水分利用效率的影响,为当地玉米节水增产提供可靠的理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在黑龙江省肇州县水利科学试验站内。

肇州县水利科学试验站是黑龙江省典型的旱作物试验区,主要进行玉米、大豆等旱田作物的灌溉制度试验研究,地处N45°17',E125°35',松嫩平原腹地,属于温带大陆性气候,多年生育期平均降雨量约为390 mm,无霜期138 d;多年平均蒸发量1 733 mm,属于第一积温带。试验土壤为碳酸盐黑钙土,灌溉水矿化度为0.4 g/L,地下水埋深约为10 m。

表1 土壤物理性质
Table 1 Soil physical properties

土层深度(cm) Soil layer depth	容重(g/cm ³) Bulk density	田间持水量(%) Field capacity	机械组成(%) Composition		
			黏粒(<0.002 mm) Clay	粉粒(0.002 ~ 0.020 mm) Silty	砂粒(>0.020 mm) Sand
0 ~ 10	1.18	33.66	21.440	35.063	43.497
11 ~ 20	1.22	31.44	22.534	39.504	37.962
21 ~ 40	1.22	30.27	20.535	37.638	41.827
41 ~ 60	1.21	29.21	22.378	35.267	42.355
61 ~ 80	1.23	28.37	24.216	38.963	36.821
平 均	1.21	30.10	22.221	37.287	40.498

1.2 试验设计

膜下滴灌设置方法采用一膜单管双行栽培方式,膜宽90 cm。供试玉米品种为京科968,2017年进行试验,于4月27日播种,9月25日收获,全生育期150 d。采用玉米穴播机进行播种,株距20 cm,行距60 cm。氮肥用量225 kg/hm²、磷肥用量90 kg/hm²、钾肥用量90 kg/hm²。试验所用氮肥、磷肥、钾肥分

别为尿素、磷酸二铵和硫酸钾。磷肥和钾肥全部做基肥施入,氮肥二分之一随底肥施入,剩下的二分之一随第二次灌水施入。农艺措施参照当地经验。试验采用随机区组排列,3次重复,小区面积104 m²(5.2 m×20 m),周围布置隔离行,以覆膜不灌水的小区为对照小区。灌溉水量由田间水表分别计量。

表2 灌水实施时间记录
Table 2 Record for irrigation implementation

m³/hm²

处 理 Treatment	苗 期 Seedling stage	拔 节 Jointing stage	抽 雄 Tasseling stage	灌 浆 Filling stage	灌溉定额 Irrigation quota
	5·28	6·28	7·18	8·16	
L1	100.0	100.0	0.0	0	200.0
L2	66.7	66.7	66.7	0	200.0
L3	50.0	50.0	50.0	50.0	200.0
L4	150.0	150.0	0.0	0	300.0
L5	100.0	100.0	100.0	0	300.0
L6	75.0	75.0	75.0	75.0	300.0
L7	200.0	200.0	0.0	0	400.0
L8	133.3	133.3	133.3	0	400.0
L9	100.0	100.0	100.0	100.0	400.0
L10	250.0	250.0	0	0	500.0
L11	166.7	166.7	166.7	0	500.0
L12	125.0	125.0	125.0	125.0	500.0
CK	0	0	0	0	0

1.3 测定项目与方法

土壤水盐含量测定:在覆膜条件下,由于上边界条件不同,膜下土壤与膜间土壤的水盐运移规律不同,土壤水盐含量差别很大,在膜间和膜中分别埋设TDR管,以20 cm深度为一层,定点监测土壤含水率和电导率EC,并根据给定使用说明书计算土壤含盐量。

作物耗水量测定:采用农田土壤水量平衡公式进行耗水量计算。灌水量采用水表进行计量。由于该试验田地下水埋深在10 m左右,可视地下水补给量为0,降水入渗深度不超过1 m,可视深层渗漏为0。作物生长所需水分主要由灌溉水和降雨供应。因此,水量平衡方程可简化为

$$ET=P+I-\Delta W \quad (1)$$

式中: ET 为作物生育期耗水量(mm); P 为生育期降水量(mm); I 为生育期内灌溉量(mm); ΔW 为作物

生育期土壤蓄水变化量(mm)。

土壤蓄水量按照下列公式计算:

$$W=10HDB \quad (2)$$

式中: W 为土壤蓄水量(mm); H 为土层深度(cm); D 为土壤容重(g/cm^3); B 为土壤含水率(%)。

玉米产量及特征值测定:作物成熟后,各小区取10株进行考种。考种指标包括穗长、穗粗、秃尖长、百粒鲜重、百粒干重和粒重。

降雨、蒸发及土壤温度测定:降雨及蒸发由试验站内自动气象站测定,土壤温度由地温计测定。

1.4 数据处理与分析

采用Surfer11.0软件对各处理土壤盐分分布制图,采用Excel软件对各处理土壤水分分制图。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉制度农田土壤水分的变化

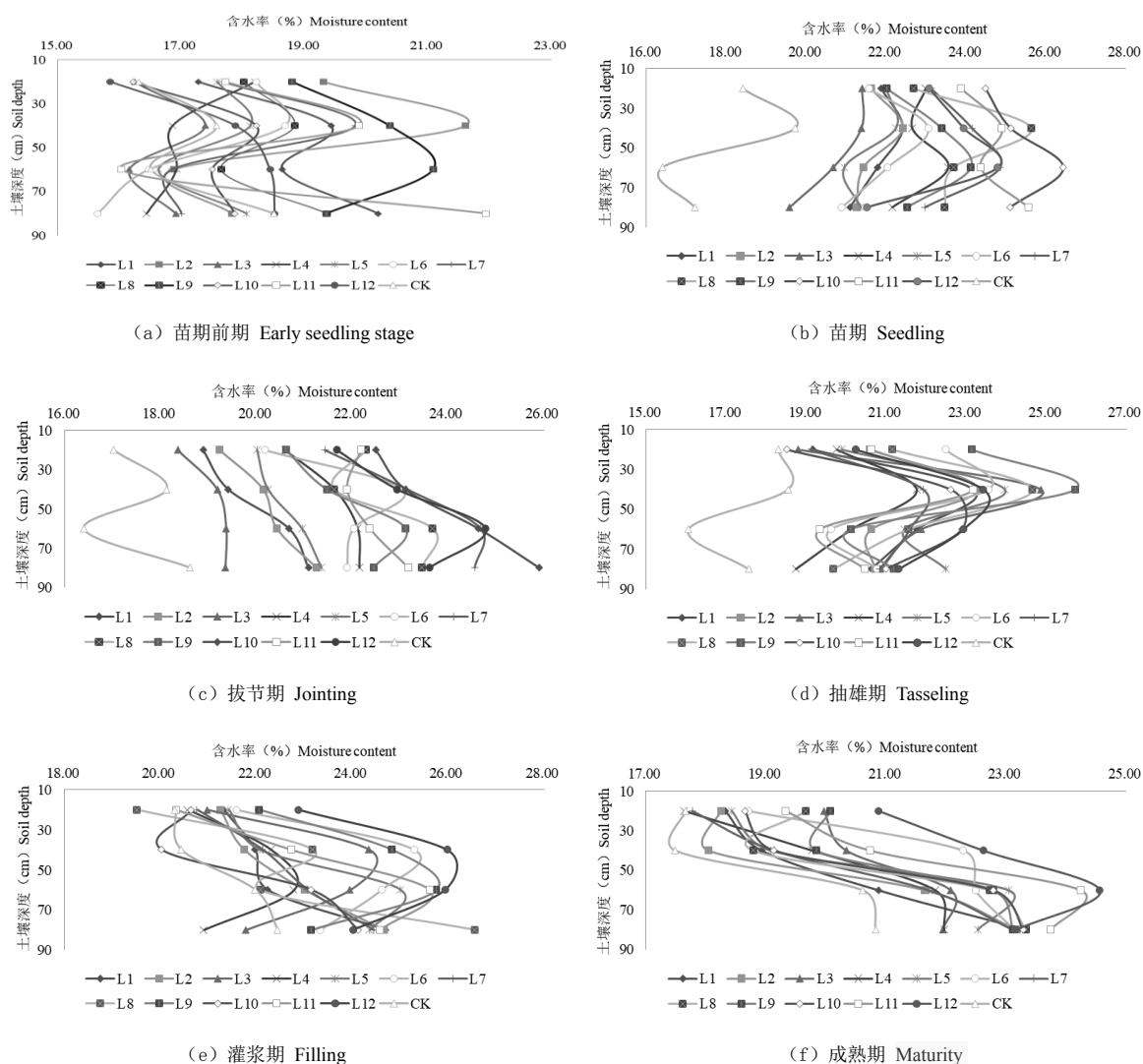


图1 不同灌溉制度农田土壤水分的变化

Fig.1 Variations of farmland soil moisture under different irrigation systems.

不同灌溉制度下农田土壤水分变化如图1所示。由于4月27日至6月15日降雨总量仅为42.3 mm,在苗期前期,土壤湿润层总体含水率较低,约为田间持水率的50%~60%。此时,地膜增温作用明显,表层土壤温度较高,水分大量蒸发,在地膜上凝结成水珠,加上玉米根系吸水,导致表层土壤含水率较低,而深层土壤内水分向上运动以及降雨入渗使得水分集中在浅层土壤内,此时土壤含水率由浅到深大体呈先升后降再上升的趋势。苗期灌水后,各处理各土层含水率均有上升。灌水定额对41~80 cm深度的土壤含水率影响明显,表现为灌水定额越大,土壤含水率越高。0~20 cm表层土壤含水率约为田间持水率的65%~75%,能够为作物生长提供较好的水分环境,但比21~60 cm土层含水率略低,此时土壤含水率由浅到深大体呈先升后降的趋势。进入拔节期,由于植株的生长遮挡了阳光,使得阳光无法直射地膜,地膜的增温效果不再明显。同时,优于植株根系生长,使得0~40 cm土层水分变化趋于一致。叶面积的增大和气温的升高使得作物蒸腾作用增强,作物耗水量增大,41~60 cm土层含水率也开始降低。L10处理含水率最高,CK处理含水率最低,此时土壤含水率由浅到深大体呈上升趋势。

至抽雄期,玉米株高、叶面积等生理指标基本接近最大值,根系也趋于最大深度,玉米耗水强度进一步增大。降雨入渗到浅层土壤中,0~40 cm土层含水率比41~80 cm土层高,是由于降雨量小,导致入渗湿润峰无法到达膜下土壤较深的部位。部分不灌水的处理61~80 cm土层含水率由于根系吸水作用开始降低,此时土壤含水率由浅到深大体呈先升后降的趋势。进入灌浆期,连续的降雨为子粒灌浆提供了充足的水分,同时大量水分向下入渗,此时不灌水处理各土层土壤含水率差异变小,水分集中在21~60 cm土层内。21~60 cm土层土壤含水率介于21.79%~26.57%,此时不灌水处理的土壤含水率由浅到深大体呈上升趋势,灌水处理的土壤含水率由浅到深大体呈先升后降的趋势。灌浆期灌水后,降雨很少,成熟期土壤含水率相比灌浆期均有下降,其中表层土壤含水率下降更为明显。灌溉定额为500 m³/hm²的3个处理41~80 cm土层含水率最高,此时土壤含水率由浅到深呈上升趋势。

2.2 不同灌溉制度农田土壤盐分的变化

各处理玉米生育期0~80 cm土层土壤含盐量空间分布特征见图2。在覆膜条件下,雨水从沟中进入土壤,带动盐分向膜下土壤运动。加上根系吸

水和蒸发作用,CK处理0~20 cm土层内膜下土壤含盐量高于21~40 cm土层。膜间土壤由于长期受蒸发作用,带动膜下土壤部分盐分向膜间土壤运动,具体表现为膜下土壤0~40 cm和61~80 cm土层形成脱盐区,膜下土壤41~60 cm土层和膜间土壤形成积盐区。与CK相比,在滴灌的淋洗作用下,各灌水处理膜下土壤盐分均向湿润峰处运动,在滴头位置均形成更大范围的脱盐区。其中,L2、L3处理由于灌水定额小,形成的湿润峰距离滴头位置较近,对膜下土壤0~40 cm土层的脱盐作用不明显;L10和L11处理由于较大的灌溉定额和灌水定额,水分垂直运动较强,膜下土壤0~80 cm土层的含盐量均有所减少,土壤盐分集聚在61~80 cm,膜间土壤41~80 cm土层表现为积盐。灌溉定额为500 m³/hm²的3个处理0~80 cm土层整体处于脱盐状态;其余各处理膜下土壤的盐分均被淋洗到深层土壤和膜间土壤中,盐分集聚在41~80 cm。相同灌溉定额的处理,灌水频次越多,盐分运移到膜间土壤就越多,根系部位脱盐效果越好。这可能是由于灌水频次较多的处理灌水时间较为偏后,将盐分从滴头处带向了膜间土壤。

2.3 不同灌溉制度玉米产量的变化

不同处理春玉米产量特征值及水分利用效率见表3。灌溉定额对秃尖长度影响较为明显,灌溉定额越大,秃尖长度越小。灌溉定额对穗行数和行粒数的增加作用也较为明显,但当穗行数和行粒数分别达到17.4和41.7的峰值以后,继续增加灌溉定额后就不再增长,玉米的生长并不是灌水越多越好。同样地,增加灌溉定额可增加作物产量,当灌溉定额达到400 m³/hm²为最佳,其中L9处理的产量达到17 034.98 kg/hm²,继续增加灌溉定额引起作物减产,可能是因为灌水量过高引起速效养分向深层土壤迁移,不利于作物的吸收^[12-13]。因此,在考虑提高玉米产量时,应同时考虑最佳灌溉制度和作物产地多种因素的影响。通过差异显著性分析可知,部分灌溉定额相差较大的处理间水分利用效率差异不显著,这可能是因为灌溉定额相对全生育期降雨量较小。除L8、L9处理外,相同灌溉定额,灌水次数为3次和4次的两个处理间差异不显著,可能是因为这些处理在玉米需水最关键的抽雄期进行了灌水,且灌水定额较为接近。从经济及高效用水的角度看,灌溉定额为400 m³/hm²、灌水次数为4次,玉米产量和水分生产效率均为试验处理中的最大值,是肇州地区较为合理的灌溉制度。

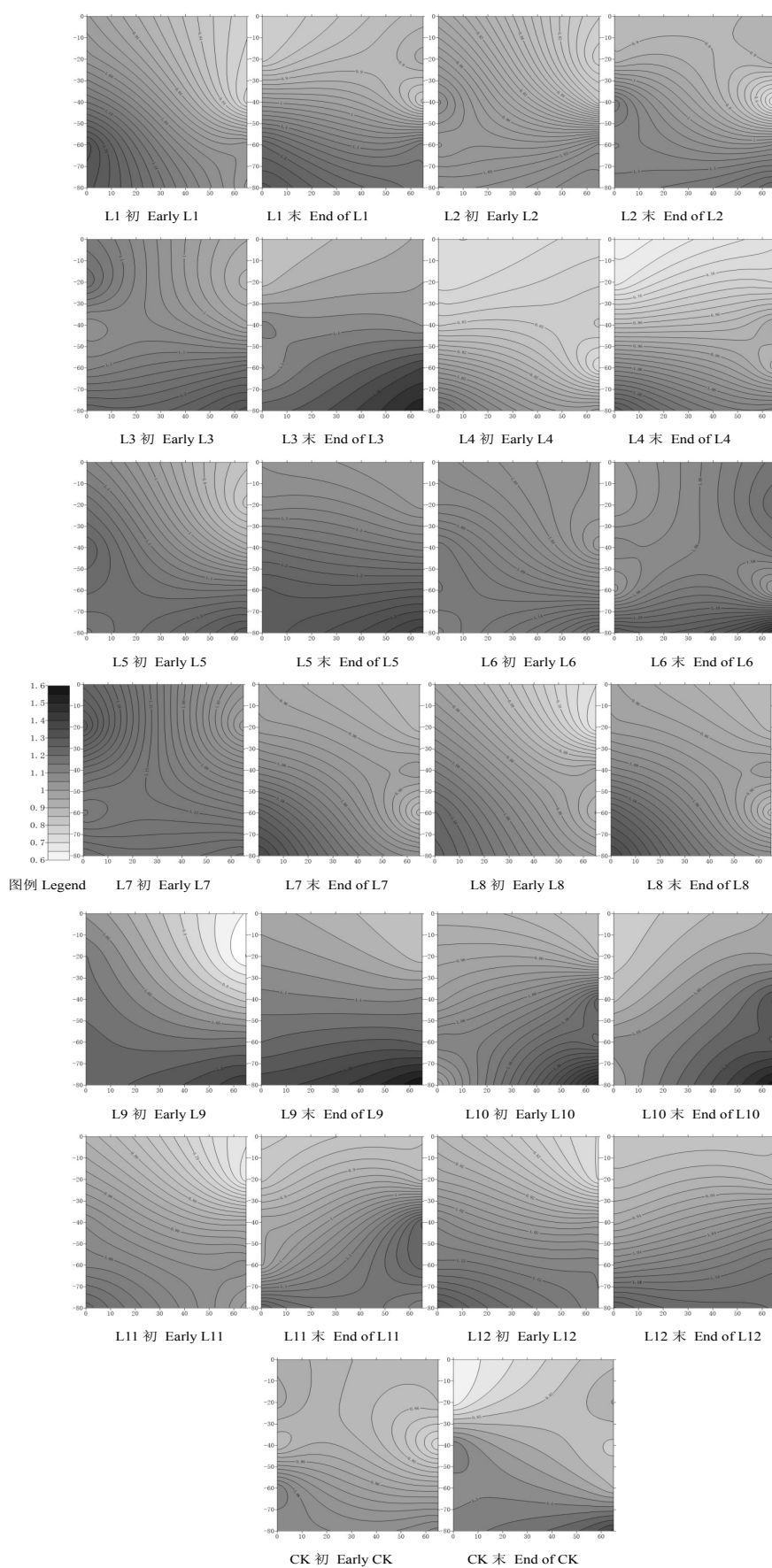


图2 不同灌溉制度农田土壤盐分的变化

Fig.2 Variations of farmland soil salinity content under different irrigation systems

表3 膜下滴灌玉米产量特征值及水分生产效率
Table 3 Characteristic values of corn yield and moisture utilization efficiency upon drip irrigation under mulch

处 理 Treatment	灌溉定额 (m ³ /hm ²) Irrigation quota	灌水次数 (次) Irrigation time	秃尖长度 (cm) Bare tip length	穗行数(行) Kernel rows per ear	行粒数(粒) Kernel No. per row	水分生产效率(kg/m ³) Moisture utilization efficiency	产 量 (kg/hm ²) Yield
L1	200	2	1.8	16.5	40.4	3.60 d	14 391.68 h
L2	200	3	1.7	16.3	39.8	3.68 cd	14 656.95 g
L3	200	4	1.8	16.0	39.5	3.75 c	14 635.35 g
L4	300	2	1.7	16.8	41.1	3.77 c	14 934.38 f
L5	300	3	1.5	16.4	40.8	3.75 c	15 015.38 ef
L6	300	4	1.5	16.3	40.3	3.90 b	15 183.45 e
L7	400	2	1.5	17.2	41.7	3.90 b	15 688.35 d
L8	400	3	1.3	17.2	41.4	4.10 a	16 326.90 b
L9	400	4	1.1	17.3	41.5	4.11 a	17 034.98 a
L10	500	2	1.3	17.4	41.4	3.88 b	15 688.35 d
L11	500	3	1.2	17.1	41.7	4.06 a	15 912.45 c
L12	500	4	1.2	16.9	41.6	4.09 a	15 838.88 cd
CK	0	0	2	15.6	37.8	3.92 b	13 808.48 i

注:同列不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平。
Note: Different small letters within the same row mean significant difference at 5% level.

3 结 论

灌溉制度对土壤水盐分布具有密切的关系,土壤水盐的分布直接影响着作物产量。本文通过在肇州地区进行大田试验,对农田土壤不同土层的含水率和含盐量进行测定和分析,并研究灌溉制度对玉米产量及其特征值的影响。结果表明,增加灌溉定额可增加膜下较深土壤的含水率,为玉米的生长发育储存足够的水分;增加灌水频次可提高灌水对膜下土壤向膜间土壤驱盐的效果,在一定范围内增加灌溉定额可提高作物产量。灌溉定额继续增加虽可提高抑盐效果,同时把更多玉米生长所需的养分也带到了深层土壤中,不利于玉米的生长发育,造成作物减产。研究表明,膜下滴灌条件下,灌溉定额为400 m³/hm²、灌水次数为4次时,膜下土壤水盐状况良好,玉米产量达最大,是肇州地区较为合理的灌溉制度。

参考文献:

[1] 李大伟.肇州县盐渍化旱地土壤肥力提升技术模式的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013.
[2] 李 辉.肇州地区玉米气象产量与降水量关系分析[J].黑龙江气象,2008(3):35-36.
Li H. Analysis of relationship between meteorological yield and precipitation in Zhaozhou area[J]. Heilongjiang Meteorology, 2008(3): 35-36. (in Chinese)
[3] 张忠学,聂堂哲,王 栋.黑龙江省西部半干旱区玉米膜下滴灌水、氮、磷耦合效应分析[J].中国农村水利水电,2016(2):1-4.

Zhang Z X, Nie T Z, Wang D. Coupling effect of drip irrigation, nitrogen and phosphorus on maize under semiarid area in western Heilongjiang province[J]. Chinese Rural Waterand Hydropower, 2016 (2): 1-4. (in Chinese)
[4] 孟翔燕.玉米膜下滴灌水肥耦合的生物性状与土壤水分分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.
[5] 李 涛,白 静.大田玉米膜下滴灌推广应用研究[J].节水灌溉,2012(9):30-32,36.
Li T, Bai J. Study on the spread and application of drip irrigation under film in field corn[J].Water Saving Irrigation, 2012(9): 30-32, 36. (in Chinese)
[6] 郭 维.黑龙江省西部玉米膜下滴灌试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2010.
[7] 杨宏伟.膜下滴灌条件下土壤水盐动态变化特征研究[J].节水灌溉,2017(11):21-26,30.
Yang H W. Dynamic characteristics of soil water and salt under mulch drip irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2017(11): 21-26, 30. (in Chinese)
[8] 杨娟娟.灌水定额对土壤水盐分布及作物产量的影响[J].水利科技与经济,2017,23(8):60-66.
Yang J J. Effect of irrigation quota on soil water and salt distribution and crop yield[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2017, 23(8): 60-66. (in Chinese)
[9] 杨宏伟,杨正华,张富仓,等.膜下滴灌对土壤水盐分布和春玉米产量的影响[J].节水灌溉,2017(7):20-27.
Yang H W, Yang Z H, Zhang F C, et al. Effects of drip irrigation under mulch on soil water and salt distribution and spring maize yield [J]. Water Saving Irrigation, 2017(7): 20-27. (in Chinese)
[10] 王增丽,温广贵.干旱区垄膜沟灌条件下土壤水盐空间分布特征研究[J].灌溉排水学报,2017,36(5):47-51. (下转第 117 页)

带玉米机收破碎率高的主要原因,培育中早熟、脱水快、耐密植、适宜机械化粒收的品种、推广机械粒是该区域今后品种选育和产业技术发展的主要方向。

本文采用子粒含水率和产量两个关键指标与双向平均法,初步筛选出产量高、含水率低的京农科 728、丰垦 139 和含水率较低的德美亚 3 号、禾田 1 号、A6565、农华 206、农华 103、联创 808、金珠 58 及梅亚 1461,可推荐为黑龙江第 1~第 3 积温带适宜机械粒收的候选品种。同时,考虑到黑龙江区域之间热量条件差异较大,进一步筛选出适合不同积温带的机械粒收品种,包括适宜第 3 积温带的克单 16、德美亚 1 号和克单 14;适宜第 2 与第 3 积温过渡带的丰垦 139、德美亚 3 号、A6565、吉单 898、德育 919、中玉 990、迪卡 556 和禾田 1 号;适宜第 1 和第 2 积温带的京农科 728、农华 206、真金 308、联创 808、农华 103、禾田 1 号、九玉 1034 和利合 16。由于机械粒收对玉米品种后期抗倒性、抗/耐茎腐病和穗腐病及子粒耐破碎性提出了更高的要求,本研究中初步筛选出来的品种还需进一步开展田间抗性鉴定与机械粒收效果测试。

参考文献:

- [1] 李少昆. 我国玉米机械粒收质量影响因素及粒收技术的发展方向[J]. 石河子大学学报(自科版), 2017, 35(3): 265-272.
Li S K. Factors affecting the quality of maize grain mechanical harvest and the development trend of grain harvest technology[J]. Journal Shihezi University, 2017, 35(3): 265-272. (in Chinese)
- [2] 李少昆, 王克如, 谢瑞芝, 等. 实施密植高产机械化生产实现玉米高产高效协同[J]. 作物杂志, 2016(4): 1-6.
Li S K, Wang K R, Xie R Z, et al. Implementing higher population and full mechanization technologies to achieve high yield and high efficiency in maize production[J]. Crops, 2016(4): 1-6. (in Chinese)
- [3] 王克如, 李少昆. 玉米机械粒收破碎率研究进展[J]. 中国农业科学, 2017(50): 2018-2026.
Wang K R, Li S K. Progresses in research on grain broken rate by mechanical grain harvesting[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2018-2026. (in Chinese)
- [4] Hall G E, Johnson W H. Corn kernel crackage induced by mechanical shelling[J]. Transactions of the ASABE, 1970, 13(1): 51-55.
- [5] Plett S. Corn kernel breakage as a function of grain moisture at harvest in a prairie environment[J]. Canada Journal Plant Science, 1994, 74(3): 543-544.
- [6] Chowdhry M H, Buchele W F. The nature of corn kernel damage inflicted in the shelling crescent of grain combines[J]. Transactions of the ASAE, 1978: 610-614.
- [7] 宋卫堂, 封俊, 胡鸿烈. 北京地区夏玉米联合收获的试验研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(5): 45-48.
Song W T, Feng J, Hu H L. Experimental study on combine harvesting of summer corn in Beijing area[J]. Trans CSAM, 2005, 36(5): 45-48. (in Chinese)
- [8] 柴宗文, 王克如, 郭银巧, 等. 玉米机械粒收质量现状及其与含水率的关系[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2036-2043.
Chai Z W, Wang K R, Guo Y Q, et al. Current status of maize mechanical grain harvesting and its relationship with grain moisture content[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2036-2043. (in Chinese)
- [9] 王克如, 李少昆. 玉米子粒脱水速率影响因素分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2027-2035.
Wang K R, Li S K. Analysis of influencing factors on kernel dehydration rate of maize hybrids[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2027-2035. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)

(上接第 109 页)

- Wang Z L, Wen G G. Spatial distribution characteristics of soil water and salt under ridge furrow irrigation in arid area[J]. Journal of irrigation and drainage, 2017, 36(5): 47-51. (in Chinese)
- [11] 王增丽, 董平国, 樊晓康, 等. 膜下滴灌不同灌溉定额对土壤水分分布和春玉米产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2345-2354.
Wang Z L, Dong P G, Fan X K, et al. Effects of irrigation quota on soil water and salt distribution and yield of spring maize under mulch drip irrigation[J]. Agricultural Science in China, 2016, 49(12): 2345-2354. (in Chinese)
- [12] 李蔚新, 王忠波, 张忠学, 等. 膜下滴灌条件下玉米灌溉制度试验研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(1): 196-200.
Li W X, Wang Z B, Zhang Z X, et al. Experimental study on irrigation schedule of maize under mulch drip irrigation[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(1): 196-200. (in Chinese)
- [13] 葛新伟, 张霞, 王锐, 等. 滴灌条件下酿酒葡萄园土壤速效养分和水分迁移特征[J]. 节水灌溉, 2017(12): 52-55.
Ge X W, Zhang X, Wang R, et al. Characteristics of soil available nutrients and water migration in wine vineyard under drip irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2017(12): 52-55. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)