

轮作及不同施肥措施对春玉米生长、产量及水分利用的影响

张益望^{1,2}, 刘文兆¹, 王俊³, 杨玉玲¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710127)

摘要: 依托 24 a 轮作与施肥长期定位试验, 重点对 2007 年不同轮作方式和施肥条件下春玉米生长、产量及水分利用状况进行了研究。结果表明, 不同处理春玉米叶面积, 生物量及籽粒产量有相同的变化规律, 即在相同施肥条件下, 玉米连作(CT)处理的叶面积、生物量以及籽粒产量均高于玉米轮作处理; 在轮作(RT)条件下, 叶面积、生物量以及籽粒产量均为: RT-NPM > RT-NPK > RT-NP; 不同处理间总生物量及籽粒产量均有显著性差异; 不同处理 0—300 cm 土壤平均含水量在整个生育期先降低后升高, 灌浆期降至最低, 春玉米耗水顺序为: CT-NPM > RT-NPM > RT-NPK > RT-NP; 在相同施肥条件下, 轮作处理的水分利用效率大于连作处理的水分利用效率; 轮作不同施肥处理, RT-NPM 处理的水分利用效率最高, RT-NP 和 RT-NPK 处理的水分利用效率均较低。

关键词: 春玉米; 连作; 轮作; 有机肥; 产量; 耗水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0124-05

中图分类号: S513.06

Effects of Long-term Rotation and Fertilization on the Growth, Yield and Water Use of Spring Maize

ZHANG Yi-wang^{1,2}, LIU Wen-zhao¹, WANG Jun³, YANG Yu-ling¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, and Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: Based on 24 year rotation and fertilizer experiments, the effects of rotation and fertilization on the growth, yield and water consumption of spring maize were studied. Results showed that at the same fertilization level, leaf area, yield, and biomass of continuous cropping maize were higher than rotation treatment. Under the same rotation conditions, RT-NPM had the highest leaf area, yield, and biomass, RT-NPM was the second, and RT-NP was the lowest. Yield and biomass of the three treatments were significantly different. The averaged soil water content in 0—300 cm layer decreased firstly and then increased in different development stages and eventually fell to the lowest level in the silking stage. The order of treatments, by water consumption of spring maize, was CT-NPM > RT-NPM > RT-NPK > RT-NP. The rotation maize had the highest water use efficiency, continuous cropping maize was in the second level, and RT-NP and RT-NPK were in the lowest level.

Keywords: spring maize; continuous cropping; rotation; manure; crop yield; water consumption

干旱少雨及土壤肥力低下是黄土高原地区农业生产的主要限制因子。由于没有灌溉条件, 轮作与不

同施肥, 特别是施用有机肥, 是该地区改善土壤性质, 提高土壤肥力, 以达到增产目的的主要途径^[1]。国内

收稿日期: 2009-07-17

修回日期: 2009-11-12

资助项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“黄土高原旱作农田生产力及水分生态过程调控”(KZCX2-YW-424); 国家科技支撑计划项目“高塬沟壑区农果林多元综合治理模式研究与示范”(2006BAD09B09)

作者简介: 张益望(1979—), 男(汉族), 陕西省武功县人, 博士研究生, 主要从事作物生理生态及水分生态方面的研究。E-mail: zyw0416@nwsuaf.edu.cn.

通信作者: 刘文兆(1960—), 男(汉族), 陕西省乾县人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事流域水文生态与节水型生态农业方面的研究。E-mail: wzliu@ms.iswc.ac.cn.

已就轮作提高经济效益和作物产量, 增加土壤有机质, 提高氮利用效率, 改善土壤结构和提高土壤水利用率等开展了大量相关研究^[1-3], 并取得了许多重要成果, 对推动我国旱地农业发展起到了重要指导作用。黄土高原地区玉米(*Zea mays* L.)播种面积 $1.90 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占粮食作物面积的 17.9%, 总产 $9.14 \times 10^9 \text{ kg}$, 占粮食总产的 30.8%左右, 是黄土高原主要的粮食作物之一, 玉米实际平均单产为 4.81 t/hm^2 , 居于黄土高原地区禾谷类作物单产之首^[4]。黄土高原半干旱地区光照充足, 热量适中, 大气湿度低, 昼夜温差大等特点均有利于减少呼吸损失, 增加光合产物积累, 提高作物产量和质量。该地区有关玉米耗水量的研究已有很多^[5-9], 研究表明, 由于受气候、品种和管理方式等影响, 夏玉米的耗水量差别较大^[5,7], 李玉山等人^[5]的研究表明, 渭北旱塬地区春玉米耗水量变化在 389 ~ 505 mm, 平均为 452 mm。许多研究^[7-9]均表明, 玉米有相似的耗水规律, 即苗期耗水较少, 拔节至抽雄期为耗水高峰期, 灌浆期次之, 耗水较多。而在这些研究中, 有关轮作和不同施肥措施对春玉米耗水以及其生长过程的影响研究较少。

本研究通过对连作、轮作以及不同施肥条件下春玉米土壤水分、生长及产量的影响的研究, 旨在探明连

作、轮作和不同施肥对作物水分利用及其产量、生长的影响, 为黄土高原地区旱地农业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设置

试验地位于陕西省长武县十里铺村南的旱塬上, 海拔 1 200 m。属暖温带半湿润易旱气候区, 该地区雨热同步, 光能资源非常丰富, 但年季降水和降水的季节变率较大, 分别为 20% ~ 30% 和 50% ~ 90%。年均降水量 584.1 mm, 季节不匀, 7—9 月降水占全年降水的 54%。年均气温 $9.1 \text{ }^\circ\text{C}$, 无霜期 171 d。供试土壤为黄盖黏黑垆土, 试验前 1984 年耕层 0—20 cm 土壤含有机质 10.4 g/kg, 全氮 0.60g/kg, 碱解氮 37.0 mg/kg, 速效磷 3.0 mg/kg, 速效钾 129 mg/kg, pH 值为 8.3。

试验小区 $10.26 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$, 面积为 66.67 m^2 。小区间距 0.5 m, 区组间距 1 m, 四周留走道各 1 m。试验设 4 个处理, 各有 3 个重复(表 1)。玉米品种为沈单 10 号, 2007 年 4 月 13 日犁地, 施肥(肥料作为基肥一次性施入); 4 月 14 日覆膜。4 月 21 日播种, 每小区 0.5 kg, 为保证出苗, 每区浇水 150 kg (折合 2.3 mm), 2007 年 9 月 10 日收获。

表 1 春玉米轮作方式及施肥水平

试验处理	轮作方式	施肥水平			
		N(氮肥)/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	P_2O_5 (磷肥)/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	K_2O (钾肥)/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	M(有机肥)/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
CT-NPM	玉米连作	120	60	—	75
RT-NPK	玉米→小麦→小麦—糜子	120	60	60	—
RT-NPM	玉米→小麦→小麦—糜子	120	60	—	75
RT-NP	玉米→小麦→小麦—糜子	120	60	—	—

注: 表中 CT 表示连作处理, RT 表示轮作处理; 本试验中轮作均指玉米→小麦→小麦—糜子 3 a 轮作, 2006 年的前茬作物为小麦+糜子。

1.2 研究方法

(1) 地上部生物量: 在每小区选取 3 ~ 5 株有代表性的植株取其地上部, 用水冲洗净后, 电子称(0.001)立即称重, 把样品分段剪取装入已准备的样品纸袋带回室内。105 $^\circ\text{C}$ 杀青 2 h, 然后 80 $^\circ\text{C}$ 烘至恒重后称重;

(2) 叶面积: 用 LI-3000 叶面积仪测定, 每一小区测定 3 ~ 5 株;

(3) 籽粒产量及生物产量: 每小区收获中间 5 行, 测定生物产量, 风干后测产;

(4) 土壤含水量、储水量及水分利用效率: 使用中子仪测定 0—300 cm 土壤含水量, 每月测定一次。

土壤储水量计算: $S_w = d \times r \times w / 10$

式中: S_w ——土壤储水量(mm); d ——土层厚度

(cm); r ——土壤容重(g/cm^3); w ——土壤重量含水量。

用水量平衡法计算耗水量: $ET = P + I + \Delta W$
式中: ET ——蒸腾蒸发量(mm); P ——降水量(mm); ΔW ——一定时段内土壤储水量的变化(mm);

水分利用效率: $WUE = Y / ET$

式中: WUE ——水分利用效率(kg/m^3); Y ——作物产量(kg/hm^2)。

2 结果与分析

2.1 轮作及不同施肥处理对春玉米生长指标的影响
叶面积的大小和发展动态是衡量群体结构是否合理的依据之一, 也是决定群体产量的重要指标。玉

米叶面积的发展动态因品种、密度、肥水等因素的不同而异。由图 1 可见,各处理春玉米的叶面积动态变化过程呈“S”型曲线,从苗期到灌浆期呈递增趋势,播种后 100 d 左右达到最高值,灌浆后期由于玉米叶片逐渐衰老,叶面积有所降低。不同处理表现为,CT-NPM 叶面积在不同时期均最高,其次为 RT-NPM; CT-NPM 在不同生育期均显著高于其它处理;其它 3 个处理在前期差异较小,后期表现为 RT-NPM >

RT-NPK > RT-NP。玉米地上部生物量的动态变化特征与叶面积基本相似(图 1),从播种期至收获期呈递增趋势,初期生物量增长较缓慢,后期增长较快。全生育期各处理地上部生物量均为 CT-NPM > RT-NPM > RT-NPK > RT-NP,即连作 NPM 最高,其次为轮作 NPM 处理,NP 和 NPK 处理差别很小,说明有机肥能显著提高玉米地上部生物量,而钾肥对玉米生物量的促进作用不明显。

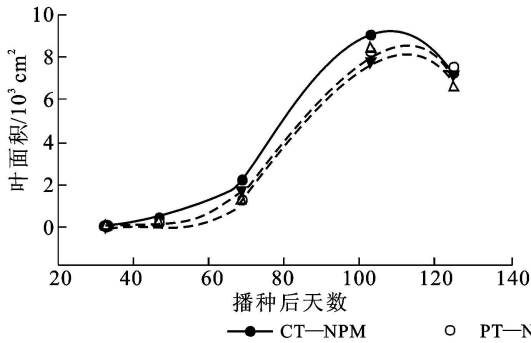


图 1 轮作与不同施肥处理春玉米叶面积和生物量动态

22.2 轮作及不同施肥对春玉米产量的影响

不同处理玉米籽粒产量由大到小的顺序为(表 2): CT-NPM > RT-NPM > RT-NPK > RT-NP,不同处理间均有极显著性差异($P < 0.01$),以连作 NPM 处理最高,其次为轮作 NPM 处理和轮作 NPK 处理,而轮作 NP 处理籽粒产量最低;总生物产量以 CT-NPM 最高,其次是 RT-NPM,显著高于 RT-NPK 和 RT-NP。即相同施肥水平下,连作籽粒产量和总生物产量均较高;而轮作不同施肥条件下,籽粒产量和总生物产量顺序为: NPM > NPK >

NP,相同施肥条件下(NPM),连作处理籽粒产量和生物产量均显著高于轮作处理;轮作不同施肥条件下,有 NPM 的增产最显著,其次为 NPK,而 NP 处理最低。多年平均籽粒产量和生物产量顺序均为: RT-NPM > CT-NPM > RT-NPK > RT-NP,轮作处理的产量和生物量稍高于相同施肥水平的连作处理,但二者无显著差异,其次均为轮作条件下,施 NPK 处理高于 NP 处理,二者也无显著差异,但均显著低于 RT-NPM 和 CT-NPM 处理。

表 2 轮作与不同施肥处理春玉米 2007 年及多年平均籽粒产量及生物产量

试验处理	籽粒产量/(kg·hm ⁻²)		生物产量/(kg·hm ⁻²)	
	2007 年	多年平均值	2007 年	多年平均值
CT-NPM	10 691 ± 159 ^A	8 389 ± 172 ^a	19 758 ± 172 ^A	17 509 ± 411 ^a
RT-NPK	9 290 ± 156 ^C	7 434 ± 110 ^b	15 643 ± 170 ^C	16 043 ± 656 ^b
RT-NPM	10 133 ± 63 ^B	8 466 ± 118 ^a	18 592 ± 102 ^B	17 341 ± 453 ^a
RT-NP	8 445 ± 173 ^D	7 159 ± 217 ^c	15 660 ± 134 ^C	16 033 ± 222 ^b

注:数字后不同小写字母表示 5% 水平显著差异,大写字母表示 1% 水平极显著差异;多年平均值指 2000—2007 年产量、生物量的平均结果。

2.3 轮作及不同施肥对春玉米水分利用的影响

2.3.1 2007 年春玉米生育期降雨 土壤水分的变化是以年为周期的水分循环过程。季节性变化主要受降水量的时空变化影响,同时年际间、区域间也有较大变化。2007 春玉米播种至收获期总降雨 344.8 mm,与多年平均降雨相比较,属于平水年。由图 2 可见,春玉米生育期前期降雨较少,后期降雨较多,特别是 7—9 月分降雨占生育期总降雨的 70% 以上。玉米

生殖生长不仅对水分需求大,而且相对营养生长对水分反应更为敏感,因此,后期降雨增多有利于春玉米的生殖生长,从而提高玉米产量。

2.3.2 轮作及不同施肥对春玉米土壤水分变化的影响 受玉米的生长和降雨影响,不同处理 0—300 cm 平均土壤含水量变化特征基本相似(图 3),即在苗期先降低,在拔节期有所恢复,然后一直降低,在灌浆期降至最低,收获期又有较大回升。这主要是由于抽雄

至灌浆期玉米处于营养生长和生殖生长的交替时期, 是玉米一生中水分反应最敏感, 要求最迫切的时期, 此期是玉米的需水高峰期, 玉米灌浆期后期由于叶片衰老, 蒸腾降低, 且降雨较多, 土壤含水量有所恢复。不同处理土壤含水量在灌浆期后差异明显, 基本为: $RT-NPK > RT-NP > CT-NPM > RT-NPM$ 。

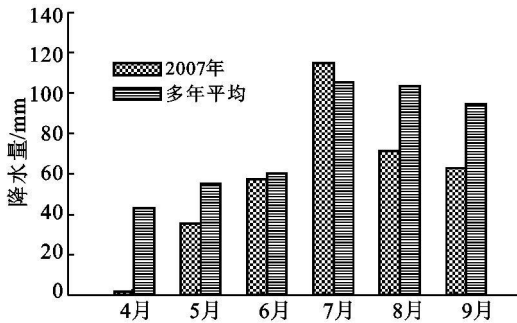


图 2 春玉米生育期逐月降水量

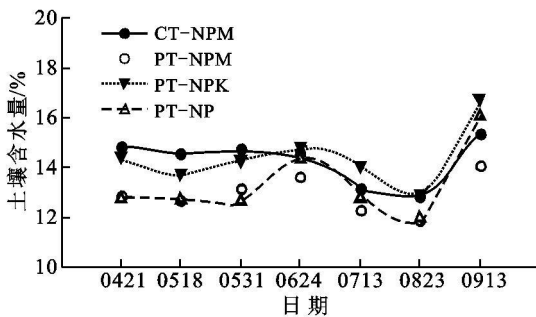


图 3 不同处理春玉米生育期土壤含水量变化(2007年)

2.3.3 轮作及不同施肥处理春玉米耗水量、产量及水分利用效率 由表 3 可以看出, 不同处理春玉米收获期土壤储水量较播种期均有所上升, 由于春玉米生育期降雨较多, 所有处理的土壤储水量均没有降低, 反而有所增加; 其中 $RT-NP$ 储水量增加最多, 达 78.18 mm, 这主要和其耗水量低有关。不同处理耗水量为: $CT-NPM > RT-NPM > RT-NPK >$

$RT-NP$, 即相同施肥 (NPM) 连作高于轮作, 轮作不同施肥处理, NPM 处理的耗水量最高, 其次为 NPK, 而 NP 处理最低。不同处理春玉米的水分利用效率: $RT-NPM > CT-NPM > RT-NP > RT-NPK$, 即轮作 NPM 处理最高, 其次为连作 NPM 处理, 轮作 NPK 和 NP 处理均较低, 分别为 3.16 和 3.17 kg/m^3 , 不同处理间均无显著性差异。

3 结论与讨论

3.1 春玉米的耗水特征

玉米耗水量受气候条件, 品种, 土壤, 耕作措施等影响, 差异很大, 但玉米不同生育期均有相似耗水规律^[7-9]: 拔节前由于植株体小, 田间的水分消耗以土壤蒸发为主, 耗水量较小; 抽雄期由于营养生长和生殖生长同时进行, 是玉米水分消耗强度和消耗量最大的时期; 灌浆期虽然叶面积减少, 但由于时段较长, 阶段耗水量仍较多。本研究结果也表明, 无论是轮作、连作或不同施肥水平, 春玉米均有相似的耗水规律, 不同生育期土壤含水量变化表明本地区春玉米耗水量与降雨基本一致, 因而生育期降水是决定春玉米产量的关键因素。

不同处理耗水量为: $CT-NPM > RT-NPM > RT-NPK > RT-NP$, 即相同施肥 (NPM) 条件下, 连作高于轮作, 轮作不同施肥处理, NPM 处理的耗水量最高, 其次为 NPK, NP 处理最低。这主要是由于增加施肥量, 可促进植株的生长发育, 有利于对水分的吸收利用, 玉米耗水量相应增加; 与连作相比, 轮作小区休闲期短, 土地的负载量较大, 使玉米产量轮作低于连作, 因而连作处理耗水大于轮作。除轮作 NPM 处理外, 其它处理生殖生长期耗水量均高于营养生长期; 营养生长期连作 NPM 处理最高, 生殖生长期均轮作 NPK 耗水量最高, 而 NP 处理耗水量在各生育期均最低。

表 3 轮作与不同施肥处理春玉米储水量、耗水量、产量及水分利用效率

试验处理	3 m 土层储水量 / mm		ΔW / mm	降水量 / mm	耗水量 / mm	水分利用效率 / $(kg \cdot m^{-3})$
	播种期	收获期				
CT-NPM	579.13	592.16	-13.03	344.8	331.77	3.22
RT-NPK	562.99	613.87	-50.88	344.8	293.92	3.16
RT-NPM	494.98	527.78	-32.80	344.8	312.00	3.25
RT-NP	498.70	622.20	-78.18	344.8	266.62	3.17

注: ΔW = 播种前土壤储水量 - 收获后土壤储水量。

3.2 长期轮作施肥对春玉米生长及产量的影响

轮作能够提高土壤肥力并增加土壤有机质, 提高氮利用效率, 并最终提高经济效益和作物产量^[1-3]。

2007 年的试验结果表明, 在相同施肥水平, 连作处理的作物叶面积、生物量和产量均高于轮作处理, 但是其水分利用效率却明显低于轮作处理。而多年试验

结果表明,轮作处理的产量和生物量稍高于相同施肥水平的连作处理,但二者无显著差异,而轮作条件下,施 NPK 处理高于 NP 处理,二者也无显著差异,但均显著低于 RT—NPM 和 CT—NPM 处理;此结果说明,相对于连作,轮作能够增加作物产量,但另一方面,轮作也提高了作物的复种指数(连作仅一年一作而轮作为 3 年 4 作),增加了土壤水分的消耗,因而导致产量在试验年(2007 年)反而没有连作处理的高,多年平均值仅稍高于相同施肥的连作处理。

研究表明,钾肥由于改善了土壤中养分的平衡状况,刺激了玉米苗期次生根的生成,提高了吸收养分和水分的能力,促进了植株生长,提高了籽实的千粒重、穗粒数,因而有显著的增产效果^[10-11]。本研究中 NPK 肥处理的春玉米除了产量显著高于 NP 处理,其生长指标(叶面积和生物量)及水分利用效率均与 NP 处理无显著差异。这可能与该地区土壤中含 K 较高有关。许多研究均表明^[12],施用有机肥能显著改善土壤肥力,增加有机质和氮磷钾的含量,增加氮磷的有效性;增施有机肥能明显提高作物产量^[13-14]。党廷辉等^[15]研究认为,有机肥的施用显著提高了旱地土壤全 N 含量,尤其是 NPM 处理。轮作不同施肥对土壤有机 C、全 N、有效 P 影响明显,施 NPM 提高了土壤有机 C、全 N 与有效 P 含量。本研究结果表明,作物生物量和产量与施肥量呈极显著正相关,相对于 NP 处理,NPM 处理能显著提高作物产量和生物量、叶面积等指标,而且 NPM 处理的水分利用效率也为最高。因而,在黄土高原地区应该提倡有机肥和氮磷肥配施,不仅能够显著提高作物产量,而且可以提高作物的水分利用效率。

从试验结果可以看出,影响春玉米生长和产量的主要因素是施肥水平,其次是轮作和连作;不同施肥水平,产量和生物量均为: NPM > NPK > NP,但是生物量和叶面积 NPK 和 NP 处理无显著差异,说明 NPM 能显著提高生物量和叶面积,并最终提高作物产量,而钾肥在本地区有一定增产效应,但效果不显著;相同施肥水平下,连作处理籽粒产量和生物产量均高于轮作处理,而水分利用效率却是轮作高于连作

处理。因而,在该地区农业生产中首先要坚持化肥有机肥配施,有利于获得高产,其次进行适当的轮作,可获得较高的水分利用效率,保证作物的高产和稳产。

[参 考 文 献]

- [1] 樊军,郝明德.长期轮作施肥对土壤微生物碳氮的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):85-87.
- [2] 李玉鑫,马保罗,尼尔·麦克劳克林,等.轮作在保护性耕作中的作用[J].中国农技推广,2006,22(5):20-21.
- [3] 王俊,李凤民,贾宇,等.半干旱黄土区苜蓿草地轮作农田土壤氮、磷和有机质变化[J].应用生态学报,2005,16(3):439-444.
- [4] 李军,王立祥,邵明安,等.黄土高原地区玉米生产潜力模拟研究[J].作物学报,2002,28(4):555-560.
- [5] 李玉山,苏陕民.长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M].北京:科学技术文献出版社,1991:115-125.
- [6] 刘文兆,李玉山.渭北旱塬西部春玉米产量与耗水量关系研究[J].中国农业气象,1990,11(4):14-18.
- [7] 李全起,陈雨海,房全孝.夏玉米种植中水分问题的研究进展[J].玉米科学,2004,12(1):72-75.
- [8] 曹云者,宇振荣,赵同科.夏玉米需水及耗水规律的研究[J].华北农学报,2003,18(2):47-50.
- [9] 任鸿瑞,罗毅.鲁西北平原冬小麦和夏玉米耗水量的实验研究[J].灌溉排水学报,2004,23(4):37-39.
- [10] 武际,郭熙盛,李孝勇,等.连续施用磷钾肥对油菜、玉米养分吸收及产量的影响[J].中国农学通报,2005,21(9):289-293.
- [11] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等.长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):789-794.
- [12] 党廷辉,张麦.有机肥对黑垆土养分含量、形态及转化影响的定位研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(4):1-4.
- [13] 王伯仁,徐明岗,文石林.有机肥和化学肥料配合施用对红壤肥力的影响[J].中国农学通报,2005,21(2):160-163.
- [14] 马宏斌,郭瑞萍.有机肥对旱地莜麦生长发育的影响[J].中国农学通报,2006,22(8):335-337.
- [15] 党廷辉,高长青,彭琳,等.长武旱塬轮作与肥料长期定位试验[J].水土保持研究,2003,10(1):61-64,103.