

春玉米不同种植模式农田水分 利用效率的研究

梁金萍 郭 忠 魏新平

(甘肃农业大学·兰州·730070)

摘 要 研究了甘肃河西走廊地区春玉米在不同种植模式下的干物质积累动态、籽粒产量、经济效益和能量产出各指标及相应的农田水分利用效率 WUE。春玉米不同种植模式,对光、热、水、肥的利用效率有一定的影响,导致其干物质积累、籽粒产量和能量产出的差异。研究表明:春玉米与马铃薯间作模式的籽粒产量和经济产量效率均最高,春玉米与小麦套种模式的能量产出效率最高。河西走廊灌溉区节水高效种植模式首先应是春玉米与马铃薯间作、春玉米与小麦套种,其次为春玉米与黄豆间作。

关键词 春玉米 种植模式 水分利用效率

Water Use Efficiency of Different Planting Pattern of Spring Maize

Liang Jinping Guo Zhong Wei Xinping

(Agricultural University of Gansu, Lanzhou, 730070)

Abstract Some characteristic of different planting pattern of spring maize, such as the accumulation of dry matter, the yield of seed, the economic efficiency, the energy output and their water use efficiency, are researched. Different planting pattern of spring maize affects its use efficiency of sun light, heat, water and fertilizer, which leads to divergence of its accumulation of dry matter, yield of seed, the economic efficiency and the energy output. According to farm experiment, it is certain that the pattern of intercropping spring maize with potato produced the highest yield of seed and the highest economic efficiency, the pattern of interplanting spring maize with spring wheat produced the highest energy output. As a result, the high efficiency and saving water pattern of spring maize, first is that of intercropping spring maize with potato, second is that of interplanting spring maize with spring wheat, third is that of intercropping spring maize with soyabean in the irrigation area of Hexi Corridor in Gansu province.

Key words spring maize planting pattern water use efficiency

提高农田水分利用效率是节水型农业的核心问题之一。近年来,就如何提高农田水分利用效率(water Use Efficiency, WUE),农业、水利、气象部门的学者、专家做了大量的工作。从水资源的合理利用^[1]、改进土壤耕作措施^[2]、培肥地力^[3]、引进作物新品种^[4]、充分利用土壤水分搞储水灌溉^[5]等方面,进行了较深入的研究,取得了一批研究成果,推动了节水农业的发展。但就不同种植模式对农田水分利用效率的研究报道较少。本文试图从作物种植模式方面研究节水型农业,探讨提高农田水分利用效率的适宜种植模式。

春玉米是河西地区的主要粮食作物之一。其播种面积仅次于小麦。春玉米与各种作物套种,是河西地区常见的种植模式。在春玉米的各种间套种模式中,究竟哪一种模式 WUE 较高?是当前节水型灌溉农业需搞清的问题。1992~1994年,我们对春玉米在不同种植模式下的干物质积累动态、籽粒产量、能量储蓄及经济效益各指标与水分利用效率 WUE 关系进行了研究,提出了河西地区春玉米的适宜种植模式。

1 材料和方法

试验品种春玉米为凉单1号。试验区位于甘肃河西走廊东部的西营灌区。海拔1 600~1 800m,年平均降雨量168.3mm,年平均温度6~9℃,年平均日照时数2 968h,年均蒸发量2 000mm。属内陆干旱荒漠气候。试验田设在西营灌区试验站内,土壤质地属中壤土。经测定田间持水量为22.27%,渗透系数为5.329cm/h,为弱透水性土壤。地下水埋藏很深,对农田土壤水分无补给。耕层土壤有机质含量1.65%,含氮0.106%,含磷0.089%,水解性氮47.8mg/kg,速效磷8.0mg/kg,速效钾含量丰富,吸湿水1.44%,pH8.23。

试验设置5种植植模式,①春玉米,②春玉米/春小麦,③春玉米/油菜,④春玉米/马铃薯,⑤春玉米/黄豆。3个肥力水平,高肥(纯N 270kg/hm²),中肥(纯N 180kg/hm²),低肥(不施肥),施氮肥时配合磷肥,配合比为N:P₂O₅=1:0.75。3个灌水水平:高灌(6000m³/hm²),中灌(4500m³/hm²),低灌(3000m³/hm²)。小区面积3m×5m。在作物整个生育期间,严格控制灌水量,做到定时定量灌水。在不同

时期测定了土壤水分动态、作物干物质积累、叶面积指数,同时观测了作物生育期及常规气象因子,收获时取样考种计产。1993年作物生育期内温度、降雨见图1。

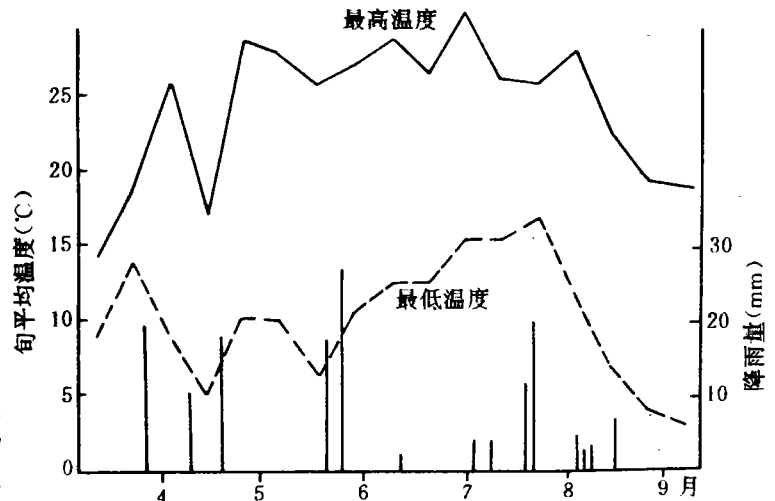


图1 春玉米生育期间气温、降雨

2 结果讨论

2.1 作物实际需水量

本文中作物实际需水量采用了两种计算方法:对于春玉米单种田的阶段需水量计算,采用联

联合国粮农组织推荐的彭曼(Penman)修正公式进行计算;对于春玉米与其它作物套种田,全生育期总耗水量的计算则用根区土壤水分平衡方程进行计算。

2.1.1 春玉米阶段需水量 春玉米阶段需水量先按修正彭曼公式:

$$E_p = C[WR_n + 0.27(1 - W)(1 + \frac{U_2}{100})(e_b - e_a)]$$

计算生育期各月潜在腾发量。式中: E_p ——作物潜在腾发量(mm/d); R_n ——到达农田的净辐射总量, U_2 ——地面以上2m 高处风速(km/d), e_b ——大气饱和水汽压(10^2 Pa), e_a ——大气实际水汽压, W 、 C ——修正系数。然后,再用式: $E = kcE_p$, 得到生育期各阶段实际需水量, kc ——作物系数。1993实验田春玉米需水量、总需水量和日需水强度见表1。

表1 春玉米实际需水量、日需水强度

生育阶段	播种~出苗	出苗~拔节	拔节~大喇叭口	大喇叭口~抽雄	抽雄~吐丝	吐丝~成熟	全生育期
实际需水量(mm)	51.47	53.11	74.18	126.60	125.73	134.92	566.01
日需水强度(mm/d)	1.471	2.795	3.709	6.33	6.617	3.212	3.628

由表可知,春玉米需水在4~6月保持较低水平,从大喇叭口开始,由于植株迅速生长和气温升高,日需水量逐渐增加,抽雄至吐丝阶段,日需水量达到最高峰,以满足灌浆的需求。各月需水量以8月最高,是春玉米需水的高峰月。随着灌浆强度的减弱和气温的降低,日需水量开始降低,春玉米全生育期需水量为566.01mm。

2.1.2 春玉米间作田的总耗水量 春玉米间作不同作物全生育期的总耗水量,可通过农田根区土壤水分平衡方程求得:

$$E = W_o - W_t + P_o + M - K$$

式中: W_o 、 W_t ——春玉米播种时、收获后的农田土壤水分含量; P_o ——春玉米生育期内的有效降雨,降雨少于5mm 不计,大小5mm 考虑80%可渗入根区; $(M - K)$ ——春玉米生育期内的灌水量和深层渗漏量,当灌水量过多,使根区土壤水分达到田间持水量时,考虑灌水引起的深层渗漏损失; E ——春玉米间套其它作物的田间耗水量。计算结果如表3。由表3知,春玉米间作不同作物,其全生育期的总耗水量不同。这与各作物本身的需水规律有关。

2.2 农田水分的干物质积累效率

作物的干物质积累反映了作物地上部分的产出,农田水分的干物质积累效率反映了作物在全生育过程中成长的情况。由试验地春玉米干物质积累观测资料和春玉米实际需水量,春玉米不同种植模式各生育期农田水分利用效率见表2。

表2 春玉米不同种植模式各生育期农田水分利用效率 ($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$)

生育阶段	播种~出苗	出苗~拔节	拔节~大喇叭口	大喇叭口~抽雄	抽雄~吐丝	吐丝~成熟
春玉米	0.18	5.34	17.81	28.20	53.81	31.74
春玉米/小麦	0.06	1.07	10.56	22.55	24.41	
春玉米/黄豆	0.09	2.51	13.20	53.25	20.16	19.58
春玉米/马铃薯	0.18	2.48	16.77	16.82	55.79	27.30
春玉米/油菜	0.06	0.60	3.77	18.29	15.55	43.86

由表2知,春玉米单种小区农田水分利用效率随温度、光照的增加,不断增加,到玉米抽雄—吐丝期,达到最大值53.81 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。之后到吐丝—成熟期又下降至37.74 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,在

全生育期出现一次高峰。从各生育阶段农田水分的干物质生产效率数值,可以看出水分对春玉米地上部生物产量的影响程度大小依次为:抽雄—吐丝>吐丝—成熟>大喇叭口—抽雄>拔节—大喇叭口,这一结果与甘肃农科院马忠明^[6]等研究的春玉米各阶段产量反映系数的变化规律有类似之处,说明二个问题:①从水分对干物质的累积速率也可反映水分对作物产量的反映。②春玉米在抽雄—吐丝阶段水分对地上部干物质积累影响最大,其次为吐丝—成熟阶段。保证此二阶段水分的适时供给,是春玉米增产的关键。对于春玉米/马铃薯小区,WUE的变化规律与春玉米单种小区的基本一致,最大值出现在抽雄—吐丝阶段,为55.79kg/(hm²·mm),其次为吐丝—成熟期。对于春玉米/黄豆小区的WUE最大值在时间上向前推到大喇叭口—抽雄阶段,其值为53.25kg/(hm²·mm),其次为抽雄—吐丝,再次为吐丝—成熟。究其原因,与黄豆地上高度低,春玉米光照条件好有关。对于春玉米/小麦、春玉米/油菜的情况,WUE则随生育期的延长而增加,均为播种出苗期最小,吐丝—成熟期最大,春玉米/油菜在吐丝—成熟期WUE最高达43.86kg/(hm²·mm)。

2.3 农田水分的籽粒产量效率

籽粒产量是农业收成的主要标志。由于玉米间作不同作物各小区总产量和各小区作物的实际耗水量得到春玉米不同种植模式下的农田水分利用率WUE,见表3。

表3 春玉米不同种植模式下农田水分利用效率

种植模式	春玉米	春玉米/小麦	春玉米/黄豆	春玉米/马铃薯	春玉米/油菜
全生育期耗水量(mm)	566.01	547.38	544.30	570.53	587.39
籽粒产量(kg/hm ²)	7043.55	7311.00	6805.35	7580.85	5902.80
WUE(kg/hm ² ·mm)	12.43	13.11	12.51	13.29	10.05
经济产量(元/hm ²)	5353.05	6061.80	5929.95	7936.80	5651.70
WUE(元/hm ² ·mm)	9.45	10.95	10.85	13.95	9.60
能量(10 ⁴ kJ/hm ²)	1.165	1.171	1.127	1.212	1.039
WUE(10 ⁴ kJ/hm ² ·mm)	2.058	2.130	2.070	2.123	1.769

由表3可知,春玉米/马铃薯的水分利用效率最高,WUE为13.29kg/(hm²·mm),其次为春玉米/小麦,WUE为13.11kg/(hm²·mm);春玉米/黄豆位第三,WUE为12.51kg/(hm²·mm);春玉米单种位第四,WUE为12.43kg/(hm²·mm);而春玉米/油菜模式的WUE则明显低于其它四种模式。按WUE绝对值大小分析知,这些模式中春玉米/马铃薯、春玉米/小麦模式为高产模式,春玉米/黄豆、春玉米单种为次高产模式,而春玉米/油菜模式为低产模式。究竟哪一种模式最优,我们再从经济、能量角度做进一步分析。

2.4 农田水的经济效益

经济效应可从籽粒产量乘当地价格得到,它可更直观地反映水分生产效率。从表3中可知,春玉米/马铃薯的经济产量效率WUE最高,为13.95元/(hm²·mm),其次为春玉米/小麦和春玉米/黄豆,它们的WUE分别为10.95和10.80元/(hm²·mm),而春玉米单种及春玉米/油菜间作模式的经济产量效率WUE较低,分别为9.45元/(hm²·mm),9.60元/(hm²·mm)。在河西地区单种春玉米经济效益不佳,而春玉米间作一些经济作物如马铃薯,则可产生较好的经济效益。从生理的角度来看,春玉米与其它作物间作可充分利用空间,增加两作物的叶面积系数,提高作物对光能的利用率,可充分利用边行优势,改善通风透光条件;可缓和作物间水肥的竞争,从而提高单位面积上总产量。特别是春玉米与马铃薯间作矛盾小,互利多,春玉米喜高温,前期气温低生长慢;而马铃薯喜冷凉耐低温,前期生长快,且耐荫能力强。能在玉米之下生长发育。马铃薯块膨大期,

适当降低地温,有利于积累干物质,提高马铃薯的品质和产量,另春玉米与马铃薯的需水高峰期在不同时期,避免了两作物争水的现象,使小区总产量最高。

2.5 农田水分的能量产出效率

农业生态系统的能量产出有食物能产出和非食物能产出。食物能产出指可直接食用的农产品所含有的能量,非食物能产出则指农副产品所含的能量。按农业生态学^[7]中对农产品的物质能量折算关系,折算后春玉米不同种植模式能量产出值和产出效率见表3。不同种植模式的能量产出值和效率是不同的。春玉米/小麦、春玉米/马铃薯模式的能量产出效率最高,分别为 $2.130 \times 10^3 \text{ kJ}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 和 $2.123 \times 10^5 \text{ kJ}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$;其次为春玉米/黄豆、春玉米单种模式,分别为 207.01×10^6 和 $2.058 \times 10^5 \text{ kJ}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$;春玉米/油菜模式的 WUE 最低,仅为 $1.769 \times 10^5 \text{ kJ}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。能量产出的效率反映了种植模式适宜当地光、热、水、肥等自然条件的产生的高效益,是一种不受市场价格影响、不受人类主观影响的客观评价指标。从能量产出效率来看,河西走廊灌区除春玉米/油菜模式外,其它几种模式:春玉米/小麦、春玉米/马铃薯、春玉米/黄豆、春玉米单种均有较高的能量产出效率,可在不同的市场价格情况下,选一、二种大力推广。

综合来看,河西地区农田水分高效率种植模式首先为:①春玉米/马铃薯②春玉米/小麦,其次为春玉米/黄豆。这几种种植模式分别有较高的籽粒产量、经济产量和能量产出效率。

4 结 论

1、春玉米不同种植模式各生育阶段水分利用效率 WUE 变化规律为:春玉米单种和春玉米/马铃薯模式的变化规律基本一致,大小依次为:抽雄—吐丝>吐丝—成熟>大喇叭口—抽雄>拔节—大喇叭口。特别在抽雄—吐丝、吐丝—成熟两阶段农田水分对地上部生物产量影响较大,是两种模式的水分关键期,这两种模式的 WUE 最大值均出现在抽雄—吐丝阶段,分别为 55.78 和 $53.81 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。春玉米/黄豆模式 WUE 最大值出现在春玉米大喇叭口—抽雄阶段,其值为 $53.25 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。春玉米/小麦、春玉米/油菜模式的 WUE 则随春玉米生育期的延长而增大。

2、春玉米不同种植模式农田水分的籽粒产量效率高低依次为:春玉米/马铃薯>春玉米/春小麦>春玉米/黄豆>春玉米>春玉米/油菜;农田水分的能量产出效率高低依次为:春玉米/小麦>春玉米/马铃薯>春玉米>春玉米/黄豆>春玉米/油菜;农田水的经济效应高低依次为:春玉米/马铃薯>春玉米/小麦>春玉米/黄豆>春玉米>春玉米/油菜。

3、从春玉米不同种植模式农田水分的籽粒产量效率、经济效应、能量产出效率综合分析可知,河西走廊灌区春玉米节水高效种植模式,首先是春玉米与马铃薯间作,春玉米与小麦套种,其次为春玉米与黄豆间作。

本文得到甘肃农业大学农学系黄高宝博士、张金文副教授指导,在此致谢!

参考文献

- 1 白肇烨,余优森.充分利用降水资源发展甘肃旱作农业.甘肃农业,1991,3
- 2 P. K. Tompkins, O. B. Flower, A. T. Wright, Water use by No-till winter influence of seed Rate and Row spw spacing, Agron. J. 1991, (83):766~769
- 3 山仑.提高半干旱地区旱地农田生产力的现实途径和未来策略.中国科学院西北水土保持研究所集刊,1988, (8):1~9

(下转第145页)

常规耕作相比,每年可节省20~40mm。

从表面上看,这个数字并不算大,不过实际节水作用大得多,只是由于后期植株生长旺盛,蒸腾量大,部分地抵消了生育前期的节水效果。如果从提高水利用效率的角度来考察,地表覆盖的实际节水量达60~200mm。

地表覆盖种植技术具有提高土壤肥力、合理利用水土资源和改善生态环境的综合效益,如能尽快解决好与其有关的一些技术问题,例如提高地膜的降解性能以消除污染,改进秸秆覆盖免耕的配套机具等,那么这项种植技术将在我国农业的持续发展中发挥重要作用。

参考文献

- 1 姜成后. 我国北方旱区农业现代化. 北京:气象出版社,1989,137~147
- 2 Bond, J. J. et al. soil water evaporation, Surface residue rates and placement effects. Soil Sci Am. Proc. 1969, 33, 445~448
- 3 Greb, W. et al. Effects of straw mulch rates on soil water storage during summer fallow in the Great Plains. Soil sci. Soc. Am. Proc. 1967, (31):556~559
- 4 朱文珊. 中国少耕免耕与覆盖技术研究. 北京:科学技术出版社 1991, 11~21
- 5 Beisecker, R. Auswirkungen Langjahrig unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die Porenstruktur und die Wasserinfiltration eines Löss- und eines Sandbodens. Z. F. Kulturtechnik und Landentwicklung. 1991. (32): 87~95

(上接第135页)

- 4 赵聚宝,梅旭荣. 晋东南地区旱地农田土壤水分状况及水分循环特征. 中国农业科学,1992,25(6)
- 5 刘文兆,李玉山. 黄土高原节水农业的理论与实践. 水土保持学报,1992,6(1)
- 6 李守谦,兰念军. 干旱地区农作物需水量及节水灌溉研究. 甘肃省科学技术出版社,1992,25~34
- 7 蔺海敏,胡恒觉. 旱地农业生态学. 兰州大学出版社,1992,75~83
- 8 赵立新,荆家海,王韶唐. 不同施肥水平对旱地冬小麦水分利用效率的影响. 植物生态学与地植物学学报, 1991,15(4)
- 9 陶阻文,裴步祥. 农田蒸散和土壤水分变化的计算方法. 气象学报,1979,37(4):78~87
- 10 邓振镛,林日暖. 甘肃省土壤水分变化特征与分区的研究. 干旱地区农业研究,1991,3
- 11 Anders Lindroth Theo verwijst seven Halldin water use efficiency of willion; variation with season, humidity and biomass allocation. Journal of Hydrology, 1994, 156, 1~19