

配施钾肥、有机肥对旱地春玉米光合生理特性和产量的影响

杨玉玲^{1,2}, 刘文兆^{1,2*}, 王 俊^{2,3}, 张益望^{2,4}

(1. 西北农林科技大学 资环学院, 陕西杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;

3. 西北大学 城市与资源学系, 西安 710127; 4. 中国科学院 研究生院, 北京 100089)

摘 要: 以长期定位施肥试验为平台, 研究在施用氮磷肥条件下, 配施钾肥、有机肥对黄土塬区春玉米光合生理特性和产量的影响。结果表明: 配施钾肥在灌浆前期降低了 *LAI*、*WUE*、叶片水势、干物质积累量、叶片光合和蒸腾速率, 但在灌浆后期提高了 *LAI*、*WUE*、干物质积累量和叶片光合速率, 且与对照间达显著差异, 这说明配施钾肥对春玉米生长的影响主要表现在生育后期; 配施钾肥可显著提高整个生育期的 *SPAD* (叶绿素相对含量)、株高; 可促进同化向籽粒的转移, 使籽粒产量增加; 但收获指数下降了 3.2%。而配施有机肥可显著提高春玉米整个生育期的 *LAI*、株高、*SPAD*、光合速率和蒸腾速率等生理指标 (*WUE* 和水势除外) 和产量, 使籽粒产量和生物产量增加, 与对照、钾肥间差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。在富含钾素的黄土塬区, 配施有机肥对春玉米光合生理特性和产量的作用优于配施钾肥。

关键词: 钾肥; 有机肥; 产量; 光合生理特性; 旱地; 春玉米

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2009)03-0116-06

Effects of Potassium and Organic Fertilizer on Photosynthetic Physiological Characteristics and Yield of Spring Maize in Dry Lands

YANG Yuling^{1,2}, LIU Wenzhao^{1,2*}, WANG Jun^{2,3} and ZHANG Yiwang^{2,4}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling Shaanxi 712100, China; 3. Department of Urban and Resources, Northwest University, Xi'an Shaanxi 710127, China; 4. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100089, China)

Abstract: Field experiments were conducted to investigate the effects of potassium and organic fertilizer on photosynthetic physiological characteristics and yield of spring maize in phosphorus and nitrogen fertilizer application to an experimental field on the Changwu tableland of the Loess Plateau. Results showed that application of potassium fertilizer decreased the *LAI*, leaf water potential, dry matter accumulation, and leaf photosynthetic and transpiration rate before the filling stage, but increased the *LAI*, dry matter accumulation, and photosynthetic rate after the filling stage. The difference was significant in contrast to CK. This indicated that the effects of potassium fertilizer on spring maize mostly occurred at the later growing stage. In contrast to CK, the effects could significantly increase *SPAD* and plant height through the whole growing stage, increase grain yield by 844.8 kg/ha, or 10%, and reduce harvest index by 3.2%. However, application of organic fertilizer could significantly increase the *LAI*, plant height, *SPAD*, photosynthetic and transpiration rate (except leaf *WUE* and water potential), and yield, and increase grain yield by 687.8 kg/ha, or 20.0%. Application of organic fertilizer could raise biomass yield by 11025 kg/ha, or by 18.7%, with the harvest index reac-

收稿日期: 2008-12-10 修回日期: 2008-12-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-424-1); 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD09B09)。

作者简介: 杨玉玲 (1982-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要研究方向农业生理生态和农田蒸散研究。E-mail: yulingyang1982@126.com

通讯作者: 刘文兆。E-mail: wzliu@ms.iswc.ac.cn

hing to 48.8%. The application of organic fertilizer for biomass yield had significant difference ($P < 0.05$) in contrast to CK and potassium fertilizer application, increasing 6.5% and 9.7%, respectively. The effects of organic fertilizer on photosynthetic physiological characteristics and the yield were greater than those of potassium fertilizer in the tableland of enriched potassium, but application of potassium and organic fertilizer had no significant effects on the leaf WUE.

Key words: Potassium; Organic fertilizer; Yield; Photosynthetic physiological characteristics; Dry land; Spring maize

黄土塬区在我国农业生产上占有重要地位,是我国玉米的主产区之一,春玉米作为黄土高原仅次于冬小麦的第二大主栽作物^[1-2,8],在该区粮食生产中具有举足轻重的作用,玉米生长期为4—9月,雨热同期,在正常的降水年份,只要养分供应得当,都能获得较高的产量^[2]。

玉米产量的提高与施肥种类、数量和配施方式等在一定范围内密切相关^[3]。黄土高原地区对提高玉米产量采取的措施先后经过施农家肥、氮磷肥到施氮磷钾肥,增产效果日趋明显^[4]。但目前对于我国北方钾素对大田作物的影响,不同地区和不同作物上钾肥的有效使用技术措施等重大问题缺乏全面认识,钾素的投入存在很大的盲目性。在冬小麦上,已有在黄土高原区合理施用肥料尤其是钾肥、有机肥的试验研究^[5-7],而在春玉米上鲜见报道^[8]。因此,在全面考虑玉米产量的前提下,探求在长期施用氮磷肥的基础上配施钾肥、有机肥对作物产量和光合生理特性的影响,具有重要的理论意义和实践价值。

本试验以长期定位施肥试验为平台,研究在施用氮磷肥条件下,配施钾肥、有机肥对冬小麦-春玉米轮作方式下的春玉米生理特征、光合特性和产量形成的影响,以期为提高黄土高原农田生产力与生态环境协调发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

长期定位施肥试验于1984年建立,位于黄土高原中南部的陕西省长武县十里铺旱塬上^[5]。塬面平坦宽阔,黄土堆积深厚,土壤为黄盖粘黑垆土,试验地海拔1200 m,年均降雨578.5 mm, > 10℃积温3 029℃,年均气温9.1℃,无霜期171 d,属温带半湿润大陆型季风气候,是典型的雨养农业区,2007年年降水量为506.1 mm,比多年平均同期降水(578.5 mm)减少12.9%,属于干旱年份。由于玉米生育期严重干旱,风干早熟25 d,

提前收获。试验时耕层土壤有机质含量 $10.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量 $0.57 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮含量 $37.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷含量 $0.659 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷含量 $3.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $129.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 8.3。

1.2 试验设计

本试验从长期定位肥料试验中选取了小麦—玉米轮作系统中的3个处理:NP(对照)、NP+K(施钾肥)和NP+M(配施有机肥),随机区组设计,试验小区面积 66 m^2 ($6.6 \text{ m} \times 10 \text{ m}$),3次重复。其中氮肥(尿素)施用量为 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷肥(过磷酸钙)施用量 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,钾肥(硫酸钾)施用量 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,有机肥为厩肥 $75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (有机质含量 $106 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量 $2.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量 $0.11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $3.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。所有肥料于每年作物播种前撒施于地表,翻入土中。

供试春玉米品种为沈丹10号,2007-04-20播种,播种前先用药水处理种子,然后每区浇水175 kg左右(播种穴浇水总计),播种方法为人工开穴点种,播种量为每小区0.4 kg,2007-09-17收获。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 形态指标 分别在六叶期、拔节期、大喇叭口期、灌浆期、成熟期,每小区分别选取代表性的植株5株,测定株高和叶面积,并计算叶面积指数(LAI)。

1.3.2 光合生理指标 分别在六叶期、拔节期、大喇叭口期、灌浆期和成熟期选择晴朗无云的上午9:00~11:30用LI-6400便携式光合仪测定光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)(灌浆期前选最上部全展叶片,灌浆期后测定穗位叶);利用日本生产的SPAD502测定叶绿素含量;早上6:00~8:00用SKYPE压力室测定叶片水势,重复5次。

1.3.3 生物量和籽粒产量 分别在六叶期、拔节期、大喇叭口期、灌浆期、收获期,采集地上部分,每小区各取三株,并将茎、叶、穗分开装入纸袋,

105℃杀青,75℃烘干称重,计算生物量,收获期记录每小区的籽粒产量(风干质量)和生物产量。

1.4 数据统计分析

采用 SAS 6.12 统计分析软件进行单因素方差分析,用 Microsoft Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 配施钾肥、有机肥对叶面积指数(LAI)和株高的影响

从图1知,春玉米 LAI 变化大体上分为缓慢增长期(出苗后至拔节)、快速增长期(拔节至大喇叭口期)、衰退期(大喇叭口至灌浆)3个阶段。在第一阶段,对照、配施钾肥和配施有机肥的 LAI 增长缓慢;在第二阶段 LAI 增长最快,在大喇叭口期达到最大值,配施有机肥为 3.41,配施钾肥为 3.08,对照为 3.28;在第三阶段 LAI 逐渐下

降,配施钾肥、有机肥的 LAI 下降缓慢,分别下降 7.5%和 10.2%,而对照下降较快,下降 20.8%,且配施钾肥在灌浆后期的 LAI 高于对照。方差分析结果表明,有机肥与对照、钾肥均达极显著水平,对照与钾肥之间在大喇叭口期前差异不显著,后期叶面积指数有所提高且差异极显著。

由图1也可看出,配施有机肥、钾肥可提高春玉米整个生育期植株的生长(苗期除外),与对照差异显著。各处理在灌浆阶段的株高最高,依次为配施有机肥(221.3 cm)> 钾肥(210.6 cm)> 对照(204.7 cm)。与对照相比,配施有机肥、钾肥株高分别增加 8%和 2%。配施有机肥与配施钾肥间株高差异也达到显著水平,前者比后者的株高增加 5%。由以上分析可知,配施有机肥可显著提高春玉米整个生育期的 LAI 和株高,配施钾肥则对 LAI 基本无影响,但可提高玉米株高。

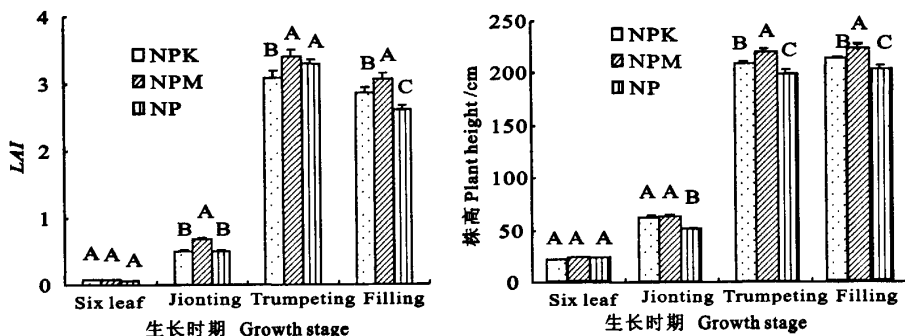


图1 配施钾肥、有机肥对叶面积指数(LAI)和株高的影响

Fig. 1 Effects of potassium and organic fertilizer on LAI and plant height

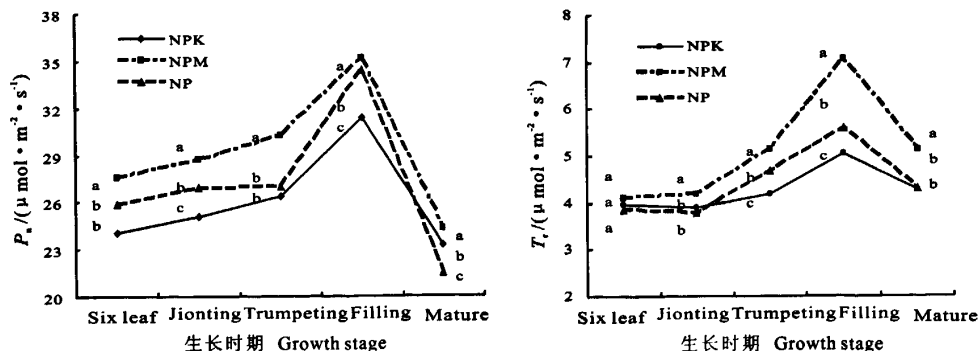


图2 配施钾肥、有机肥对净光合速率和蒸腾速率的影响

Fig. 2 Effects of potassium and organic fertilizer on photosynthetic and transpiration rate

2.2 配施钾肥、有机肥对叶片生理特性的影响

2.2.1 光合速率和蒸腾速率 在施用氮磷肥基础上,配施钾肥和有机肥对春玉米光合特性的影响见图2。可以看出,春玉米各生育时期的光合速率和蒸腾速率变化均呈单峰曲线。拔节至大喇叭口期缓慢增加且趋于平稳,大喇叭口后期至灌浆期,二者均迅速增加,在灌浆期达到最大值,光合速率分别为 $31.38 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $35.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,蒸腾速率分别为 $5.07 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $7.09 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;灌浆期后期

叭口期缓慢增加且趋于平稳,大喇叭口后期至灌浆期,二者均迅速增加,在灌浆期达到最大值,光合速率分别为 $31.38 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $35.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,蒸腾速率分别为 $5.07 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $7.09 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;灌浆期后期

至成熟期由于叶片衰老,所以光合和蒸腾速率迅速下降。

方差分析结果表明:配施有机肥可提高整个生育期叶片的光合速率,在灌浆期光合速率达到最大,且与对照和配施钾肥间达显著性水平;而配施钾肥灌浆前期降低了叶片的光合速率,与对照间差异不显著,灌浆后期则提高了叶片的光合速率,且与对照间差异显著,这说明配施钾肥对玉米光合的影响主要表现在生长后期。配施有机肥也可促进整个生育期叶片的蒸腾速率的提高,与对照和配施钾肥间差异显著;配施钾肥降低了整个生育期叶片的蒸腾速率,且与对照间在大喇叭口期前无显著差异,这一结果与王贵平^[9]等的研究结果施用钾肥的光合速率低于对照区,且二者间无显著差异基本一致。但大喇叭口期后与对照间差异显著,这也说明了施钾对春玉米后期的生长起作用。

2.2.2 叶绿素相对含量和叶水势 配施钾肥、有机肥在整个生育期(苗期除外)均能提高玉米叶片的叶绿素相对含量(图 3a)。标准差结果表明,二者与对照间均存在差异,这可能是因为钾肥可以促进硝酸还原酶活性的提高,有利于植株进行氮的同化,因此提高了叶绿素含量^[10]。

从图 3b 知,配施钾肥、有机肥基本对叶片水势无影响。苗期到拔节后期叶片水势降低,拔节期达到最低,为 -17.9 bar 和 -17.3 bar;拔节后期至灌浆期叶片水势增高,大喇叭口期达到最高值,为 -4.2 bar 和 -3.3 bar。这可能是由于玉米生长前期将雨量充足,虽然导致叶片的含水量升高,但水势值却降低,具体原因有待于进一步探讨。而生长后期降雨量减少,土壤干旱,叶片水势增高有利于玉米在干旱条件下维持正常的生理代谢,抵抗干旱的危害,促进玉米的生长^[11]。

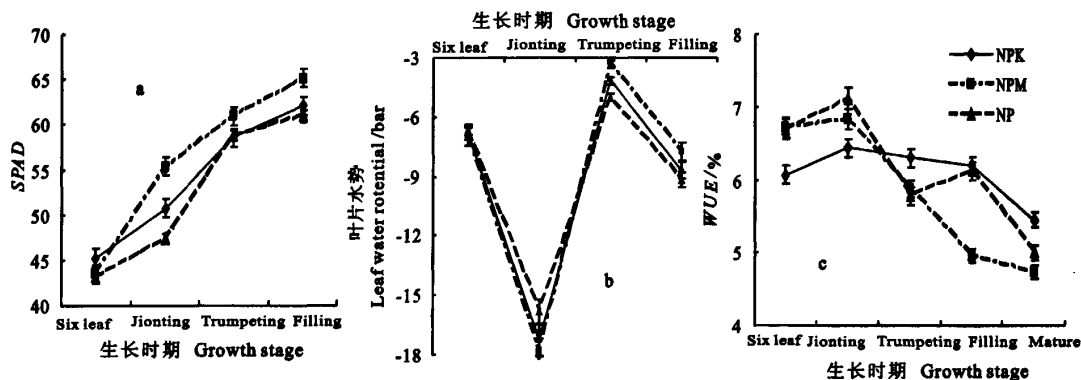


图 3 配施钾肥、有机肥对 SPAD、叶片水势和 WUE 的影响

Fig. 3 Effects of potassium and organic fertilizer on PAD, leaf water potential, and WUE

2.2.3 叶片水分利用效率(WUE) 植物在吸收 CO_2 进行光合作用的同时,蒸腾释放一定量的水汽,单叶水平一般采用光合速率和蒸腾速率之比来表示植物的WUE^[12]。图 3c 显示春玉米叶片水平上的WUE,3个处理在苗期至大喇叭口期的叶片WUE较高,大喇叭口期后逐渐降低。配施钾肥和有机肥在春玉米生育前期WUE均低于对照,其中配施钾肥与对照间有差异,配施有机肥与对照间无差异。大喇叭口期后叶片WUE迅速下降,这可能是因为干旱条件下,影响WUE的两个主要因素是蒸腾速率和光合速率,WUE的变化取决于蒸腾速率与光合速率的相对快慢,前者对其的影响大于对后者对其的影响^[13]。其中配施钾肥WUE一直保持较高的水平,配施有机肥

WUE则比对照低,且均与对照间存在差异,这可能是因为配施钾肥和有机肥在土壤水分干旱下叶片的蒸腾速率仍维持在一个较高水平的缘故。

2.3 配施钾肥、有机肥对春玉米干物质累积和产量的影响

2.3.1 地上部干物质累积 配施钾肥、有机肥对各生育期(苗期和拔节期除外)的地上部干物质累积均有明显的影响(图 4)。在施用氮磷肥基础上,配施有机肥提高了干物质累积量,配施钾肥降低了干物质累积量。在拔节期,对照的干物质累积量最大,为 $822 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比配施钾肥增加 $346.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、比配施有机肥处理,增加 $269 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,但各处理间无显著差异。

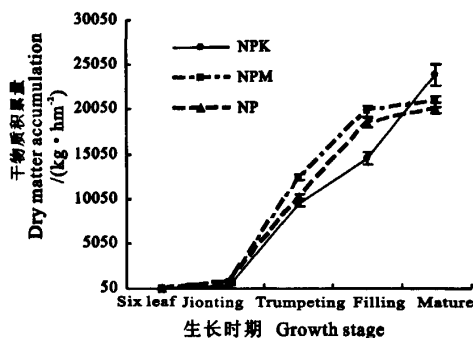


图4 配施钾肥、有机肥对地上部干物质积累的影响
Fig. 4 Effects of potassium and organic fertilizer on dry matter accumulation

在大喇叭口期和灌浆期,干物质累积量变化相同,其顺序均为配施有机肥>对照>配施钾肥。其中配施有机肥与对照差异不明显,与配施钾肥明显差异明显;配施钾肥则与对照间存在差异,降低了干物质累积量。

配施钾肥、有机肥对成熟期的累积有显著影响。配施钾肥干物质累积量最大为 20178.8 kg · hm⁻²,比对照增加 16.5%,比配施有机肥增加 13.6%。这可能是因为在氮磷肥的基础上,配施钾肥可以提高作物籽粒中必需氨基酸的含量,从而增加了籽粒产量,这与刘峰、聂荣帮^[10]等认为的钾肥可促进玉米籽粒中氮的吸收与同化,增加蛋白质含量的观点一致。同时从田间长势观察,配施钾肥较对照的玉米植株茎粗,高大,玉米穗粗,果穗长,秃顶短,穗粒数多,这可能是生物产量增加的直接原因。

表1 配施钾肥、有机肥对玉米籽粒产量和生物量的影响

Table 1 Effects of potassium and organic fertilizer on grain yield and biomass yield

处理 Treatment	籽粒产量 (kg · hm ⁻²) Grain Yield	生物产量 (kg · hm ⁻²) Biomass Yield	收获指数 /% Harvest Index
NPK	9290±157b	58810.00±639.98b	39.1±0.66c
NPM	10133±63a	69897.50±384.21a	48.8±0.31a
NP	8445±173c	58872.50±504.47b	42.3±0.87b

2.3.2 籽粒产量和生物产量 方差分析结果表明(表1),除配施钾肥与对照之间对生物产量影响差异不显著外,其他均达到显著差异($P<0.05$)。与对照相比,配施有机肥玉米籽粒产量增加1 688 kg · hm⁻²,增幅 19.98%;生物产量增加1 1025 kg · hm⁻²,增幅 18.7%;收获指数为 48.8%,增加 6.5%;配施钾肥玉米籽粒产量增加 844.75 kg

· hm⁻²,增幅 10%,表明配施钾肥可以促进光合产物向籽粒运输;而收获指数为 39.1%,降低 3.2%。由此表明在施用氮磷肥基础上,配施有机肥、钾肥是充分发挥肥效,提高玉米单产的有效措施,且配施有机肥的经济产量优于配施钾肥。

3 讨论

玉米产量的提高与施肥种类、数量和配施方式等在一定范围内密切相关^[3]。黄土高原地区对提高玉米产量采取的措施先后经过施农家肥、氮磷肥到施氮磷钾肥,增产效果日趋明显^[4]。大量研究表明,肥料作为作物养分的主要来源,直接参与或调节作物营养代谢与循环,与作物的产量有密切的关系。在本试验条件下,增施钾肥在前期对春玉米叶面积指数无影响,后期影响明显,这与李明德^[11]、王贵平等^[9]的研究结论即施钾肥能显著提高玉米叶面积指数的不一致,其原因可能在于黄土区土壤属富钾土壤,而钾素在自然供给力较高区,几乎无作用^[13],所以配施钾肥对前期春玉米叶片生长效果不明显,大喇叭口期后则促进茎叶的生长。配施钾肥可显著提高春玉米整个生育期的 SPAD、株高;配施钾肥促进籽粒增加,使籽粒产量增加 844.75 kg · hm⁻²,增幅 10%,与对照达显著水平,这与高道华等^[3]研究一致,究其原因可能是配施钾肥可以提高作物籽粒中必需氨基酸的含量,从而增加了籽粒产量,这与刘峰、聂荣帮^[10]等(2004)认为的钾肥可促进玉米籽粒中氮的吸收与同化,增加蛋白质含量的观点一致。同时从田间长势观察,配施钾肥较对照的玉米植株茎粗,高大,玉米穗粗,果穗长,秃顶短,穗粒数多,这可能是生物产量增加的直接原因。而增施有机肥的结果与前人的结果一致。

综上所述,在长期施用氮磷肥的基础上,配施钾肥对作物的光合生理特征影响主要表现在生长后期;配施钾肥可显著提高春玉米整个生育期的 SPAD、株高;配施钾肥促进籽粒增加,但降低了收获指数。而配施有机肥可显著提高春玉米整个生育期光合生理指标(叶片 WUE 除外)和产量。这说明在施用氮磷肥的基础上,配施有机肥的效果优于配施钾肥。

参考文献:

- [1] Chinese Academy of Science's Comprehensive Science Survey Team on Loess Plateau (中国科学院黄土高原综合科学

- 考察队). Farming, Forestry and Animal-husbandry Comprehensive Development and Rational Position on Loess Plateau[M]. Beijing: Science Press, 1991: 158-182.
- [2] Shang Guan Z-P(上官周平), Peng K S(彭珂珊), Peng L (彭琳), *et al.* Food Production and Sustainable Development on Loess Plateau[M]. Xi'an: Shaanxi People's Press, 1991, 19-32, 135-164.
- [3] 高道华. 钾对玉米某些生理特性和产量的影响[J]. 土壤肥料, 1993, (2): 33-35.
- [4] 金继运, 高广领, 王泽良, 等. 不同土壤钾素释放动力学及其供钾特征的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1994, (1): 39-48.
- [5] 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, 3(10): 61-64.
- [6] 党廷辉, 郭胜利, 郝明德, 等. 旱作冬小麦施氮肥与地膜栽培的水肥效应[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 44-47.
- [7] 郝明德, 王旭刚, 党廷辉, 等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J]. 作物学报, 2004, 30(11): 1108-1112.
- [8] 党廷辉, 彭琳, 戴鸣钧, 等. 长武旱塬春玉米氮肥效应试验研究[J]. 水土保持通报, 1995, 15(6): 22~27(in Chinese).
- [9] 王贵平, 张伟华, 张胜, 等. 钾肥对春玉米光合性能及产量形成影响的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2000, 12(21): 143-147.
- [10] 刘 峰, 聂荣帮. 作物钾营养研究进展[J]. 作物研究, 2004, (5): 358-361.
- [11] 李明德, 郑圣先. 钾素营养对玉米生长及抗旱性的影响[J]. 土壤肥料, 1996, (4): 10-14.
- [12] Fischer R A, Turner N C. Plant productivity in the arid and semi-arid zones[J]. Ann. Rev. Plant Physiol., 1978, 29: 277-317.
- [13] 古巧珍, 杨学云. 长期定位施肥对小麦籽粒产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3): 76-79.
- [14] 王存连, 黄智鸿. 有机无机肥料配合施用对通油一号玉米品质及产量的影响[J]. 河北北方学院学报: 自然科学版, 2008, 24(1): 46-50.
- [15] 程明芳, 黄绍文, 金继运, 等. 肥料施用对小麦和玉米产量及钾素含量的影响[J]. 河北农业科学, 2006, 10(4): 40-43.
- [16] 于晓芳, 高霖林, 宋国栋, 等. 玉米叶片水分利用效率及其相关形状的研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(3): 64-69.
- [17] 方日尧, 同延安, 梁东丽, 等. 黄土旱塬不同覆盖对春玉米产量及土壤环境影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1897-1900.
- [18] 盛晋华, 刘克礼, 吕凤山, 等. 春玉米叶片光合速率变化规律的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1997, 9(18): 43-47.
- [19] 张书华, 陈 敏, 周开芳, 等. K 肥用量对小麦产量和品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2003, 31(增刊): 53-54.
- [20] 张 炜, 于振文, 岳寿松, 等. K 对冬小麦后期生长及产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 1996, (2): 11-14.
- [21] 宋永林. 不同肥料配比对冬小麦分蘖及成穗影响[J]. 北京农业科学, 1997, 15(4): 20-23.
- [22] 李孝良. NPK 肥对小麦生长发育及品质的影响[J]. 安徽农业技术师范学院学报, 1998, 12(4): 12-14.
- [23] Easson D L, Fearnheough W. Effects of plastic mulch, sowing date and cultivar on the yield and maturity of forage maize grown under marginal climatic conditions in Northern Ireland[J]. Grass Forage Sci, 2000, 55(3): 221-231.
- [24] Belay A, Claassens A S, Wehner F C. Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(6): 420-427.
- [25] SHEHU Y. The effect of green manuring and chemical fertilizer application on maize yield, quality and soil composition[J]. Tropical Grasslands, 1997, 32: 139-142.
- [26] 张岭梅, 苏培玺, 严巧娣. 玉米种子大小和灌溉制度对产量及水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(5): 157-161.
- [27] 李吴强, 温晓霞, 高茂盛, 等. 半湿润区旱作期垄覆膜沟播小麦的水分及生理效应研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(5): 146-151.

作者: [杨玉玲](#), [刘文兆](#), [王俊](#), [张益望](#), [YANG Yuling](#), [LIU Wenzhao](#), [WANG Jun](#), [ZHANG Yiwang](#)

作者单位: [杨玉玲, 刘文兆, YANG Yuling, LIU Wenzhao \(西北农林科技大学, 资环学院, 陕西杨凌, 712100; 中国科学院水利部, 水土保持研究所, 陕西杨凌, 712100\)](#), [王俊, WANG Jun \(中国科学院水利部, 水土保持研究所, 陕西杨凌, 712100; 西北大学, 城市与资源学系, 西安, 710127\)](#), [张益望, ZHANG Yiwang \(中国科学院水利部, 水土保持研究所, 陕西杨凌, 712100; 中国科学院, 研究生院, 北京, 100089\)](#)

刊名: [西北农业学报](#) **ISTIC** **PKU**

英文刊名: [ACTA AGRICULTURAE BOREALI-OccIDENTALIS SINICA](#)

年, 卷(期): 2009, 18(3)

被引用次数: 4次

参考文献(27条)

1. 中国科学院黄土高原综合科学考察队 [Farming, Forestry and Animal-husbandry Comprehensive Development and Rational Position on Loess Plateau](#) 1991
2. 上官周平;彭珂珊;彭琳 [Food Production and Sustainable Development on Loess Plateau](#) 1991
3. 高道华 [钾对玉米某些生理特性和产量的影响](#)[期刊论文]-[土壤肥料](#) 1993(02)
4. 金继运;高广领;王泽良 [不同土壤钾素释放动力学及其供钾特征的研究](#)[期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#) 1994(01)
5. 党廷辉;高长青;彭琳 [长武旱塬轮作与肥料长期定位试验](#)[期刊论文]-[水土保持研究](#) 2003(10)
6. 党廷辉;郭胜利;郝明德 [旱作冬小麦施氮肥与地膜栽培的水肥效应](#)[期刊论文]-[中国生态农业学报](#) 2002(04)
7. 郝明德;王旭刚;党廷辉 [黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析](#)[期刊论文]-[作物学报](#) 2004(11)
8. 党廷辉;彭琳;戴鸣钧 [长武旱塬春玉米氮肥效应试验研究](#) 1995(06)
9. 王贵平;张伟华;张胜 [钾肥对春玉米光合性能及产量形成影响的研究](#)[期刊论文]-[内蒙古农业大学学报\(自然科学版\)](#) 2000(21)
10. 刘峰;聂荣帮 [作物钾营养研究进展](#) 2004(05)
11. 李明德;郑圣先 [钾素营养对玉米生长及抗旱性的影响](#)[期刊论文]-[土壤肥料](#) 1996(04)
12. Fischer R A;Turner N C [Plant productivity in the arid and semi-arid zones](#) 1978
13. 古巧珍;杨学云 [长期定位施肥对小麦籽粒产量及品质的影响](#)[期刊论文]-[麦类作物学报](#) 2004(03)
14. 王存连;黄智鸿 [有机无机肥料配合施用对通油一号玉米品质及产量的影响](#)[期刊论文]-[河北北方学院学报\(自然科学版\)](#) 2008(01)
15. 程明芳;黄绍文;金继运 [肥料施用对小麦和玉米产量及钾素含量的影响](#)[期刊论文]-[河北农业科学](#) 2006(04)
16. 于晓芳;高聚林;宋国栋 [玉米叶片水分利用效率及其相关形状的研究](#)[期刊论文]-[玉米科学](#) 2008(03)
17. 方日尧;同延安;梁东丽 [黄土旱塬不同覆盖对春玉米产量及土壤环境影响](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2003(11)
18. 盛晋华;刘克礼;吕凤山 [春玉米叶片光合速率变化规律的研究](#)[期刊论文]-[内蒙古农牧学院学报](#) 1997(09)
19. 张书华;陈敏;周开芳 [K肥用量对小麦产量和品质的影响](#)[期刊论文]-[贵州农业科学](#) 2003(zk)
20. 张炜;于振文;岳寿松 [K对冬小麦后期生长及产量和品质的影响](#) 1996(02)
21. 宋永林 [不同肥料配比对冬小麦分蘖及成穗影响](#) 1997(04)
22. 李孝良 [NPK肥对小麦生长发育及品质的影响](#) 1998(04)
23. Easson D L;Fearnehough W [Effects of plastic mulch, sowing date and cultivar on the yield and maturity of forage maize grown under marginal climatic conditions in Northern Ireland](#)[外文期刊]

24. [Belay A;Claassens A S;Wehner F C](#) [Effect of directnitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties,microbial compo-nents and maize yield under long-term crop rotation](#)[外文期刊] 2002(06)
25. [SHEHU Y](#) [The effect of green manuring and chemical fertilizer application on maize yield,quality and soil composition](#) 1997
26. [张岭梅;苏培玺;严巧娣](#) [玉米种子大小和灌溉制度对产量及水分利用效率的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2008(05)
27. [李吴强;温晓霞;高茂盛](#) [半湿润区旱作期垄覆膜沟播小麦的水分及生理效应研究](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2008(05)

本文读者也读过(10条)

1. [胡单. 王长发. HU Dan. WANG Changfa](#) [大麦冠层温度及其与光合性能的关联](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#)2011, 20(2)
2. [陈建忠. 肖荷霞. 毛彩云. 刘艳涛. HEN Jian-zhong. XIAO He-xia. MAO Cai-yun. LIU Yan-tao](#) [钾肥对玉米子粒灌浆的影响研究](#)[期刊论文]-[玉米科学](#)2008, 16(6)
3. [柴仲平. 王雪梅. 孙霞. 蒋平安. CHAI Zhongping. WANG Xuemei. SUN Xia. JIANG Ping'an](#) [沼肥不同施用方式对枣树光合特性与产量的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#)2011, 20(2)
4. [李凤民. 刘小兰. 王俊. 底墒与磷肥互作对春小麦产量形成的影响](#)[期刊论文]-[生态学报](#)2001, 21(11)
5. [吕军峰. 郭天文. 杨文玉. 王国栋. LV Jun-feng. GUO Tian-wen. YANG Wen-yu. WANG Guo-dong](#) [不同肥料水平对玉米光合生理及产量的影响](#)[期刊论文]-[甘肃农业科技](#)2007(12)
6. [黑河中游边缘绿洲不同水分条件对青贮玉米叶片光合特性及产量的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#)2009, 18(6)
7. [杨波. 杨文钰. 任万军. 卢庭启. 肖启银. 姚雄. 龚芸. Yang Bo. Yang Wenyu. Ren Wanjun. Lu Tingqi. Xiao Qiyin. Yao Xiong. Gong Yun](#) [不同种植方式下钾肥用量对水稻群体质量和产量的影响](#)[期刊论文]-[作物杂志](#)2009(4)
8. [黄瑞冬. 于泳. 肖木辑. 许文娟. 周宇飞. Huang Ruidong. Yu Yong. Xiao Muji. Xu Wenjuan. Zhou Yufei](#) [施磷、钾肥对高粱子粒淀粉积累规律的影响](#)[期刊论文]-[作物杂志](#)2009(2)
9. [边秀芝. 盖嘉慧. 郭金瑞. 阎孝贡. 任军. 赵金宝](#) [玉米施磷肥的生物效应](#)[期刊论文]-[玉米科学](#)2008, 16(5)
10. [万素梅. 韩清芳. 胡守林. 贾志宽. 杨宝平. WAN Su-mei. HAN Qing-fang. HU Shou-lin. JIA Zhi-kuan. YANG Bao-ping](#) [黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤氮素消耗特征研究](#)[期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#)2008, 14(1)

引证文献(4条)

1. [王春莲. 曹敏建](#) [钾肥施用量与施用方式对丹大17光合性能的影响](#)[期刊论文]-[玉米科学](#) 2010(4)
2. [韩永超. 李静平. 冀红. 陈喜凤. 杨巍. 谷岩. 吴春胜](#) [不同施肥处理对膜下滴灌玉米光合特性和产量的影响](#)[期刊论文]-[吉林农业大学学报](#) 2012(3)
3. [刘占军. 李书田. 周卫. 谢桂贵. 张宽. 王秀芳. 侯云鹏](#) [不同施氮方式对春玉米产量、氮素吸收及经济效益的影响](#)[期刊论文]-[中国土壤与肥料](#) 2012(3)
4. [谢光辉. 韩东倩. 王晓玉. 吕润海](#) [中国禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 2011(1)

