

局部灌水施肥条件下玉米根区 土壤水分动态变化特征

胡田田¹, 张美玲², 康绍忠^{1,3}

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 内蒙古水利勘测设计院设计室, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100083)

摘 要: 采用分根装置, 对传统均匀灌水和根系分区交替灌水 2 种方式, 在作物根区均匀施氮和部分根区施氮 2 种方式下, 对 0, 0.2, 0.4, 0.6 g/kg 干土 4 个施氮水平玉米根系不同区域灌水前后的土壤水分动态进行了研究。结果表明: 均匀施氮条件下, 均匀灌水时玉米两个根区的土壤含水量始终相近, 而交替灌水则表现为, 两根区呈交错变化, 总是灌水区大于非灌水区, 且灌水后相差较大, 灌水前相近; 交替灌水与均匀灌水均表现为, 增施氮肥可使灌水前的剩余土壤含水量提高, 且增幅及持续时间均随施肥水平的提高而增大; 均匀灌水条件下, 均匀施氮时玉米两根区灌水前的土壤含水量始终非常接近, 局部施氮则不同, 施氮区明显大于未施氮区, 且尤以高水平施氮表现更为突出; 交替灌水局部施肥条件下, 交替灌水和局部施肥所造成的作物根区土壤水分状况的不均匀性同时存在, 前期和低氮水平下以交替灌水影响为主, 中、高氮水平在后期以局部施氮影响为主。

关键词: 局部灌水; 局部施氮; 土壤水分; 根区; 玉米

中图分类号: S152.7; S513.06; S274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0001-06

根系分区交替灌溉是近年来针对世界范围内水资源日益紧缺与水分利用效率较低这一矛盾的加剧发展而提出的一种新的节水灌溉方法。研究与实践表明, 根系分区交替灌溉可以降低蒸腾而使光合作用维持在较高水平^[1,2], 维持甚至增加作物产量, 提高了作物水分利用效率^[3~5]。然而, 水分利用效率的高低除与作物需水量、灌水量和灌水方式等因素有关外, 同时还与土壤养分状况、施肥量及施肥方式有密切关系^[6,7]。因此, 要充分提高作物的水分利用效率, 必须把灌溉与施肥等农艺措施结合起来。除了水分因素外, 植物根系也经常处在一个非均匀的养分环境中^[8,9]。因而, 应对水分、养分非均匀供应条件下作物根区土壤水分变化特征进行一些探讨。到目前为止, 关于水分、养分均匀供应条件下土壤水分状况的研究已很深入^[10,11], 关于局部灌水条件下也有一些报道^[12,13], 而关于养分局部供应、特别是水分、养分同时局部供应条件下作物不同根区的水分状况方面, 尚鲜见报道。因此, 本文利用玉米盆栽实验, 采用 2 种灌水方式、2 种施氮方式和 4 个施氮水平, 研究局部灌水施氮条件下作物不同根系区域的土壤水分变化特征, 以期作为作物的水氮综合高效利用与调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试作物为玉米(陕丹 9 号)。供试土壤为壤土, 基本性状为, 有机质 13.91 g/kg, 全氮 0.93 g/kg, 全磷 0.5 g/kg, 全钾 (K₂O) 20 g/kg, 碱解氮 76.7 mg/kg, 速效磷 15.75 mg/kg, 速效钾 126 mg/kg。

用塑料桶种植玉米, 桶内中央粘一层塑料布, 将桶分为均等的两部分(文中用 w 和 e 加以区分), 构成分根装置。塑料布两侧各装土 7.5 kg, 底部铺一层厚约 3 cm 的砂子。装土时, 两侧各插一根 $\varphi 2$ cm PVC 管用于灌水。土壤底施 KH₂PO₄ 0.2885 g/kg 土, 装土容重 1.25 g/cm³。2002 年 4 月 18 日每盆播一粒已催芽种子, 播后立即灌水。25 日出苗。

1.2 试验处理与实施

试验因素分灌水方式、施氮方式和施氮水平 3 个。其中, 灌水方式设根系分区交替灌水和均匀灌水(分别简称交替灌水和均匀灌水)2 种; 施氮方式设均匀施氮和部分根区施氮(分别简称均匀施氮和局部施氮)2 种, 均匀施氮为 w、e 两个根区施入等量氮肥, 局部施氮是仅对 1 个根区(即 e 根区)施肥; 施氮水平设 0, 0.2, 0.4, 0.6 g/kg 干土(简称零、低、中、

收稿日期: 2010-06-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51079124)

作者简介: 胡田田(1966—), 女, 陕西礼泉人, 博士, 教授, 主要从事农业节水理论与技术研究。E-mail: hutiantian@tom.com。

高水平)4个,共14个处理。其中,相同施氮水平下,均匀施氮的总施氮量是局部施氮方式的2倍;低水平均匀施氮的总施氮量与中水平局部施氮相等。N肥用尿素,于出苗后13d将相应数量的尿素溶解于水中,随灌水施入土壤。试验重复3次。

第一次施肥后待含水率降至田间持水量的60%时(即出苗后23d),开始灌水处理。各处理灌

水时间相同,以最先出现萎蔫的玉米确定灌水时间,灌水上限为田间持水量的95%。

1.3 测定项目及方法

采用时域反射仪(TDR)测定各处理不同根区的土壤含水量。灌水与测定土壤含水量的具体时间见表1。

表 1 灌水与测定土壤含水量的具体时间

Table 1 The date of irrigation and measurement of soil water content

灌水时间(M-d) Date of irrigation	05-18						05-30	06-03	
测定时间(M-d) Date of measurement of soil water content	05-19	05-21	05-22	05-24	05-25	05-26	05-29	6-02	06-05
出苗后天数(d) Days after seedling	24	26	27	29	30	31	34	38	41
灌水时间(M-d) Date of irrigation	06-07			06-13	06-17	06-20	06-25	06-29	07-03
测定时间(M-d) Date of measurement of soil water content	06-07	06-09	06-11	06-13	06-17	06-20	06-25	06-29	07-02
出苗后天数(d) Days after seedling	43	45	47	49	53	56	61	65	68

注:1.凡灌水与测定时间在同一天者,均是先测定后灌水。2.对于交替灌水,第一次(即5月18日)灌w边,之后每次灌水时交替灌溉e边和w边。

Note: 1. When the dates of irrigation and measurement of soil water content were the same, the measurement was earlier than irrigation. 2. For alternate partial root-zone irrigation, w zone was irrigated the first time (on May 18th) and then e and w zones were alternatively irrigated in consecutive watering.

2 结果与分析

2.1 灌水方式对根区土壤水分状况的影响

图1表明,均匀施氮条件下,无论施氮水平高低,均匀灌水时玉米两个根区的土壤含水量始终非常接近;而交替灌水时玉米两个根区土壤含水量大小呈交错变化,始终是灌水区大于非灌水区,而且,在灌水后所测定的两个根区的含水量相差较大,灌水前则比较接近。可见,两种灌水方式下,作物根区的土壤水分呈不同的变化规律。

2.2 施氮方式对根区土壤水分状况的影响

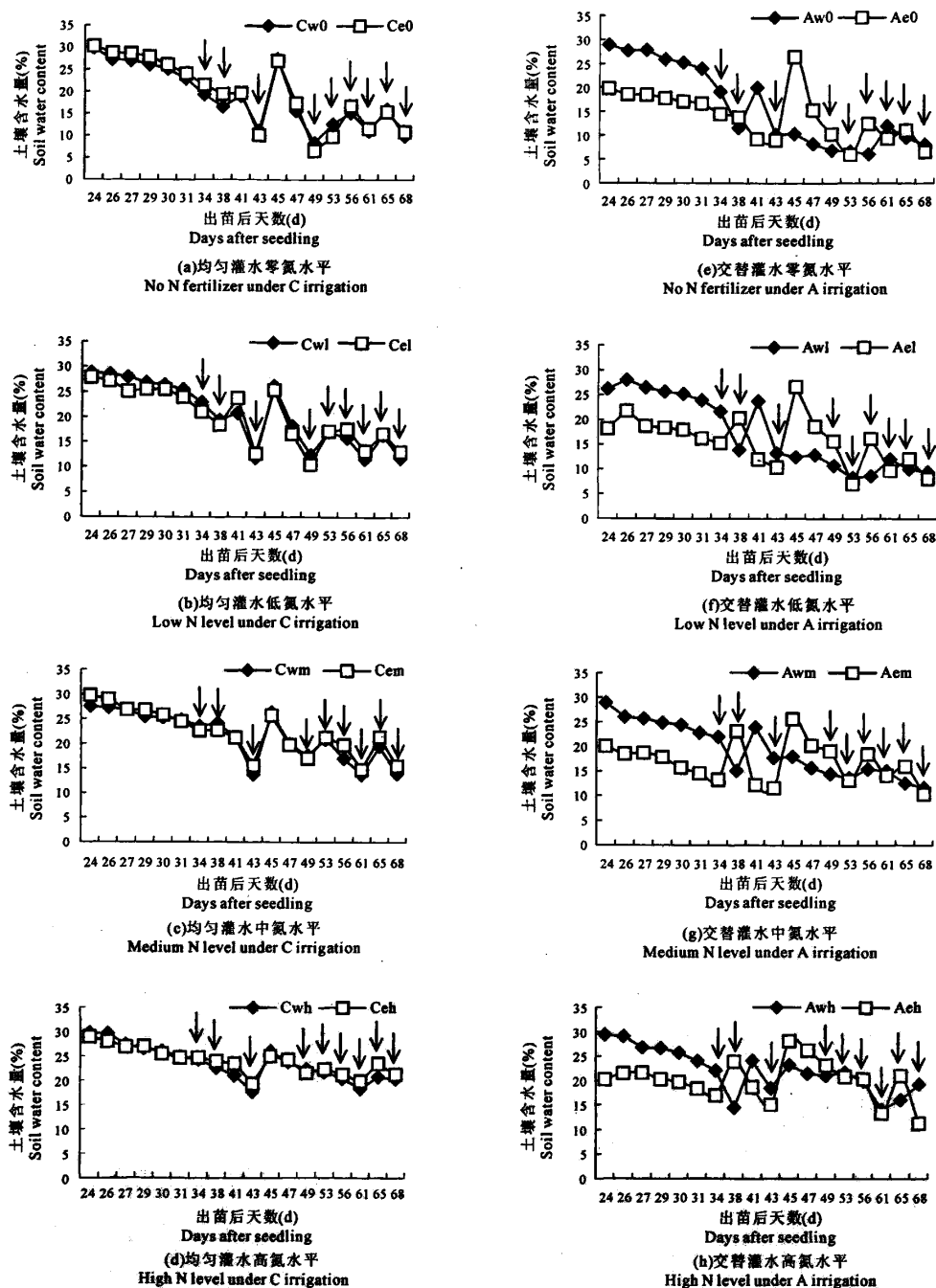
将图1与图2相同施氮水平(施氮区氮素浓度相同)下不同施氮方式两个根区土壤水分的变化趋势进行比较可以看出,均匀灌水条件下,出苗34d以前,无论是均匀施氮或局部施氮,玉米两个根区间含水量差异不大。出苗34d以后,均匀施氮两个根区的含水量仍然非常接近;而局部施氮则表现为,施氮区的含水量明显大于未施氮区,尤以高水平施氮

表现更为突出。而且,这种趋势在灌水前表现尤为明显。

图1和图2表明,交替灌水条件下,出苗53d以前,无论施氮方式如何,玉米两个根区的含水量均呈交替变化;53d以后,均匀施氮和低水平局部施氮仍然是灌水区的含水量大于非灌水区,但中、高水平局部施氮下,无论施氮区是灌水区还是非灌水区,不同根区的土壤含水量始终表现为,施氮区较之未施氮区显著增大,且高氮水平的增幅更大。

比较图1b与图2b,图1f与图2e可以看出,相同的总施氮量采用不同方式施用时,根区含水量的变化呈现出与上述类似的规律,且以交替灌水条件下表现更为明显。

以上分析表明,局部根区施用氮肥,可以使施肥区灌水前的土壤含水量增大,使不同根区的土壤水分趋于不均匀。而且,这种影响随施氮水平的提高而增强,在高氮水平下甚至掩盖了灌水方式对土壤水分的影响。



注:箭头↓示灌水时间。Cw0, Cw1, Cw1, Cw1, Ce0, Ce1, Cem, Ceh, Aw0, Aw1, Aw1, Aw1, Ae0, Ae1, Aem, Aeh 分别代表各处理的根区,其中,C—传统均匀灌水,A—根系分区交替灌水,w,e代表两个不同根区,0,1,m,h分别代表零、低、中、高各施氮水平。下同。

Note: The arrow indicates the date of irrigation. Cw0, Cw1, Cw1, Cw1, Ce0, Ce1, Cem, Ceh; Aw0, Aw1, Aw1, Aw1, Ae0, Ae1, Aem, Aeh indicate different root zones. Here, C—conventional irrigation, A—alternate partial root-zone irrigation. w, e indicate the two root zones of potted maize respectively. 0, 1, m and h indicate zero, low, medium and high levels of N fertilizer, respectively. The same is in the following.

图 1 均匀施氮下均匀灌水及交替灌水各根区土壤水分的动态变化

Fig.1 Change of soil water content in each root zone with time under C and A irrigation for conventional fertilization

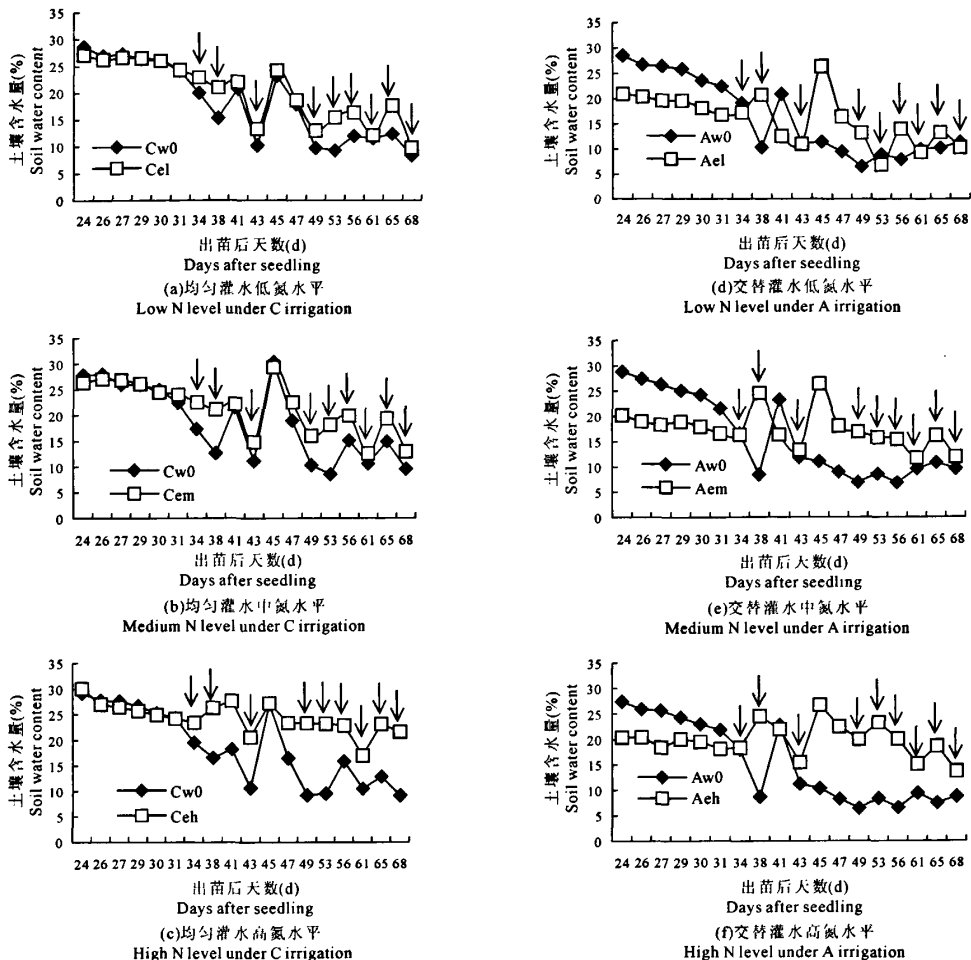


图 2 局部施氮下均匀灌水及交替灌水各根区土壤水分的动态变化

Fig. 2 Change of soil water content in each root zone with time under C and A irrigation for partial root-zone fertilization

2.3 增施氮肥对不同根区土壤含水量的影响

2.3.1 相同施氮方式不同施氮水平比较 从图 1 可以看出,均匀施氮条件下,两种灌水方式均表现为,各施氮水平相应根区灌水后测定的土壤含水量基本接近;而灌水前的剩余土壤含水量则表现为,中氮和高氮水平两个根区较之不施氮均明显增大,且随施氮水平的提高增幅变大。低氮水平有所不同:均匀灌水和交替灌水分别在 34 ~ 53 d、34 ~ 56 d 内,低氮水平也有提高土壤含水量的趋势,但之后与不施肥间的差距缩小。说明增施氮肥使土壤含水量增大,且增幅及持续时间均随施肥水平的提高而增大。同时,这种影响主要体现在灌水前的剩余土壤含水量上,因而下文主要就灌水前的土壤含水量进行讨论。

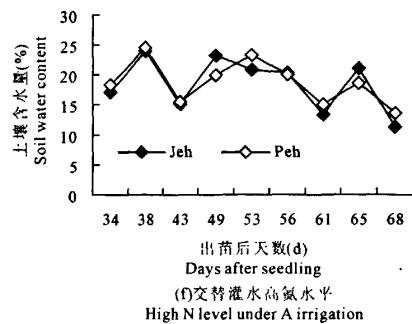
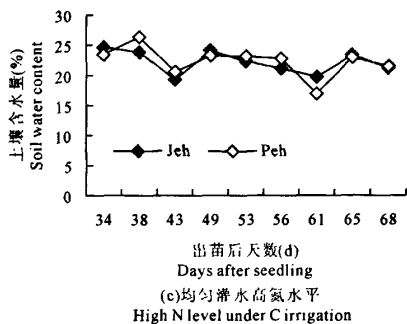
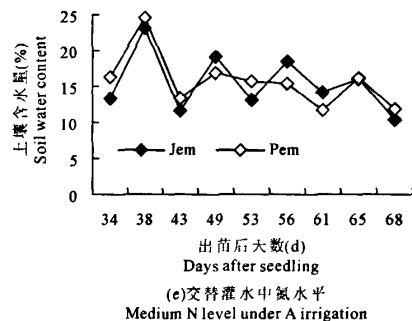
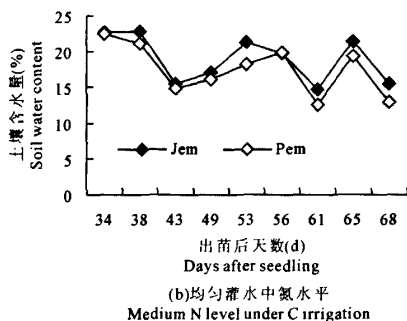
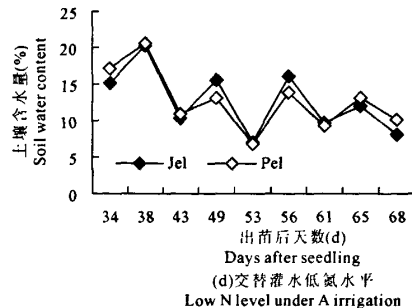
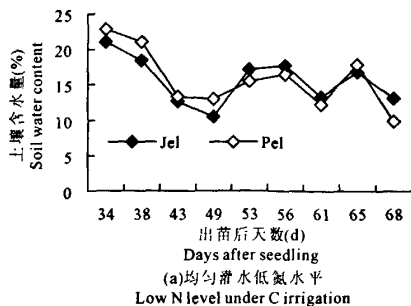
局部施氮条件下,两个根区灌水前的土壤含水

量随施氮水平的变化规律有所不同。图 2 表明,其施肥区的土壤含水量表现为,低氮处理在均匀灌水和交替灌水下分别在 34 ~ 53 d、34 ~ 49 d 内明显增大,之后与零氮水平接近;两种灌水方式下中氮处理在前期表现一致,均使施肥区土壤含水量明显增大,但后期均匀灌水下的增幅明显减小,而交替灌水仍有较大增幅;高氮处理在整个试验期间均明显增大了施肥区的土壤含水量。而且,增幅随施氮水平的提高而增大。无论是均匀灌水或根系分区交替灌水,各施氮水平下未施肥区的土壤含水量相近,38 d 以前中氮水平的土壤含水量还低于零水平,53 d 以后均匀灌水条件下低氮水平亦有降低土壤含水量的趋势。可见,局部施肥条件下,未施肥区的土壤含水量并未增大,而施肥区灌水前的土壤含水量与均匀施氮规律相同,随施氮量的增大而增加,而且,交替

灌水下增施氮肥的影响比均匀灌水更加明显。

2.3.2 不同施氮方式相互比较 图3表明,无论是均匀灌水或根系分区交替灌水,相同施氮水平条件下(施氮区氮素浓度相同),低、中、高氮水平均表现

为,局部施氮时施肥区的土壤含水量与均匀施氮相近。可见,施肥区灌水前的土壤含水量高低与该根区的施氮水平有密切关系,不受相邻根区氮肥施用状况的影响。



注: Pel, Pem, Peh; Jel, Jem, Jeh 分别代表各处理的不同根区。其中, J—整个根区均匀施肥, P—局部根区施肥。

Note: Pel, Pem, Peh; Jel, Jem, Jeh indicate different root zones. J—conventional fertilization, P—partial root-zone fertilization.

图3 均匀和交替灌水方式下施氮方式对施肥区土壤含水量的影响

Fig.3 Effect of N fertilization method on soil water content in the fertilized root zone under C and A irrigation

综合上述分析可以看出,无论均匀灌水或交替灌水,无论均匀施氮还是局部施氮,各根区灌水前的土壤含水量不受相邻根区氮肥施用状况的影响,主要取决于该根区是否施用氮肥及施肥水平的高低,即取决于施入后土壤中氮素浓度的高低,增加施氮水平会使灌水前土壤含水量增大。

3 讨论

目前,关于水分、养分均匀供应条件下土壤水分状况的研究已很深入^[10,11],关于水分非均匀供应条

件下也有一些报道^[12,13],而关于养分非均匀供应、特别是水分、养分同时非均匀条件下作物不同根区水分状况方面,尚鲜见报道。本研究表明,与交替灌水条件下类似,局部施氮条件下不同根区间土壤含水量也有较大差异。但二者的实质不同,前者体现在灌水后,是人为调控的土壤水分有效性差异;后者体现在灌水前剩余的土壤水含量上,这可能是局部施氮增加了施氮区土壤溶质的浓度,降低土壤水的渗透势,从而使土壤水分的有效性降低,不易被作物吸收而使更多的水分保留在土壤中。本研究中无论

均匀灌水或交替灌水,无论均匀施氮还是局部施氮,不同根区灌水前的土壤含水量不受相邻根区氮肥施用状况的影响,主要取决于该根区是否施用氮肥及施肥水平的高低,增加施氮水平会使灌水前剩余的土壤含水量增大的结果证实了这一点。

本研究得出,均匀灌水在出苗后 34 d(施肥后 21 d)、交替灌水在出苗后 53 d(施肥后 40 d),局部施肥对灌水前剩余土壤水含量的影响才表现出来,这与两种灌水方式下各根区土壤的灌水频率相差 1 倍有关。氮素在土壤中的迁移与水分有密切关系^[14]。本研究中,氮肥随灌水通过灌水管施入,这样施入的氮素刚开始集中在灌水管附件,随着后续水分的灌入才开始了随水在土壤中的迁移,表现出降低土壤水势、增加土壤水分保留的作用。同时,本研究表明,交替灌水与均匀灌水均表现为,增施氮肥可使灌水前的剩余土壤水含量提高,且增幅及持续时间均随施肥水平的提高而增大。进一步说明了施肥因增加土壤溶质而提高土壤的保水能力,施肥对灌水前剩余土壤水含量的影响与施氮水平及测定时间有密切关系。

前人的研究也表明^[15,16],施肥可以提高土壤的保水能力。事实上,施肥在提高土壤保水能力的同时,必然降低了作物对水分的吸收与消耗。因此,在农业生产的水肥管理实践中,既要避免灌水过多施肥不足导致的水分利用效率降低,又要避免因施肥量相对过大降低水分有效性,从而导致水分利用效率减小的副作用发生,对作物协调供应水分与氮素,实现水氮综合高效利用。关于水氮协调供应问题,研究者已就水分、养分均匀供应条件下进行了很多深入的研究^[17,18]。而关于局部灌水施肥条件下,如何进行水分与氮素的优化管理,尚需进一步深入探索。

4 结 论

1) 均匀施氮条件下,均匀灌水时玉米两个根区的土壤含水量始终相近,而交替灌水则表现为,两根区土壤含水量大小呈交错变化,总是灌水区大于非灌水区,而且,在灌水后相差较大,灌水前接近。

2) 均匀灌水条件下,均匀施氮时玉米两个根区的土壤含水量始终非常接近,局部施氮则不同:施氮区的含水量明显大于未施氮区,尤以高水平施氮表现突出,而且,这主要表现在灌水前的土壤含水量上。

3) 交替灌水局部施肥条件下,交替灌水和局部施肥所造成的作物根区土壤水分状况的不均匀性同时存在,前期或低氮水平下以交替灌水的影响为主,

中、高氮水平在后期以局部施氮影响为主。

4) 无论均匀灌水或交替灌水,无论均匀施氮还是局部施氮,不同根区灌水前的土壤含水量不受相邻根区氮肥施用状况的影响,主要取决于该根区是否施用氮肥及施肥水平的高低,增加施氮水平会使灌水前剩余的土壤含水量增大,增幅及持续时间均随施肥水平的增大而增加。

参 考 文 献:

- [1] 康绍忠,张建华,梁宗锁,等.控制性交替灌溉——一种新的农田节水调控思路[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):1—6.
- [2] 段爱旺,肖俊夫.控制交替隔沟灌中灌水控制下限对玉米叶片水分利用效率的影响[J].作物学报,1999,25(6):766—771.
- [3] 康绍忠,蔡焕杰.作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [4] Stoll M, Loveys B, Dry P. Hormonal changes induced by partial root-zone drying of irrigated grapevine[J]. J Exp Bot, 2000,51:1627—1634.
- [5] Kang S Z, Zhang J. Controlled alternate partial root - zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency[J]. J Exp Bot, 2004,55:2437—2446.
- [6] 李世清,田霄鸿,李生秀.养分对旱地小麦水分胁迫的生理补偿效应[J].西北植物学报,2000,20(1):22—28.
- [7] 穆兴民著.水肥耦合效应与协同管理[M].北京:中国林业出版社,1999.
- [8] Jackson R B, Caldwell M M. The scale of nutrient heterogeneity around individual plants and its quantification with geostatistics[J]. Ecology, 1993,74:612—614.
- [9] Jackson R B, Caldwell M M. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants[J]. J of Ecology, 1993,81:683—692.
- [10] 孙昭萱,张 强,王 胜.土壤水热耦合模型研究进展[J].干旱气象,2009,27(4):373—380.
- [11] 李韵珠.土壤和作物水分的有效利用[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [12] Kang S Z, Shi P, Pan Y H, et al. Soil water distribution, uniformity and water use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas[J]. Irrigation Science, 2000,19:181—190.
- [13] 潘英华,康绍忠,杜太生,等.交替隔沟灌溉土壤水分时空分布与灌水均匀性研究[J].中国农业科学,2002,35(5):531—535.
- [14] 李生秀等著.中国旱地土壤植物氮素[M].北京:科学出版社,2008.
- [15] 张富仓,康绍忠,李志军,等.施肥对旱地土壤供水特征的影响[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5~6):408—410.
- [16] 唐小明.有机肥的保水培肥效果及对冬小麦产量的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):130—132.
- [17] 冯绍元,王凤新,黄冠华.喷灌条件下花生水肥耦合效应的田间试验研究[J].农业工程学报,1998,14(4):98—102.
- [18] 王凤仙,陈 研,李韵珠.土壤水氮资源的利用与管理.Ⅲ.冬小麦—夏玉米水氮管理措施的优化[J].植物营养与肥料学报,2000,6(1):18—23.

(英文摘要下转第 21 页)

Characteristics of evaporation from perforated plastic film in drip irrigation under film mulching in arid areas

WANG Chun-xia¹, WANG Quan-jiu^{1,2}, ZHUANG Liang³, SHAN Yu-yang², ZHANG Ming³

(1. Institute of Water Resources, Xi'an University Technology, Xi'an, Shanxi 710048, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shanxi 712100, China;

3. Xinjiang Institute of Water Conservation and Hydraulic Power, Wulumqi, Xinjiang 830049, China)

Abstract: Plastic film mulching has been widely used in crop planting in arid areas, but due to the seeding holes and other factors, entire mulching can not be performed in the field, and this must affect the distribution of soil water and salt content. Evaporation was simulated with different holes opening ratio to study the dynamic distribution characteristics of wetness van and soil water and salt transfer with different holes opening ratio in evaporation process. The results indicated that vertical wetness distances were increasing with the elongation of evaporation time, and the increment was the biggest after a day of evaporation; The vertical wetness distances were depressed with holes opening ratio increasing at the end of evaporation. The soil water content was inducing with the extension of evaporation time, it was the most rapid in the top layer, but it increased in the bottom of soil profile; The soil salt content was increasing in top and bottom layers. At the end of evaporation the soil water content was reducing with hole opening ratio increasing at the same profile position, but the increased salt content accumulated at top layer was getting higher with hole opening ratio increasing, and the soil salt content of lower profile was moving along inclined below direction, and assembled in the wetness van. There was fine linear relationship between cumulative evaporation and evaporation time, and there was also powerful function relationship between cumulative evaporation increment and open holes ratio.

Keywords: hole opening ratio; wetness van; cumulative evaporation; increased salt content accumulated

(上接第 6 页)

The dynamic change of soil water content in root zones of maize under localized supplies of water and nitrogen fertilizer

HU Tian-tian¹, ZHANG Mei-ling², KANG Shao-zhong^{1,3}

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Survey and Design of Water Conservancy and Hydropower in Inner Mongolia,

Hohhot 010020, China; 3. Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The soil water content in different root zones under localized supplies of water and nitrogen fertilizer was studied with maize grown in split-root containers. Maize was irrigated in both halves of the pot (C) or water was alternatively supplied to two halves of the pot (alternative partial root-zone irrigation treatment, A). Urea was applied to both halves of the pot (J) or was fertilized to one half of the pot while the other half was kept without N fertilizer (partial root-zone fertilization treatment, P), all with four levels of fertilization, i. e. zero, low, medium and high. For J-fertilization, the soil water content (SWC) was the same for two root zones under C-irrigation while SWC of two root zones changed alternatively and SWC of the irrigated zone was always larger than that of the non-irrigated zone under A-irrigation, and this was more obvious after irrigation. For both C-irrigation and A-irrigation, N fertilization increased the residual SWC before irrigation. Moreover, both the increment and duration rose with N rates. For C-irrigation, the residual SWC in two root zones was equal under J-fertilization while the residual SWC of the fertilized zone was significantly larger than that of the non-fertilized zone under P-fertilization. Under A-irrigation and P-fertilization, both partial root-zone irrigation and partial root-zone fertilization caused the asymmetry of SWC in two root zones. Moreover, the effect of partial root-zone irrigation was larger than that of partial root-zone fertilization for low N rate and the early time after fertilization, and the effect of partial root-zone fertilization was larger than that of partial root-zone irrigation for medium and high N rates and the late time after fertilization. Higher N fertilization could increase the capacity of soil water conservation for both two irrigation and two fertilization methods.

Keywords: partial root-zone irrigation; partial root-zone fertilization of nitrogen; soil water content; different root zones; maize