

不同夏玉米品种水分利用效率对氮肥与降水量的响应

易镇邪^{1,2}, 王 璞², 陈平平¹, 屠乃美¹

(1. 湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128;

2. 中国农业大学农学与生物技术学院农业部作物栽培学与耕作学重点实验室, 北京 100094)

摘 要: 以郑单 958 与农大 108 为材料, 在 3 种类型氮肥、3 个施氮水平条件下, 连续两年(2004~2005) 研究了华北平原夏玉米水分利用效率(WUE) 对氮肥与降水量的响应。结果表明, (1) 在施 N 0~180 kg/hm² 范围内, 夏玉米 WUE 随施氮量增大而增大, 且不同氮肥类型间有一定差异; (2) WUE 具有明显的基因型差异, 在施氮与不施氮条件下均表现郑单 958>农大 108; (3) WUE 与产量呈极显著正相关, 与灌浆期穗位叶光合速率、气孔导度与蒸腾速率呈较明显的正相关关系; (4) WUE 存在明显的年际间差异, 两品种均表现 2005 年明显大于 2004 年, 这主要由降水量差异所致。夏玉米生育前期及全生育期降水量的减少使夏玉米产量与耗水量均降低, 但产量的降幅小于耗水量的降幅, 从而使 WUE 得到提高。可见在本试验条件下, 选择合适的品种进行适度干旱或限量灌溉栽培, 再配以施氮量 180 kg/hm², 可明显提高夏玉米水分利用效率。

关键词: 夏玉米; 水分利用效率; 氮肥; 降水量

中图分类号: S 513.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008) 01-0051-07

充足的水资源是农业生产的重要保证之一, 而当前水资源日益紧缺是世界各国所面临的难题, 加之降水在地区间、年际间、季节间分布不均, 因此, 节水成了世界各国日益关注的问题。对我国而言, 更当如此。我国人均水资源占有量仅 2 300 m³, 只相当于世界人均水量的 1/4, 是世界上 13 个贫水国之一。而我国农业是传统的耗水大户, 其耗水占总耗水的 70% 以上。近年来, 我国研究者在栽培措施改进与高水分利用效率品种培育上做了大量研究。

据报道, 我国农作物水分利用效率(WUE) 仅 1 kg/m³, 是发达国家的一半^[1]。在华北平原夏玉米一冬小麦轮作体系中, 夏玉米 WUE 较冬小麦高, 一般在 2 kg/m³ 以上, 高的可达到 3 kg/m³。作物的 WUE 是一个可遗传性状, 作物可分为低需水量(或高蒸腾效率) 的节水型与高需水量(或低蒸腾效率) 的耗水型等两种类型^[2]。夏玉米 WUE 具有明显的基因型差异^[2,3], 在不同种间差异达 30%~100%, 品种间差异较种间小, 但亦较为明显^[4]。大量研究表明, 耕作栽培措施影响作物 WUE, 如秸秆还田与增施有机肥^[5]、秸秆覆盖^[6,7]、秸秆还田+秋施肥^[8,9]、地膜覆盖^[10] 等均可明显提高作物 WUE。张海林等^[11] 研究表明, 覆盖免耕可提高夏玉米 WUE, 其原因在于覆盖免耕有效减少了土壤棵间蒸

发, 使夏玉米前期耗水减少而后期耗水增加, 同时增加了作物的蒸腾量。

华北平原吴桥试区多年平均降水量 562 mm, 且 80% 左右集中在 6~9 月, 一般年份下降水能满足夏玉米的水分需求, 因此该区域夏玉米 WUE 的研究较少。而研究者对该地区冬小麦的节水栽培投入了大量的精力, 并成功研究了冬小麦节水省肥简化高产“四统一”栽培技术体系, 即吴桥模式^[12,13]。要提高一个地区农业的水分利用效率, 需着眼于整个轮作制度。本研究着眼于华北平原冬小麦一夏玉米轮作体系, 以两个类型的夏玉米品种为材料, 在不同类型氮肥与不同施氮量条件下, 通过连续两年的研究, 试图初步探明华北平原夏玉米水分利用效率的影响因素, 为我国干旱半干旱地区玉米节水栽培提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2004~2005 年在中国农业大学吴桥试验站进行。试验站位于 37°41′02″N, 116°37′23″E, 属黑龙港流域中部; 年均气温 12.6℃, 全年≥0℃积温 4 862.9℃, 年均降水量 562 mm, 年际间变化较大, 年内季节性分布不均 60%~70% 的降水分布在

收稿日期: 2007-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(30471015, 30571089)

作者简介: 易镇邪(1975—), 男, 湖南冷水江市人, 博士, 讲师, 研究方向为作物高产生理生态与资源高效利用。E-mail: yizhenxie@sina.com。

通讯作者: 王 璞。E-mail: wangpu@cau.edu.cn。

7~8 月份)。轮作体系中的冬小麦栽培采用“吴桥模式”^[12,13]。试验地基础肥力,0~20 cm 土层,全 N 0.76 mg/g,有效磷(P₂O₅, Olsen 法测定) 14.05 mg/kg,速效钾(K₂O, 1.0 mol/L NH₄AC 法测定) 79.11 mg/kg,有机质 8.5 mg/g; 20~40 cm 土层,全 N 0.44 mg/g,有效磷 5.22 mg/kg,速效钾 75.26 mg/kg,有机质 4.7 mg/g。

2004 年全年降水 661.3 mm,其中 6 月 190.7

mm,7 月 259.8 mm,8 月 70.1 mm,9 月 35.2 mm,分别占全年的 28.8%、39.3%、10.6%和 5.3%; 2005 年降水量偏少,全年降水 312.4 mm,其中 6 月 50.5 mm,7 月 61.1 mm,8 月 94.0 mm,9 月 45.9 mm,分别占全年的 16.2%、19.6%、30.1%和 14.7%(表略)。降水与有效积温(≥10℃)在夏玉米各生育阶段的分布见表 1。

表 1 2004 与 2005 年两品种各生育阶段的降水与积温情况

Table 1 Precipitation and accumulative temperature (AT) at different growth stages of two cultivars in 2004 and 2005								
年份 Year	品种 Cultivar	降水或积温 Precipitation or AT	播种~ 9 叶展 Sowing ~ 9-leaf	9 叶展~ 12 叶展 9-leaf ~ 12-leaf	12 叶展 ~吐丝 12-leaf ~ silking	吐丝~ 乳熟 Silking ~ dough	乳熟~ 成熟 Dough ~ maturity	合计 Total
2004	郑单 958 Zhengdan 958	降水 (mm)	266.7	133.3	66.5	21.0	23.4	510.9
		Precipitation (%)	52.2	26.1	13.0	4.1	4.6	100.0
		积温 $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)	881.0	198.3	364.5	504.4	657.7	2605.9
		AT (%)	33.8	7.6	14.0	19.4	25.2	100.0
	农大 108 Nongda 108	降水 (mm)	266.7	133.3	84.5	3.0	35.2	522.7
		Precipitation (%)	51.0	25.5	16.2	0.6	6.7	100.0
		积温 $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)	908.4	217.5	399.5	498.0	638.7	2662.1
		AT (%)	34.1	8.2	15.0	18.7	23.6	100.0
2005	郑单 958 Zhengdan 958	降水 (mm)	90.8	3.2	36.2	68.6	45.9	244.7
		Precipitation (%)	37.1	1.3	14.8	28.0	18.8	100.0
		积温 $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)	1012.1	222.6	318.5	534.1	675.3	2762.6
		AT (%)	36.6	8.1	11.5	19.3	24.4	100.0
	农大 108 Nongda 108	降水 (mm)	90.8	14.0	25.4	68.6	45.9	244.7
		Precipitation (%)	37.1	5.7	10.4	28.0	18.8	100.0
		积温 $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)	1070.9	244.9	329.9	511.4	656.6	2813.7
		AT (%)	38.1	8.7	11.7	18.2	23.3	100.0

1.2 试验设计

试验包括 3 个因素(2 个品种、3 种类型氮肥、3 个施肥水平),共 14 个处理,随机区组设计,3 次重复。处理及代号见表 2。品种为郑单 958 与农大 108。3 种类型氮肥中,包膜尿素含 N 42%,由中国农业大学资源环境学院提供(自制);尿素含 N 46%,复合肥(四川邛崃公司生产,五粮牌) N、P₂O₅和 K₂O 含量均为 15%,不含其它微量元素,均由市场购得。尿素 1/3 基施,2/3 于 10 叶期追施,包膜尿素与复合肥一次性基施。尿素与包膜尿素处理配施普通过磷酸钙 90 kg P₂O₅/hm²、硫酸钾 90 kg K₂O/hm²。郑单 958 密度为 7.5 万株/hm²,农大 108 为 6 万株/hm²,等行距(80 cm)条播(或点播),均为 6 行区,小区面积 33.6 m²(4.8 m×7 m)。

2004 年,两品种于 6 月 14 日免耕条播,播后浇水 30 mm,5 叶展定苗,郑单 958 于 8 月 9 日吐丝,9

表 2 试验处理及代号

Table 2 Treatments in this study and their codes			
氮肥类型 Type of N fertilizer	施氮水平 N rate (kg N/hm ²)	处理代号 Code of treatment	
		郑单 958 Zhengdan 958	农大 108 Nongda 108
不施氮 Zero N	0	Z 0	N 0
尿素 Urea, U	90	ZU 90	NU 90
	180	ZU 180	NU 180
	90	ZCU 90	NCU 90
包膜尿素 Coated urea, CU	180	ZCU 180	NCU 180
	90	ZCF 90	NCF 90
复合肥 Compound fertilizer, CF	180	ZCF 180	NCF 180

月 28 日收获,生育期 106 d;农大 108 于 8 月 12 日吐丝,10 月 3 日收获,生育期 111 d。2005 年试验在 2004 年相应小区上进行,6 月 16 日免耕点播,播后浇水 30 mm,5 叶展定苗,郑单 958 于 8 月 10 日吐丝,10 月 2 日收获,生育期 109 d;农大 108 于 8 月

13 日吐丝, 10 月 5 日收获, 生育期 112 d。由于 2005 年降水较少, 因此在 8 月 1 日(处于郑单 958 与农大 108 大喇叭口期之间) 浇水 75 mm。

1.3 测定项目与方法

气象资料:降水、气温等数据来自试验站自设的小型气象观测站。

产量:每小区实收 2 行(每行 5 m), 按平均鲜穗重从 2 行所收果穗中随机选取 10 穗, 将籽粒烘干后按含水量 14%折算大田实际产量。

土壤水分含量:于玉米各关键生育期(播种、拔节、大喇叭口、吐丝、乳熟、成熟), 用土钻分层取土, 20 cm 一层, 取至 1.2 m。每小区取样点 4 个, 同层土壤混合装入塑料自封袋中, 带回室内混匀后用直接烘干法(80℃, 24h) 测定各土层土壤含水量。

耗水量(mm) =1 hm² 土地播种期 1.2 m 土体贮水量+玉米生育季降水量-成熟期 1.2 m 土体贮水量。

水分利用效率[WUE, kg /(hm²•mm)] =耗水量/产量。

光合速率、气孔导度与蒸腾速率:于 2005 年夏玉米灌浆初期与灌浆末期, 用光合测定系统(LI 6400 型, 美国) 测定。每小区测有代表性植株 3 ~5 株, 测定部位为穗位叶中部。数据采用 Excel 2003 与 SAS 9.0 进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 水分利用效率对氮肥类型与施氮量的响应

2004 年, 随施氮量增大, 两品种产量、耗水量与水分利用效率(WUE) 均呈增加趋势, 两品种 WUE 均因施氮而显著提高。氮肥类型间 WUE 有差异, 郑单 958 在 N 90 与农大 108 在 N 180 条件下复合肥处理显著高于尿素与包膜尿素处理, 郑单 958 在 N 180 与农大 108 在 N 90 条件下亦以复合肥处理略高(表 3)。

表 3 2004 与 2005 年各施氮处理夏玉米耗水量与水分利用效率

Table 3 Water consumption (WC) and water use efficiency (WUE) of different treatments in summer maize in 2004and 2005							
处理 Treat ments	产量 Yield (kg /hm ²)	耗水量 WC (mm)	水分利用效率 WUE [kg /(hm ² •mm)]	处理 Treat ments	产量 Yield (kg /hm ²)	耗水量 WC (mm)	水分利用效率 WUE [kg /(hm ² •mm)]
2004							
Z 0	9509 _d	440.7 _b	21.6 _c	N 0	7914 _d	428.0 _b	18.5 _c
ZU 90	9875 _{cd}	444.3 _b	22.2 _b	NU 90	9086 _{bc}	458.3 _a	19.8 _b
ZU 180	10621 _a	457.6 _a	23.2 _a	NU 180	9310 _{ab}	464.7 _a	20.0 _b
ZCU 90	10103 _{bc}	459.0 _a	22.0 _b	NCU 90	8978 _c	457.8 _a	19.6 _b
ZCU 180	10573 _a	467.5 _a	22.6 _{ab}	NCU 180	9327 _{ab}	463.5 _a	20.1 _b
ZCF 90	10492 _{ab}	446.6 _b	23.5 _a	NCF 90	9083 _{bc}	456.7 _a	19.9 _b
ZCF 180	10756 _a	460.4 _a	23.4 _a	NCF 180	9496 _a	457.0 _a	20.8 _a
2005							
Z 0	6792 _c	252.9 _a	26.9 _c	N 0	5359 _c	253.7 _{ab}	21.1 _c
ZU 90	8813 _b	234.1 _{ab}	37.7 _b	NU 90	8105 _{ab}	250.8 _{ab}	32.3 _a
ZU 180	9417 _a	233.6 _{ab}	40.3 _a	NU 180	7991 _{ab}	238.0 _b	33.6 _a
ZCU 90	9099 _{ab}	241.3 _{ab}	37.7 _b	NCU 90	7513 _b	267.1 _a	28.1 _b
ZCU 180	9770 _a	239.5 _{ab}	40.8 _a	NCU 180	8813 _a	259.8 _a	33.9 _a
ZCF 90	9114 _{ab}	240.1 _{ab}	38.0 _b	NCF 90	7366 _b	259.6 _a	28.4 _b
ZCF 180	9369 _a	231.3 _b	40.5 _a	NCF 180	8333 _a	254.4 _{ab}	32.8 _a
2004+2005							
Z 0	16301	693.6 _a	23.5 _b	N 0	13273	681.8 _b	19.5 _b
ZU 90	18688	678.3 _a	27.5 _a	NU 90	17191	709.0 _{ab}	24.2 _a
ZU 180	20038	691.2 _a	29.0 _a	NU 180	17301	702.7 _{ab}	24.6 _a
ZCU 90	20202	700.2 _a	27.4 _a	NCU 90	16491	724.9 _a	22.7 _a
ZCU 180	20343	706.9 _a	28.8 _a	NCU 180	18140	723.3 _a	25.1 _a
ZCF 90	19606	686.8 _a	28.5 _a	NCF 90	16449	716.3 _a	23.0 _a
ZCF 180	20125	691.7 _a	29.4 _a	NCF 180	17829	711.4 _a	25.1 _a

注:不同字母表示达到 0.05 显著水平。 Note : Different letters were significant at the 0.05level .
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2005 年,多数施氮处理(郑单 958 全部及农大 108 尿素处理)耗水量低于不施氮处理,这与冬小麦收获期处理间土壤含水量差异有关,经考察,冬小麦成熟期各土层含水量一般表现不施氮>N 90>N 180 的趋势(表略),可见冬小麦收获期土壤贮水量越多,夏玉米耗水量越大。两品种 WUE 均因施氮而显著增大,增幅较 2004 年更明显,且一般 N 180 显著大于 N 90 处理。郑单 958 在 N 90 与 N 180 及农大 108 在 N 180 条件下,氮肥类型间 WUE 差异极小,而农大 108 在 N 90 条件下尿素处理显著大于另两种氮肥处理。

两季夏玉米总耗水量,郑单 958 各处理间无显著差异,而农大 108 多数包膜尿素与复合肥处理较不施氮处理显著增大。两品种两季平均 WUE 均因施氮而显著增大,施氮水平间、氮肥类型间无显著差异,WUE 在 N 90 与 N 180 条件下均表现为复合肥>尿素>包膜尿素处理,农大 108 WUE 在 N 90 条件下尿素最大,N 180 条件下包膜尿素与复合肥略大于尿素处理(表 3)。

表 4 两品种各处理平均耗水量与水分利用效率

Table 4 Average water consumption (WC) and water use efficiency (WUE) of different treatments of two cultivars										
年份 Year	品种 Cultivar	不施氮处理平均 Average of zero N treatments			施氮处理平均 Average of N treatments			所有处理平均 Average of all treatments		
		产量 Yield	耗水量 WC	水分利用效率 WUE	产量 Yield	耗水量 WC	水分利用效率 WUE	产量 Yield	耗水量 WC	水分利用效率 WUE
		(kg/hm ²)	(mm)	[kg/(hm ² ·mm)]	(kg/hm ²)	(mm)	[kg/(hm ² ·mm)]	(kg/hm ²)	(mm)	[kg/(hm ² ·mm)]
2004	郑单 958 Zhengdan 958	9509	440.7	21.6	10403	455.9	22.8	10276	453.7	22.6
	农大 108 Nongda 108	7914	428.0	18.5	9213	459.7	20.0	9028	455.1	19.8
2005	郑单 958 Zhengdan 958	6792	252.9	26.9	9264	236.7	39.2	8911	239.0	37.4
	农大 108 Nongda 108	5359	253.7	21.1	8020	255.0	31.5	7640	254.8	30.0

2.3 水分利用效率与产量的相关性

由表 3 可见,2004、2005 两年不同施氮量处理间夏玉米产量差异显著。相关分析表明,2004 年郑单 958 与农大 108 的耗水量与产量呈正相关(相关系数分别为 0.7330 与 0.9382**),两品种的 WUE 与产量呈极显著正相关(相关系数分别为 0.8875*与 0.9586*);2005 年两品种的耗水量与产量呈负相关(相关系数分别为-0.8036*与-0.0415),两品种的 WUE 与产量呈极显著正相关(相关系数分别为 0.9903*与 0.9684*)。

2.4 水分利用效率与穗位叶光合特性的相关性

对 2005 年夏玉米穗位叶光合速率、气孔导度、

2.2 水分利用效率对基因型与降水量的响应

由表 4 可见,施氮与不施氮条件下,两品种 WUE 均具有明显差异,两年均表现郑单 958 较大。2004 年,不施氮条件下差异为 3.1kg/(hm²·mm),施氮处理平均差异为 2.8kg/(hm²·mm),所有处理平均差异为 2.8kg/(hm²·mm);2005 年,两品种 WUE 差异更大,不施氮条件下为 5.8kg/(hm²·mm),施氮处理平均差异为 7.7kg/(hm²·mm),所有处理平均差异为 7.4kg/(hm²·mm)。可见夏玉米 WUE 具有明显基因型差异。

夏玉米 WUE 在年际间差异明显,2005 年两品种 WUE 均较 2004 年明显增大。不施氮条件下,郑单 958 增大 5.3kg/(hm²·mm),农大 108 增大 2.6kg/(hm²·mm)。施氮处理的年际间差异明显大于不施氮处理,以各施氮处理平均计,则郑单 958 增大 16.4 kg/(hm²·mm),农大 108 增大 11.5 kg/(hm²·mm);以各处理平均计,则郑单 958 增大 14.8 kg/(hm²·mm),农大 108 增大 10.2 kg/(hm²·mm)。

蒸腾速率等进行了测定(表 5)。灌浆初期,两品种光合速率因施氮而提高,其中尿素 N 90、包膜尿素与复合肥 N 180 处理提高显著;随施氮量增大,包膜尿素与复合肥处理光合速率增大,而尿素处理降低,但 N 90 与 N 180 处理间差异不显著,两品种表现一致。灌浆末期,施氮处理光合速率仍明显高于不施氮处理,其中郑单 958 N 180 处理与农大 108 所有施氮处理显著高于不施氮处理;郑单 958 N 180 高于 N 90 处理,3 种氮肥表现一致,但差异不显著,而农大 108 N 180 与 N 90 处理之间差异与灌浆初期基本一致。氮肥类型间,N 90 条件下,郑单 958 两时期均以尿素处理较大,农大 108 灌浆初期氮肥类型间差异极小,

灌浆末期表现尿素>包膜尿素>复合肥处理;N 180 条件下,两品种灌浆初期表现复合肥处理略大于包膜尿素处理,尿素处理最小,而灌浆末期均以包膜尿素处理最大,尿素处理最小。与灌浆初期相比,灌浆末期气孔导度增大 3~8 倍,蒸腾速率增大 1~3 倍;两时期气孔导度、蒸腾速率均因施氮而增大,灌浆初期 N 180 处理显著增大,而灌浆末期各施氮处理均显著提高;施氮处理间气孔导度、蒸腾速率差异与光合速率表现基本一致。

相关分析表明,灌浆初期光合速率、气孔导度、

蒸腾速率与郑单 958 WUE 之间的相关系数分别为 0.7838^{*}、0.3946 和 0.4880,农大 108 WUE 与三者的相关系数分别为 0.6704、0.6697 和 0.6373;灌浆末期光合速率、气孔导度、蒸腾速率与 WUE 之间的相关性较灌浆初期更为明显,郑单 958 WUE 与三者的相关系数分别为 0.8952^{**}、0.9320^{**} 和 0.9247^{**},农大 108 WUE 与三者的相关系数分别为 0.9120^{**}、0.7742^{*} 和 0.7317。可见,夏玉米 WUE 与灌浆期光合速率、气孔导度、蒸腾速率均呈现较为明显的正相关关系。

表 5 2005 年夏玉米光合速率、气孔导度与蒸腾速率

Table 5 Photosynthetic rate(PR), stomatic conductivity(SC) and transpiration rate(TR) of summer maize in 2005						
处理 Treat ments	灌浆初期 Early filling stage			灌浆末期 Late filling stage		
	光合速率PR	气孔导度SC	蒸腾速率TR	光合速率PR	气孔导度SC	蒸腾速率TR
	[$\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mmol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mmol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mmol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mmol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
Z 0	27.66 _b	0.015 _c	0.68 _b	17.54 _b	0.059 _c	1.29 _d
ZU 90	32.43 _a	0.020 _a	0.89 _a	20.70 _{ab}	0.080 _b	1.77 _{bc}
ZU 180	29.97 _{ab}	0.016 _c	0.74 _b	21.70 _a	0.083 _b	1.85 _b
ZCU 90	30.09 _{ab}	0.017 _{bc}	0.76 _b	19.44 _{ab}	0.075 _b	1.62 _c
ZCU 180	31.59 _a	0.016 _c	0.74 _b	22.57 _a	0.091 _a	2.04 _a
ZCF 90	29.67 _{ab}	0.017 _{bc}	0.76 _b	19.74 _{ab}	0.078 _b	1.69 _c
ZCF 180	31.97 _a	0.018 _{ab}	0.83 _{ab}	21.88 _a	0.080 _b	1.83 _b
N 0	29.98 _c	0.011 _c	0.45 _b	19.03 _c	0.070 _d	1.52 _d
NU 90	33.77 _{ab}	0.016 _a	0.63 _a	23.64 _a	0.098 _c	2.20 _{ab}
NU 180	31.40 _{bc}	0.012 _{bc}	0.48 _b	22.36 _{ab}	0.105 _{bc}	1.93 _c
NCU 90	33.74 _{ab}	0.014 _b	0.57 _b	22.66 _{ab}	0.099 _c	2.15 _b
NCU 180	36.14 _a	0.016 _a	0.64 _a	23.77 _a	0.108 _b	2.19 _{ab}
NCF 90	33.12 _{ab}	0.013 _b	0.53 _b	21.85 _b	0.110 _b	2.21 _{ab}
NCF 180	36.37 _a	0.017 _a	0.69 _a	23.54 _a	0.129 _a	2.34 _a

3 小结与讨论

夏玉米耗水量受施氮量的影响,2004 年夏玉米耗水量随施氮量增大而增大,但 2005 年耗水量则受到冬小麦收获期土壤贮水量的影响,表现贮水量越多耗水量越大的趋势。研究^[5,8,9]表明,秸秆还田与施肥(有机肥或化肥)可提高作物 WUE。本研究中,夏玉米 WUE 随三种氮肥施用量增大而增大,并与产量呈极显著正相关,两年结果表现一致;氮肥类型对 WUE 有影响,但这种影响在品种间、年际间表现明显差异。有关氮肥类型对 WUE 的影响研究,目前还较为少见,有待加强。本研究同时表明,夏玉米 WUE 与穗位叶光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈现较为明显的正相关性。

研究表明,夏玉米 WUE 具有明显的基因型差异^[2,3],在不同种间差异达 30%~100%,品种间差

异较种间小,但亦较为明显^[4]。本研究中,在施氮与不施氮条件下,夏玉米 WUE 均具有明显的基因型差异,两年均表现郑单 958>农大 108,不施氮条件下差值分别为 3.1 kg/(hm²·mm) 与 5.8 kg/(hm²·mm),各施氮处理平均则差值分别为 2.8 kg/(hm²·mm) 与 7.7 kg/(hm²·mm)。可见,种植紧凑型品种(郑单 958)有利于华北平原夏玉米产量与 WUE 的提高,在干旱年份表现更为突出。

在一年两熟种植制度下,作物产量与水肥利用效率的研究不能仅限定在某一季作物,而应综合考虑,因为两季作物是互相影响的。李全起等^[14]研究了底墒差异对夏玉米耗水特性及产量的影响,发现适当提高底墒含水量可显著提高夏玉米产量和 WUE,并认为在冬小麦-夏玉米一年两熟种植制度中,冬小麦灌水时期适当后移,有利于提高全年粮食产量。研究^[13]表明,冬小麦-夏玉米轮作体系中,

冬小麦节水栽培有利于根系下扎,有利于截获夏玉米季淋洗出根层的肥水,最终提高水肥利用效率。冬小麦节水栽培对夏玉米生长发育及水肥利用效率有影响,但具体影响如何有待研究。

夏玉米 WUE 具有明显的年际间差异,2005 年 WUE 明显大于 2004 年。年际间差异主要由气候条件的变化引起。由表 1 可见,2004 年郑单 958 全生育期降水 510.9 mm,农大 108 全生育期降水 522.7 mm,2005 年降水量大大降低,两品种全生育期降水仅为 244.7 mm,不及 2004 年的一半。从各生育阶段来看,2005 年降水量减少主要表现在吐丝之前,吐丝之后反而有所增加。与 2004 年比较,2005 年两品种全生育期有效积温较 2004 年高 150℃以上,从各阶段分析,两品种播种至 12 叶展与吐丝至成熟期有效积温增加,而 12 叶展至吐丝期却减少。WUE 是产量与耗水量的比值,2005 年夏玉米产量较 2004 年有较大幅度下降,但其 WUE 却有较大幅度提高,可见是耗水量的减小导致了 WUE 的提高。而导致夏玉米耗水量减小的主要原因在于降水量的减少,同时与夏玉米生育前期降水量减少影响了夏玉米生育前期的生长发育,并最终导致产量下降,由此导致夏玉米需水量的减小有关。由表 4 明显可见两品种 WUE 的提高幅度远大于其产量的下降幅度,由此可以推断,一定程度的自然干旱或限量灌溉可以达到不明显降低夏玉米产量而显著提高 WUE 的目的。实际上,已经有大量研究表明调亏灌溉可以实现玉米节水、高产、高效目的^[16~20],但自然干旱条件下的此类研究还有待加强,同时,在玉米产量与水分利用效率对适度干旱条件的响应机制等方面,有待深入研究。

参 考 文 献:

[1] 贾大林.关于对以节水为中心的大中型灌区改造规划的意见 [A] .中国农业工程学会农业水土工程专业委员会.农业高效用水与水土环境保护 [C] .西安:陕西科学技术出版社,2001. 9—13.

[2] 杨 涛,梁宗锁,薛吉全,等.不同玉米品种水分利用效率的差异性研究 [J] .农业工程学报,2005,21(10) :21—25.

[3] 杨 涛,梁宗锁,薛吉全,等.土壤干旱不同玉米品种水分利用效率差异的生理学原因 [J] .干旱地区农业研究,2002,20(2) : 68—71.

[4] 山 仑.植物水分利用效率和半干旱地区农业用水 [J] .植物生理学通讯,1994,30(1) :61—66.

[5] 张忠学,温金祥,吴文良.华北平原冬小麦夏玉米不同施肥措施的节水增产效应研究 [J] .应用生态学报,2000,11(2) :219—222.

[6] 谭军利,王林权,李生秀.不同灌溉模式下水分养分的运移及其利用 [J] .植物营养与肥料学报,2005,11(4) :442—448.

[7] 陈素英,张喜英,裴 冬,等.秸秆覆盖对夏玉米田棵间蒸发和土壤温度的影响 [J] .灌溉排水学报,2004,23(4) :32—36.

[8] 杨治平,周怀平,李红梅.旱农区秸秆还田秋施肥对春玉米产量及水分利用效率的影响 [J] .农业工程学报,2001,17(6) : 49—52.

[9] 周怀平,杨治平,李红梅,等.秸秆还田和秋施肥对旱地玉米生长发育及水肥效应的影响 [J] .应用生态学报,2004,15(7) : 1231—1235.

[10] 胡 芬,陈尚谟.旱地玉米农田地膜覆盖的水分调控效应研究 [J] .中国农业气象,2000,21(4) :15—17.

[11] 张海林,陈 阜,秦耀东,等.覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究 [J] .农业工程学报,2002,18(2) :36—40.

[12] 李建民,王 璞,周殿玺,等.冬小麦节水高产栽培技术及其生理基础的研究 [A] .李建民,周殿玺,王 璞,等.冬小麦水肥高效利用栽培技术原理 [C] .北京:中国农业大学出版社, 2000.1—16.

[13] 王志敏,兰林旺,王树安.诠释“吴桥模式”——冬小麦节水省肥简化高产“四统一”栽培技术 [J] .中国农资,2004,Z 1:55—57.

[14] 李全起,房全孝,陈雨海,等.底墒差异对夏玉米耗水特性及产量的影响 [J] .农业工程学报,2004,20(2) :93—96.

[15] 吴永成,周顺利,王志敏,等.节水栽培冬小麦对下层土壤残留氮素的利用 [J] .生态学报,2005,25(8) :1869—1873.

[16] 康绍忠,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.

[17] 孟兆江,刘安能,庞鸿宾,等.夏玉米调亏灌溉的生理机制与指标研究 [J] .农业工程学报,1998,14(4) :88—92.

[18] 刘安能,孟兆江.玉米调亏灌溉效应及其优化农艺措施 [J] .农业工程学报,1999,15(3) :107—112.

[19] 蔡焕杰,康绍忠,张振华,等.作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究 [J] .农业工程学报,2000,16(3) :24—27.

[20] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰,等.玉米调亏灌溉节水调控机理研究 [J] .西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(4) : 87—90.

Response of water use efficiency of different summer maize cultivars to nitrogen fertilizer and precipitation

YI Zhen xie^{1,2}, WANG Pu², CHEN Ping ping¹, TU Nai mei¹

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;

2. Key Laboratory of Ministry of Agriculture for Crop Production and Farming System, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract : Zhengdan 958 and Nongda 108 were used as plant materials to study the responses of water use efficiency (WUE) of summer maize to nitrogen fertilizer and precipitation under condition of 3 types of N fertilizer with 3 application rates in North China Plain in successive two years (2004~2005). The results showed that (1) WUE of summer maize was increased by N rates from 0~180 kg N/hm² and differences at a certain extent among types of N fertilizer were observed. (2) Evident genotype differences in WUE existed and there showed trend of Zhengdan 958 > ND 108 under N application and no N application conditions. (3) Positive correlation at 0.01 probability level existed between WUE and yield, and evident positive correlations between WUE and photosynthetic rate, stomatic conductivity and transpiration rate of ear leaf in filling stage were respectively observed. (4) Evident annual differences in WUE existed and the WUE of two cultivars in 2005 was bigger than those in 2004, which was induced by annual difference in precipitation. Decrease of precipitation in the prophase and whole duration reduced yield and water consumption of summer maize, but decreasing extent of yield was less than that of precipitation, so WUE was improved. The results showed that WUE of summer maize could be clearly improved by choosing appropriate cultivars, cultivating under natural drought or limit irrigation at moderate degree and fertilizing N 180 kg/hm² under conditions in this study.

Key words : summer maize ; water use efficiency ; cultivar ; nitrogen fertilizer ; precipitation

(上接第 50 页)

Investigation on the distribution of wolfberry roots and soil nutrients in wolfberry orchard of Ningxia

ZHAO Ying, LUO Jian hang, CHEN Xiao tun, ZHANG Xue jun^{*}

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Academy of Agriculture and Forestry Sciences of Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract : In April 2005, two investigation sites were selected in Yuanlin Proving Ground of Academy of Agriculture and Forestry Sciences of Ningxia and Tiantan of Zhongning County, respectively. A method with field investigation and chemical analysis in lab was carried out to study the roots distribution of different aged wolfberry and soil nutrients in wolfberry orchard. The wolfberry species was Ningqi No. 1, and we chose wolfberry trees with different age to investigate their root distribution, at the same time, soil sample was collected for chemical analysis. The results showed that the average soil nutrients content in wolfberry orchard was greater than cropland in Zhongning, and that of soil available nutrients content was 1.6~2.0 times of cropland. In Yuanlin Proving Ground or Zhongning, the soil organic matter, total N, total P and available nutrients for differently aged wolfberry trees were mainly concentrated in 0~30 cm soil depth. The length of taproots or fibrous roots and tree crown diameter for wolfberry increased with tree age increasing in Yuanlin Proving Ground. The number of taproots or fibrous roots for 3 year old wolfberry tree was less than that of 6- or 9 year old tree in Zhongning. The soil depth of root distribution for differently aged wolfberry tree was mainly ranged from 0 to 35 cm, which was in coincidence with the accumulation depth (0~30 cm) of soil nutrients. That is to say, the farmer's unreasonable fertilization method in wolfberry orchard caused unreasonable distribution of root.

Key words : wolfberry orchard ; soil nutrient ; distribution of roots