

文章编号: 1005-0906(2008)04-0021-05

中国玉米需水量与需水规律研究

肖俊夫, 刘战东, 陈玉民

(中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 中国春玉米需水量变化在 400 ~ 700 mm, 自东向西逐渐增加, 低值区在东部牡丹江一带, 高值区在新疆哈密一带。夏玉米需水量变化在 350 ~ 400 mm, 济南附近为高值区; 春玉米需水高峰期 of 7 月中旬至 8 月上旬, 即拔节 - 抽穗阶段, 日耗水量达 4.5 ~ 7.0 mm/d。夏玉米需水高峰期为 7 月中下旬至 8 月上旬, 同样在拔节 - 抽穗阶段, 日耗水量达 5.0 ~ 7.0 mm/d。春玉米和夏玉米生长期棵间蒸发量分别占需水量的 50% 和 40%。

关键词: 玉米; 需水量; 需水规律; 水分生产函数

中图分类号: S513; S274.1

文献标识码: A

Study on the Water Requirement and Water Requirement Regulation of Maize in China

XIAO Jun-fu, LIU Zhan-dong, CHEN Yu-min

(Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China)

Abstract: Water requirement of spring maize has changed in the range of 400 – 700 mm in China, and it gradually increases from east to the west. The lowest value exists on the eastern area of mudanjiang river, and the highest value exists on the eastern Xinjiang area, water requirement of summer maize has changed in the range of 350 – 400 mm in China, which the highest value exists nearby Jinan. The peak period of spring maize water need is from the middle of July to the beginning of August, that is from jointing to heading stage, the diurnal water consumption is 4.5 – 7.0 mm/d, the peak period of summer maize water need is from the middle of July(or the end of July) to the beginning of August, that is from jointing to heading stage, the diurnal water consumption is 5.0 – 7.0 mm/d. Soil surface evaporation of spring and summer maize account for 50% and 40% of water requirement in the whole stage, respectively.

Key words: Maize; Water requirement; Water requirement regulation; Water production function

玉米是中国主要农作物, 种植面积已达 2 735 万 hm^2 。尽管玉米种植区遍布全国, 但根据种植适宜程度又比较集中的分布在从东北三省西部延伸到晋、冀、鲁、豫、陕走向西南这一狭长地带, 称为中国的玉米带。该玉米带玉米种植面积占全国面积的 70%, 产量接近全国产量的 4/5。从地理学角度看玉米带跨越不同的气候类型区, 从东北西部的半干旱地区到华北半湿润地区至西南的湿润地区, 从春玉

米到夏玉米其生长期需水量变化很大, 其灌溉需水量变化也很大。玉米需水量是指玉米生长期在适宜的土壤水分条件下的棵间蒸发量与叶面蒸腾量的总和, 是玉米本身生物学特性与环境条件综合作用的结果, 在一定产量条件下, 在一定地区是相对稳定的一个数值, 它既是玉米栽培管理制定灌溉制度的依据, 也是农田水利工程设计的的基本参数。

1 中国玉米需水量的空间变化

1.1 春玉米

中国春玉米主要分布在东北、西北两大地区。种植面积占玉米总面积的 40% 以上。春玉米分布跨越了两个气候区, 即东北的半干旱地区到西北的干旱地区。其需水量、灌溉需水量有明显的差异。根据上世纪 90 年代初中国农业科学院农田灌溉研究所的

收稿日期: 2008-06-03

基金项目: 国家“863”项目“主要作物高用水生理调控与非充分灌溉”(2002AA2Z4031)。

作者简介: 肖俊夫(1961-), 男, 辽宁庄河人, 副研究员, 主要从事节水灌溉基础理论研究。Tel: 0373-3393384

E-mail: xiaojunfu61@163.com

试验研究表明,当春玉米产量为 $10\,500 \sim 120\,00\text{ kg/hm}^2$ 时,其需水量变化在 $400 \sim 700\text{ mm}$ 。需水量最低值(400 mm)在东北的东部牡丹江、佳木斯一带,向西需水量逐渐增大,到新疆哈密一带为 700 mm ,需水量变化的总趋势是西部高、东部低。这主要是受气候条件影响,尤其是生长期中辐射量的影响。

由春玉米生长期多年平均需水量与多年平均降雨量平衡分析计算了春玉米缺水量。结果表明,在东北的东部地区如黑龙江的牡丹江一带春玉米生长期缺水仅为 50 mm ,向西逐渐增大为 $300 \sim 400\text{ mm}$ 。缺水最大的地区为甘肃西部,其值达到 700 mm 。春玉米生长期缺水实际上就是灌溉需水量(灌溉定额),据此可以设计春玉米生长期的灌溉制度与确定灌溉工程投资方向。

1.2 夏玉米

中国夏玉米分布范围较广,从华北中南部、黄淮海一带直到南方诸省与西南地区均有夏玉米种植。但是夏玉米生长期恰处雨季,夏玉米需水与当地雨、热同步,除华北地区、黄淮地区外均无明显的灌溉要求。在华北与黄淮地区夏玉米缺水主要发生在大喇叭口期,即拔节初期,恰在 7 月雨季到来之前。进入 7 月雨季基本无需灌溉。中国夏玉米产量为 $10\,500 \sim 12\,000\text{ kg/hm}^2$ 时,需水量变化在 $350 \sim 400\text{ mm}$,在济南附近为高值区达 400 mm 左右。另外在西安至运城一线为高值区为 400 mm ,其它广阔地区基本上变化范围在 $300 \sim 350\text{ mm}$ 。

同样由水量平衡分析计算了夏玉米缺水量。结果表明,夏玉米缺水变化在 $50 \sim 200\text{ mm}$ 之间,石家庄附近及以北地区缺水为 0 。郑州附近缺水为 100 mm ,缺水高值区在西安至运城一线为 200 mm 。郑州、西安、运城为高脊背从这一区向南向北缺水逐渐减少。

2 玉米主要种植区玉米需水规律与日需水量变化过程

2.1 玉米日需水量变化过程线

2.1.1 春玉米

中国春玉米生长期从东北到西北,基本上从 5~9 月。需水高峰期在拔节-抽穗阶段,一般从 7 月中旬到 8 月上旬,需水高峰期的日耗水量在 $4.5 \sim 7.0\text{ mm}$ (图 1)。黑龙江西部地区最高达 6.9 mm/d 。春玉米日耗水量过程线给出玉米整个生育期的日耗水量变化过程,对于指导作物生长期田间水分管理及高产栽培田间运作具有十分重要的作用。

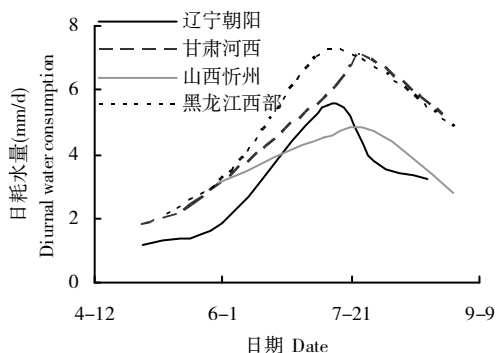


图 1 春玉米日耗水量过程线

Fig.1 The hydrograph of diurnal water consumption on spring maize

2.1.2 夏玉米

中国夏玉米主要分布在华北中南部与黄淮地区,与冬小麦轮作一般在 6 月播种 9 月收获,恰处在雨季。由河南新乡、山东济南、安徽蚌埠 3 地的夏玉米日需水量过程线(图 2),需水高峰期在 7 月中下旬至 8 月上旬,即拔节-抽穗期。此间日需水量强度在 $5.0 \sim 7.0\text{ mm/d}$ 之间。但该期一般年份为雨季,降雨量较多,降雨次数频繁,无需灌溉。有时要注意排涝,及时排除田间积水防止渍涝危害。苗期日需水量强度在 $2.5 \sim 3.0\text{ mm/d}$ 之间,后期灌浆阶段日需水强度为 3.0 mm/d 。

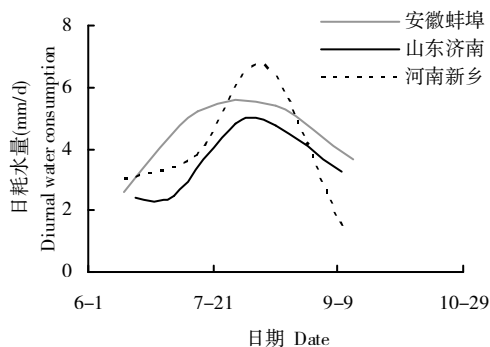


图 2 夏玉米日耗水量过程线

Fig.2 The hydrograph of diurnal water consumption on summer maize

2.2 玉米生育期阶段需水量与模系数

2.2.1 春玉米

春玉米阶段需水量是指每个生育期的需水量。根据阶段需水量与阶段内的有效降雨量平衡计算,可得到该期的灌溉定额,用于指导灌溉管理,对制定每个地区的灌溉制度是很重要的参数。模系数是指某阶段的需水量占全期需水量的比例,可看出每个生育期阶段的需水量在全生育期的权重数。对指导

灌溉与田间水分管理也是很重要的参数。从表 1 中看出抽穗期需水强度最高。在东北辽宁西部地区为 4.56 mm/d,山西 4.7 mm/d,而在甘肃河西竟高达 7.1 mm/d。说明该期春玉米对水需求强烈,是需水的敏感期,确保该期春玉米对水分的要求对其高产、稳产是十分重要的。需水系数由于各地生育期差异较大没有明显的变化规律。

2.2.2 夏玉米

从表 2 可以看出,夏玉米需水高峰期在拔节期—抽穗期需水强度为 5.0~7.0 mm/d 之间。河南、山东、山西与安徽各有不同,但基本上在这个范围变化。与春玉米相似,这一个时期夏玉米对水分也十分敏感,保证该期玉米对水分的需求确保夏玉米稳产增收十分重要。阶段需水量变化没有明显规律,一般在苗期与灌浆期阶段需水量较大。尽管需水强度不高,但因时段较长,阶段总量还是比较大的。

表 1 春玉米需水规律及模系数
Table 1 The rules of water need and mode coefficients for spring maize

地 区 Regions	项 目 Items	苗 期 Seedling	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Grain filling	全生育期 Whole growth period
辽宁西部	天数(d)	50.00	39.00	18.00	37.00	144.00
	阶段需水量(mm)	118.40	165.50	82.00	117.40	483.30
	模系数(%)	24.50	34.20	17.00	24.30	100.00
	日耗水量(mm)	2.34	4.24	4.56	3.17	3.36
山西忻州	天数(d)	56.00	21.00	25.00	43.00	145.00
	阶段需水量(mm)	172.40	94.80	117.40	121.90	506.50
	模系数(%)	34.00	18.70	23.20	24.10	100.00
	日耗水量(mm)	3.08	4.51	4.70	2.83	3.49
甘肃河西	天数(d)	65.00	20.00	18.00	50.00	153.00
	阶段需水量(mm)	144.20	121.00	127.90	262.10	655.20
	模系数(%)	22.00	18.50	19.50	40.00	100.00
	日耗水量(mm)	2.72	6.05	7.10	5.24	4.28

表 2 夏玉米需水规律及模系数
Table 2 The rules of water need and mode coefficients for summer maize

地 区 Regions	项 目 Items	苗 期 Seeding	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Grain filling	全生育期 Whole growth period
河南新乡	天 数(d)	35.00	19.00	8.00	26.00	88.00
	需水量(mm)	99.70	56.70	55.90	75.90	288.20
	模系数(%)	34.60	19.70	19.40	26.30	100.00
	日耗水量(mm)	2.85	2.98	6.98	2.92	3.28
山东济南	天 数(d)	32.00	20.00	19.00	25.00	96.00
	需水量(mm)	78.70	96.20	90.80	80.50	346.30
	模系数(%)	20.90	25.00	24.80	29.30	100.00
	日耗水量(mm)	2.44	4.81	4.78	3.22	3.61
山西运城	天 数(d)	30.00	31.00	20.00	31.00	112.00
	需水量(mm)	71.40	150.40	131.20	74.70	427.70
	模系数(%)	16.70	35.20	30.70	17.40	100.00
	日耗水量(mm)	2.38	4.85	6.56	2.41	3.82
安徽蚌埠	天 数(d)	33.00	20.00	11.00	28.00	92.00
	需水量(mm)	86.10	125.80	58.90	130.40	401.20
	模系数(%)	21.40	31.40	14.70	32.50	100.00
	日耗水量(mm)	2.61	6.29	5.36	4.66	4.36

2.3 玉米需水量中棵间蒸发与叶面蒸腾量的变化
作物需水量实际上是由叶面蒸腾量与棵间蒸发

量两部分组成。由于作物种植密度不同,棵间蒸发量与叶面蒸发量的比例不同。研究结果表明,夏玉米的

棵间蒸发量占总需水量比例为 40%左右,春玉米所占比例稍高一些约 50%。一般随着产量水平提高棵间蒸发的比例在逐渐降低。棵间蒸发量对玉米产量形成没有意义。但它又不可避免,随着栽培水平的提高可以使其逐渐降低,如覆膜或其它材料覆盖可以降低棵间蒸发量。灌溉措施的改善、局部灌溉方法的使用可明显的降低棵间蒸发量,实现高产节水的目标。

内蒙古丰田灌溉试验站春玉米试验研究表明,当玉米产量为 15 618 kg/hm² 时,其棵间蒸发量占总需水量的比例为 30.85%;当产量为 14 400 kg/hm² 时,其比例为 38.47%;当产量降低至 10 179 kg/hm² 时,其比例为 49.57%。这表明随着产量提高,棵间蒸发量占需水量的比例有降低的趋势。

3 玉米产量与需水量关系

作物产量与需水量的关系研究,又称为作物水分生产函数研究,从国内外研究现状看可分为 3 个阶段。第一阶段从中国上世纪 50 年代到 80 年代初。该阶段特点是对作物需水量没有明确的定义,对灌溉土壤水分没有明确的限定,就是研究不同灌溉定额下的作物需水量(耗水量)与产量关系。土壤水分可以从不足、适宜、到过量,其田间需水量从小、适中、到过大。此时,作物产量与需水量一般呈二次抛物线函数关系。更严格的讲这一阶段研究的玉米不同需水量与产量的关系应为玉米耗水量与产量的关系。第二阶段为 80 年代初期至末期,是全国主要农

作物需水量协作研究时期。对农田的土壤水分给以限定。当时把作物需水量定义为:适宜的土壤水分条件下,作物经过正常的生长达到正常产量条件下的农田蒸发量为作物需水量,据此得出作物产量与需水量关系为直线或近似于直线的幂函数关系。第三个阶段从上世纪 80 年代末期至今,为作物水分生产函数分阶段模型研究阶段,如 Jensen 模型的引入,使中国作物产量与需水量研究进入一个新的历史时期。使用这一模型可以较准确的计算出作物不同生育阶段需水量与产量的关系变化。若该模型拟合的结果准确,那么就可人为地进行“以水定产”或“以产定水”的研究,上世纪 90 年代初农田灌溉研究所作物室曾利用已有的试验资料拟合黄河流域冬小麦、夏玉米、棉花的 Jensen 模型中的有关参数,用于黄河流域水资源经济模型计算并取得了较好的结果,其 Jensen 模型的形式为:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_{ci}}{ET_{cmi}} \right)^{\lambda_i}$$

式中:Y_a—作物在某一供水条件下的实际产量,kg/hm²;Y_m—作物在供水充足条件下的最大产量,kg/hm²;ET_{ci}—作物第 i 个生育阶段的实际耗水量,mm;ET_{cmi}—作物在充分供水条件下第 i 个生育阶段的最大耗水量,mm;n—整个生育期划分的生育阶段数量;i—表示第 i 个生育阶段;λ_i—作物第 i 个生育阶段对缺水的敏感指数。

利用各地区夏玉米现有的试验资料,通过非线性回归分析拟合得出 Jensen 模型参数(表 3)。

表 3 夏玉米 Jensen 模型参数
Table 3 Jensen model parameters for summer maize

地 区 Regions	参 数 Parameters	苗 期 Seeding	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Grain filling	产量(kg/hm ²) Yield
山西晋中	λ	0.049	0.149	0.173	0.103	9 946.5
	ET _{cm} (m ³ /667 m ²)	52.900	94.300	117.300	97.100	
陕西宝鸡峡	λ	0.106	0.167	0.261	0.246	7 725.0
	ET _{cm} (m ³ /667 m ²)	57.600	91.700	100.000	33.700	
河南新乡	λ	0.020	0.131	0.170	0.083	7 734.0
	ET _{cm} (m ³ /667 m ²)	45.800	50.800	72.800	73.900	
山东鲁西南	λ	0.076	0.292	0.441	0.238	9 690.0
	ET _{cm} (m ³ /667 m ²)	42.700	90.500	89.800	77.100	

4 现代玉米产业化技术体系中玉米需水量研究

4.1 玉米水分生产函数研究

在东北玉米带、华北地区、黄淮夏玉米区、西北

地区有重点的利用已有的灌溉试验站网系统开展玉米水分生产函数研究。研究一系列不同供水条件下,供水量与产量之间的函数关系,确定相应的函数模型与参数,积累资料。而后用系统工程中动态规划的方法,计算优化灌溉方案。在水资源不足条件下进行

以水定产或以产定水的灌溉方案研究,也为干旱、严重干旱地区制定玉米安全生产灌溉预案进行前期研究工作。同时玉米水分生产函数研究也将为大面积旱灾评估(或涝灾评估)提供最直接参考数据。

4.2 玉米非充分灌溉定额研究

在水资源充分条件下适时进行灌溉可获得玉米的最高产量。但实际上我国玉米带受季风气候的影响,干旱时有发生,水资源短缺是常态的基本现实,需要进行非充分灌溉。非充分灌溉定额及产量预期等并没有得到深入细致的研究。应尽早开展这方面的研究工作。生产实践中在预知水资源不足条件下,准确的预计产量变化,为国民经济计划提供依据。

参考文献:

[1] 陈玉民,郭国双.中国主要作物需水量与灌溉[M].北京:水利电

力出版社,1995.

- [2] 李守谦,兰念军.干旱地区农业作物需水量及节水灌溉研究[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1992.
- [3] 全国主要农作物需水量图协作组.中国主要农作物需水量图研究[M].北京:中国农业科技出版社,1991.
- [4] 孙景生,肖俊夫,段爱旺,等.夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响[J].玉米科学,1999,7(2):45-48.
- [5] 孙景生,肖俊夫,张寄阳,等.夏玉米产量与水分关系及其高效用水灌溉制度[J].灌溉排水学报,1998,17(3):17-21.
- [6] 肖俊夫,刘战东,段爱旺,等.中国主要农作物全生育期耗水量与产量的关系[J].中国农学通报,2008,24(3):430-434.
- [7] 陈玉民,肖俊夫,王宪杰,等.非充分灌溉研究进展及展望[J].灌溉排水学报,2001,20(2):73-75.
- [8] FAO. Relationship between crop production with water resources[M]. Rome:FAO, 1979.
- [9] 陈亚新,康绍忠.非充分灌溉原理[M].北京:水利电力出版社,1995.

(责任编辑:朱玉芹)