

不同滴灌带配置方式对玉米干物质的积累及产量影响

王雪苗¹, 安进强¹, 雒天峰², 李 晶², 孙克翠¹, 杨晓婷¹

(1. 甘肃农业大学 工学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省水利科学研究院, 兰州 730000)

摘 要:在 3 种不同灌水处理下采用 2 种不同滴灌带配置方式,对玉米进行灌溉试验研究,旨在探究不同灌水不同滴灌带配置对玉米农田生产力的影响。结果表明,在全生育期内,不同水分处理对玉米叶面积及叶片光合势影响显著,灌水定额为 $375 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,3 行 2 管的 T_2 处理在拔节期及抽雄期与 CK 差异显著。灌水定额为 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时, T_4 的产量最高为 $17\,035.855 \text{ kg}/\text{hm}^2$,且 T_4 的水分利用效率亦最高,分别高于 $T_1, T_2, T_3, T_5, T_6, \text{CK}$ 处理 46.24%, 42.50%, 26.20%, 26.15%, 48.23%, 37.89%。由此可知,灌水定额为 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,3 行 2 管在一定程度上相对于 3 行 3 管更利于玉米的生长发育和产量的增加,即灌水定额为 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,铺设方式为 3 行 2 管的处理为最优模式。

关键词:滴灌带配置; 玉米; 产量

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0122-04

Effects of Different Drip Irrigation Configurations on Dry Matter Accumulation and Yield of Corn

WANG Xuemiao¹, AN Jinqiang¹, LUO Tianfeng², LI Jing², SUN Kecui¹, YANG Xiaoting¹

(1. School of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The experiment of corn irrigation is designed for investigating on the impact of diverse irrigation quotas and pipe laying on corn farmland productivity. Two laying ways of drip irrigation pipes with three different irrigation quotas were used. The results show that during the whole growth season, irrigation volume has significant effects on leaf area as well as photosynthetic potential; it also proves that during jointing and tasseling stages, when irrigation quota is $375 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, T_2 treatment of laying two drip irrigate pipes in three corn lines has significant difference from CK treatment; when the irrigation quota is $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, the production with T_4 treatment peaked at $17\,035.855 \text{ kg}/\text{hm}^2$ and the water use efficiency is the highest, which is 46.24%, 42.50%, 26.20%, 26.15%, 48.23% and 26.15% higher than those with T_1, T_2, T_3, T_5, T_6 and CK treatments. Therefore, laying two irrigation pipes in three corn lines has greater advantage for corn growth and yield increase than laying three irrigation pipes. That is to say when irrigation quota is $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, laying two pipes in three lines is the optimal model.

Keywords: different drip tape configurations; corn; yield

膜下滴灌是滴灌和覆膜种植保温保水相结合的一项新灌溉技术,亦可以说是覆膜栽培技术的延伸和深化^[1]。国内外学者关于玉米滴灌技术的研究成果都是在分析田间试验数据的基础上,针对灌水量、灌水频率对玉米耗水量、灌溉水利用系数、作物系数、土壤水热分布、产量的影响开展研究,这些研究成果对灌溉系统设计、玉米滴灌灌溉制度的制定具有指导性价值^[2-9]。杨九刚^[10]等通过对 2 种滴管带的布设方式的积盐区位置的研究分析发现:1 膜 2 管 4 行更有

益于棉花生长,灌溉水利用系数 1 膜 2 管 4 行较 1 膜 1 管 4 行高,减少了灌水时间,提高了灌水效率,减少了深层渗漏水量。关于旱区大田膜下滴灌土壤盐分运移特征的研究表明:1 膜 1 管形成窄深型土壤湿润区,其土壤水分水平分布均匀性较差,使田间棉花根系分布和植株生长均匀性低;1 膜 3 管形成宽浅型土壤湿润区,其土壤水分水平分布均匀性较好,使田间棉花根系的分布和植株生长均匀性较高;膜下滴灌条件下,宜采用宽浅型土壤湿润区^[11]。冉立忠等^[12]试

收稿日期:2014-11-22

修回日期:2014-12-23

资助项目:国家自然科学基金资助项目“滴灌条件下土壤—地膜—玉米—大气系统水分传输机制与模拟”(51169001)

第一作者:王雪苗(1989—),女,甘肃金昌人,硕士研究生,主要从事节水灌溉研究。E-mail:909849205@qq.com

通信作者:安进强(1971—),男,甘肃通渭人,副教授,硕士生导师,主要从事农业灌溉自动化研究。E-mail:anjq@gsau.edu.cn

验表明,普宽栽培 1 膜 2 管模式、超宽栽培 1 膜 3 管模式的毛管配置方式即毛管间距 80cm 左右完全能达到膜下滴灌棉田节水、高产、高效的目的。李高华等^[13]试验研究不同配置方式下生物学产量及其在各器官中的分配,对棉花高产优质具有重要意义。刘敏杰等^[14]通过研究不同滴灌毛管铺设对大枣,葡萄的产量等的影响,表明葡萄在选定 1 行 3 管的毛管铺设方式最为经济合理,而大枣在选定 1 行 4 管的毛管铺设方式最为经济合理。杨相昆等^[15]通过单因素随机区组试验表明离滴管带越近的冬麦,干物质积累越多,且 1 管 4 行总干物质积累高于 1 管 5 行处理。尽管不同滴灌带配置的应用研究较多,但不同灌水处理下不同滴灌带配置对玉米的生长及产量等的影响研究甚少。本试验结合民勤当地自然生态条件,分析不同水分不同滴灌带的配置方式对玉米叶面积、叶片光合势、干物质、相对生长率、产量及水分利用效率的影响,旨在为荒漠绿洲地区玉米高产优质栽培技术的生产实践及大面积推广应用提供技术指导,滴灌带的合理配置对指导区域玉米高产节水生产有一定意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2014 年 4—10 月在甘肃省水利科学研究院民勤节水农业暨生态建设试验示范基地进行,试验区地处民勤绿洲和腾格里沙漠交界地带,属典型的大陆性荒漠气候,地理位置东经 130°05′10″,北纬 38°37′18″。降雨稀少,蒸发量大,风沙多,自然灾害频繁。多年平均气温 7.8℃,极端最高气温 39.5℃,极端最低气温 -27.3℃,多年平均降雨量 110 mm,蒸发量 2 644 mm,日照时效 3 028 h,≥10℃ 积温 3 145℃,>0℃ 积温 3 550℃,无霜期 150 d,最大冻土深 115 cm,试验区土质为均质粘壤土,平均田间持水量和容重分别为 22.9%和 1.59 g/cm³。土壤氨态氮含量 15 mg/kg,速效钾 173 mg/kg,土壤有机质含量 13%,在第 2~3 次灌水时在首部加肥料罐随水追施尿素。

1.2 试验设计

试验采用膜下滴灌灌水方式,滴头形式为长流道式,滴头流量 0.2 L/s,滴头间距 30 cm,用水表测量水量,利用人工测试坑进行试验,测试坑面积为 1.2 m×1.8 m,深度为 2 m,株行距 30 cm×40 cm。测试坑四周用水泥防水层来防止土壤水分侧向交换,试验共设置六个处理,一个对照(表 1),每个处理设置 3 个重复,灌水周期为 25 d,全生育期内共灌水 5 次。各处理均于 4 月 29 日播种,分别在玉米拔节期和灌浆期追施尿素。其他管理措施同一般大田,9 月 23 日收获。

表 1 试验设计

处理	灌水定额/ (m ³ ·hm ⁻²)	种植方式	毛管铺设
T ₁	375	1 膜 3 行	1 膜 3 管
T ₂	375	1 膜 3 行	1 膜 2 管
T ₃	450	1 膜 3 行	1 膜 3 管
T ₄	450	1 膜 3 行	1 膜 2 管
T ₅	525	1 膜 3 行	1 膜 3 管
T ₆	525	1 膜 3 行	1 膜 2 管
CK	600	1 膜 3 行	漫灌

1.3 观测项目与方法

叶面积:在每个小区选取长势均匀有代表性的 3 株玉米对作物叶片进行测量,单株叶面积^[12]: $LA=\Sigma(L\times W\times 0.75)$ 式中, L 为叶片长度, W 为叶片宽度。光合势^[16]: $LAD=[(第一次测定叶面积+第二次测定叶面积)/2]\times 间隔天数$ 。干物质:在玉米各个生育时期,选取与叶龄标记基本一致的植株,取其地上部分,在 105℃ 烘干箱内杀青 1 h,再在 85℃ 恒温下烘 6~8 h 至恒重,测定其干重。

土壤含水量:用取土烘干法测定土壤含水量,每 10 d 测定 1 次并在灌水前后加测,每隔 5 d 用时域反射仪(TDR)测计划湿润层(0—120 cm)土壤含水量,以确定灌水时间。

玉米耗水量:采用水量平衡法计算。

$$ET_a=P+I+G-D-R+10\sum_{i=1}^nH_i\gamma(\theta_{末i}-\theta_{始i})\quad(1)$$

式中:ET_a——计算时段的耗水量(mm); P ——计算时段的降雨量(mm); I ——计算时段的灌水量(mm); G ——计算时段地下水对根区吸水层的补给量(mm); D ——计算时段的深层渗漏(mm); R ——计算时段灌溉、降雨量的地面径流损失量(mm); H_i ——第 i 层玉米根区吸水层厚度(m); γ ——试验区土壤干容重(t/m³); $\theta_{始i},\theta_{末i}$ ——试验区第 i 层计算时段始、末的土壤含水率,以质量含水率表示; n ——玉米根区吸水层取土层数,在本试验中取 12。

穗部性状及产量构成因子:成熟后按小区测定各处理产量。每小区取样 5 株,即每个处理取 15 株玉米进行测产,当玉米籽粒水分低于 20%时,进行室内考种,测定穗长、穗粗、秃顶长、穗行数、行粒数等穗部性状以及单株成穗数、穗粒数、百粒重等产量构成因子。

2 结果与分析

2.1 不同水分不同铺设方式对玉米叶面积的影响

从表 2 可以看出不同水分不同铺设方式处理下玉米在整个生育期内叶面积动态变化均呈现“慢—快—慢”的特征,且在全生育期内不同水分对玉米叶面积的

影响存在明显差异。在苗期,各个处理初始条件相同,且苗期植株对水分的需求和依赖性不大,各处理间叶面积未表现出显著差异;在拔节期, T_1 和 T_2 的叶面积值均低于 CK,且 T_2 与 CK 存在显著差异($p<0.05$),其他处理与 CK 差异不显著,说明在拔节期灌水定额为 375

m^3/hm^2 时,3 行 2 管对玉米叶面积影响显著;进入抽雄期灌水定额为 $375 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的处理与 CK 差异性显著,灌水定额为 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $525 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的处理与 CK 无显著性差异($p<0.05$),且随着灌水定额的增加叶面积依次增大;成熟期各个处理间无显著差异。

表 2 不同水分不同铺设方式对玉米叶面积变化对比 $\text{cm}^2/\text{株}$

处理	苗期	拔节期	喇叭期	抽雄期	灌浆期	成熟期
T_1	35.04a	728.19bc	2315.09c	4239.89b	4537.50b	2592.69b
T_2	28.98a	657.72c	2571.50bc	4043.27b	4285.84b	3016.44ab
T_3	39.71a	1374.05abc	4026.96a	5713.84a	5550.44ab	3563.88ab
T_4	42.57a	1869.96a	4618.88a	5932.31a	7206.56a	3480.19ab
T_5	43.46a	1919.49a	4593.4a	6045.50a	6019.25ab	3455.25ab
T_6	39.70a	1511.05abc	3929.23ab	5736.35a	4866.09b	3935.22a
CK	28.51a	1757.54ab	3776.88ab	5552.02a	5438.13b	4082.75a

注:小写字母代表处理间在 0.05 水平差异显著(Duncan's 法)。下表同。

2.2 不同水分不同铺设方式对玉米光合势的影响

由表 3 可知,玉米叶片光合势在生育期内呈现先增大后减小的变化趋势,与叶面积变化趋势基本一致,且喇叭期—抽雄期达到最大值。

在玉米全生育期内,只有在喇叭期—抽雄期, T_1 和 T_2 叶片光合势的值与 CK 的值差异显著($p<$

0.05),说明该时期是玉米叶片光合势受水分影响最敏感的时期。灌水定额为 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的总光合势 T_4 的值,在整个生育期内分别比 CK 高出 20.48%,21.64%,14.18%,21.16%,15.89%。且灌水定额为 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的 T_4 总光合势最高,为干物质积累和高产奠定了基础。

表 3 不同水分不同铺设方式对玉米光合势变化对比 $10^4 \text{ m}^2 \cdot \text{d}/\text{hm}^2$

处理	苗期—拔节期	拔节期—喇叭期	喇叭期—抽雄期	抽雄期—灌浆期	灌浆期—成熟期	总光合势
T_1	10442.005ab	21582.930b	85214.680b	83385.180b	71301.875b	229151.300b
T_2	8537.020b	22394.535b	85992.010b	79126.580b	73022.815b	223119.760b
T_3	18378.880ab	37807.120ab	126630.415a	107010.615ab	91143.125ab	326435.925ab
T_4	24862.885a	45421.835a	137165.440a	124819.315a	106867.500a	374970.790a
T_5	25518.335a	45590.260a	138305.700a	114.615.125a	94745.000ab	363239.850a
T_6	16173.385ab	34231.925ab	122402.475a	100723.215ab	88013.125ab	307988.940ab
CK	20635.425ab	37340.905ab	120121.165a	103018.255ab	92210.000ab	316358.835ab

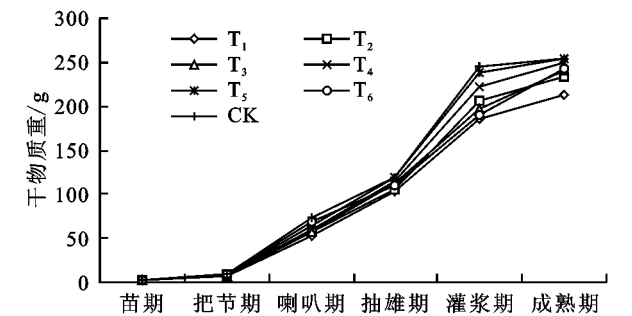


图 1 不同水分不同铺设方式对玉米干物质的影响

2.2 不同水分不同铺设方式对玉米干物质的影响

由图 1 可以看出,各处理的干物质积累量随着生育期的推进呈上升趋势。幼苗期 T_1 — T_6 处理的单株干物质质量分别为 1.51,1.26,1.48,1.37,1.52 和 1.54 g,较 CK 1.50 g 无显著性差异。在全生育期内, T_5 、 T_6 和 CK 的干物质质量高于 T_1 和 T_2 ,即灌水定额较高的处理更利于玉米干物质的积累,这与王立敏^[17]等研究的全生育期内,供水量越多,干物质的积累越好,即对

形成籽粒产量越有利相一致。再对相同水分不同铺设方式处理之间进行比较得出, T_2 、 T_4 和 T_6 处理的植株干物质的增长分别高于 T_1 、 T_3 和 T_5 处理的植株,由此说明不同的铺设方式对干物质的积累产生了不同程度的影响,且 3 行 2 管优于 3 行 3 管。

2.3 不同水分不同铺设方式对玉米相对生长速率的影响

相对生长率(RGR)是指单位生物量在单位时间所生成的净生物量,直接影响各生育阶段干物质积累量。由图 2 可知,玉米全生育期内 RGR 在拔节期—喇叭期阶段最高,光合产物积累迅速;进入喇叭期—抽雄期后增长速率迅速减慢,且各个处理间的相对生长率差异不大;到灌浆期—成熟期各处理分别为 1.17×10^{-3} , 1.86×10^{-3} ,0,0,0,0, 0.82×10^{-3} , $0.28 \times 10^{-3} \text{ g}/(\text{g} \cdot \text{d})$,其中 T_3 、 T_4 和 T_5 首先出现零值,说明在干物质的输出效率上 T_3 、 T_4 和 T_5 高于其他处理;在灌浆期—成

熟期,植株开始衰老,生长几乎停滞,相对生长率急剧下降几近于零。

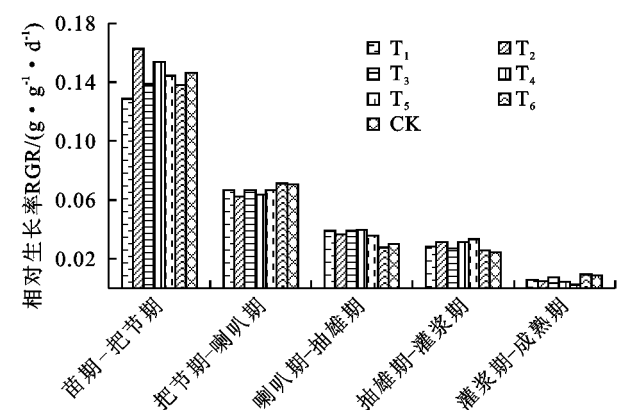


图 2 不同水分不同铺设方式对玉米相对生长速率的影响

2.4 不同水分不同铺设方式对玉米产量和水分利用效率的影响

如表 4 所示,全生育期内 T_1 和 T_2 处理的耗水量最小,产量最低,且 T_1 和 T_2 的耗水量和水分利用效

率与 CK 存在极显著的差异,这是由于 T_1 和 T_2 处理的灌水量小,玉米关键时期的需水量不能得到满足,因此导致产量和水分利用效率偏低。灌水定额为 $375\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时, T_1 的产量为 $8\,592.55\text{ kg}/\text{hm}^2$, T_2 的产量为 $8\,684.705\text{ kg}/\text{hm}^2$,且 T_1 和 T_2 与 CK 间无显著性差异,说明在灌水定额为 $375\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的水分处理下,滴灌带铺设方式对产量的影响较微弱;而灌水定额为 $450\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时, T_4 的产量比 T_3 高出 $3\,742.2\text{ kg}/\text{hm}^2$,且 T_4 的水分利用效率最高,分别比 $T_1, T_2, T_3, T_5, T_6, \text{CK}$ 高出 $46.24\%, 42.50\%, 26.20\%, 26.15\%, 48.23\%, 37.89\%$ 。由此可知,在灌水定额为 $450\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,3 行 2 管在一定程度上比 3 管 3 行更利于玉米的生长发育和产量的增加。在整个生育期内,玉米耗水量随着灌水量的增加而增加,且 CK 和其他处理之间差异显著,CK 的耗水量最高达 $428.668\,2\text{ mm}$,说明膜下滴灌具有保水、储水的作用,优于漫灌。

表 4 不同水分不同铺设方式对玉米产量和水分利用效率对比

处理	降雨量/mm	灌溉量/mm	产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	耗水量	水分利用效率/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)
T_1	108.4	149.92	8592.55b	315.34bc	27.13b
T_2	108.4	149.92	8684.71b	298.13c	29.02b
T_3	108.4	179.88	13293.66ab	355.59bc	37.25b
T_4	108.4	179.88	17035.86a	343.29bc	50.47a
T_5	108.4	209.88	13456.15ab	361.31b	37.27b
T_6	108.4	209.88	9448.96ab	364.88b	26.13b
CK	108.4	239.88	13414.89ab	428.67a	31.35b

3 结论与讨论

玉米在不同生育期对水分亏缺均表现为叶面积降低,光合作用下降,导致有机质积累的下降,以及产量降低^[18]。张芮等^[19]研究不同生育期水分亏缺表明,在拔节—抽雄期或抽雄—灌浆期对株高和叶面积生长的抑制调控会严重影响制种玉米产量和水分利用效率。本研究表明,不同水分不同铺设方式对玉米单株叶面积的影响程度不同,在拔节期,灌水定额为 $375\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的处理叶面积值明显低于对照,且灌水定额为 $375\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的 3 行 2 管铺设方式的处理与对照存在显著差异,由此可知,在拔节期低灌水定额 ($375\text{ m}^3/\text{hm}^2$) 的处理对玉米叶面积产生了不利影响,这与张振化^[20]等研究表明拔节期受旱对玉米株高及叶面积影响最大,抽雄后的水分亏缺对玉米生长发育影响不明显的结论相一致;而在灌水定额为 $375\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,3 行 2 管铺设方式造成边行玉米灌水不均,因此对玉米叶面积产生较大影响。本试验表明,不同的铺设方式对干物值的积累产生了不同程度的

影响,在一定程度上,3 行 2 管的铺设方式更利于玉米干物质的积累。本研究通过在混凝土测坑中,不同滴灌带的配置来研究玉米不同生育期的生理指标以及产量,研究表明,在灌水定额为 $450\text{ m}^3/\text{hm}^2$,3 管 2 行在提高产量和水分利用效率方面优于 3 管 3 行,且节省管材和减少材料浪费。

参考文献:

[1] 张振华. 微源入渗特性规律与膜下滴灌作物需水量研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2002.

[2] 黄冠华,冯绍元. 滴灌玉米水肥耦合效应的田间试验研究[J]. 中国农业大学学报,1999,4(6):48-52.

[3] 张晓伟,黄占斌,李秧秧,等. 滴灌条件下玉米的产量和 WUE 效应研究[J]. 水土保持研究,1999,6(1):72-75.

[4] Lamm F R, Manges H L, et al. Water requirement of subsurfacedrip-irrigated corn in northwest Kansa [J]. Trans. ASAE,1995,38(2):441-448.

[5] 隋娟,龚时宏,王建东,等. 滴灌灌水频率对土壤水热分布和夏玉米产量的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(4):148-152.

- [8] 李二辉,穆兴民,赵广举. 1919—2010年黄河上中游区径流量变化分析[J]. 水科学进展, 2014, 25(2): 155-163.
- [9] 汪鹭. 博斯腾湖流域主要入湖河流径流序列分析[D]. 成都: 四川师范大学, 2008.
- [10] 王维霞,王秀君,姜逢清,等. 开都河流域上下游过去50 a 气温降水变化特征分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 747-753.
- [11] 巴州国土规划博湖规划组. 新疆巴音郭楞蒙古自治州国土规划博斯腾湖保护治理和资源开发规划报告[R]. 1984: 4-9.
- [12] Rusuli Y, Li L, Ahmad S, et al. Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 74(3): 1-12.
- [13] 裴新国. 博斯腾湖水盐动态及其平衡的研究[J]. 干旱区地理, 1988, 1(13): 1-7.
- [14] 裴新国. 排入博斯腾湖的农田废水水量、盐量的估算[J]. 干旱环境监测, 1989, 3(2): 43-45.
- [15] 成正才,李宇安. 博斯腾湖的水盐平衡与矿化度[J]. 干旱区地理, 1997, 20(3): 43-49.
- [16] 王亚俊,李宇安,王彦国,等. 20世纪50年代以来博斯腾湖水盐变化及趋势[J]. 干旱区研究, 2005, 22(3): 355-360.
- [17] 孙占东,王润. 气候背景下冰川在博斯腾湖水量平衡中的作用[J]. 湖泊科学, 2006, 18(5): 484-489.
- [18] 钟瑞森,董新光,王新菊. 博斯腾湖水盐变化及可调出水量预测[J]. 人民黄河, 2007, 29(11): 45-47.
- [19] 钟瑞森,董新光. 新疆博斯腾湖水盐平衡及水环境预测[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 58-64.
- [20] Rusuli Y, Li L, Ahmad S, et al. Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 74(3): 1-12.
- [21] 刘丽梅,赵景峰,张建平,等. 近50 a 博斯腾湖逐年水量收支估算与水平衡分析[J]. 干旱区地理, 2013, 33(1): 33-40.
- [22] 伊丽努尔·阿力甫江,海米提·依米提,麦麦提·吐尔逊,等. 1958—2012年博斯腾湖水位变化驱动力[J]. 中国沙漠, 2015, 35(1): 240-247.
- [23] 李卫红,袁磊. 新疆博斯腾湖水盐变化及其影响因素探讨[J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 223-227.
- [24] 夏军,左其亭,邵民成. 博斯腾湖水资源可持续利用: 理论、方法、实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [25] 孙占东,王润,黄群. 近20 a 博斯腾湖与岱海水位变化比较分析[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(5): 56-60.
- [26] 谢媛媛. SWAT模型在黄土丘陵区参数敏感度分析及率正研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 204-206.
- [27] 刘浏,胡昌伟,徐宗学,等. 情景分析技术在未来太湖水位预见中的应用[J]. 水利学报, 2012, 43(4).
- [28] 吴威,吴松,陈爽. 基于SD模型分析的环鄱阳湖地区发展模式探讨[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 252-258.
- [29] 陈亚宁,杜强,陈跃滨,等. 博斯腾湖流域水资源可持续利用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012.

~~~~~

(上接第125页)

- [6] 李久生,饶敏杰,张建君. 干旱区玉米滴灌需水规律的田间试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(1): 16-21.
- [7] 康少忠,史文娟,胡笑涛,等. 调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 1998, 14(4): 82-87.
- [8] 段玉田. 限水灌溉对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 山西农业科学, 1994(2): 16-19.
- [9] 黄久常. 补充供水对于干旱地区小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1990(4): 105-109.
- [10] 杨九刚,马英杰,马亮,等. 滴灌带布设方式对棉田土壤盐分运移规律的影响研究[J]. 节水灌溉, 2012(5): 36-40.
- [11] 王允喜,李明思,蓝明菊. 膜下滴灌土壤湿润区对田间棉花根系分布及植株生长的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 112-117.
- [12] 冉立忠,蔡新宏. 棉花膜下滴灌不同毛管间距对产量和效益的影响[J]. 中国棉花, 2005(S1): 57-58.
- [13] 李高华,林性粹. 不同滴灌带配置方式对棉花生长及产量的影响[J]. 新疆农垦科技, 2009, 49(3): 1-2.
- [14] 刘敏杰,何新林,王振华,等. 哈密地区特色林果滴灌毛管优化设计研究[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2013.
- [15] 杨相昆,魏建军,张占琴,等. 不同滴管带配置对冬小麦干物质动态变化的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(7): 72-76.
- [16] 郭庆法,王庆成,汪黎明,等. 中国玉米栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004.
- [17] 王立敏,魏永霞,王斌,等. 有限供水对玉米干物质积累影响的研究[J]. 河海水利, 2004(6): 34-37.
- [18] 杨国虎,李建生,罗湘宁,等. 干旱条件下玉米叶面积变化及地上干物质积累与分配的研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(5): 27-32.
- [19] 张芮,成自勇,李有先. 水分亏缺对膜下滴灌制种玉米生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 125-128.
- [20] 张振化,蔡焕杰. 水分亏缺对覆膜玉米生长发育及产量的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20(3): 13-16.