

红壤旱地长期施肥对春玉米光合特性和产量的影响

于天一¹ 逢焕成^{1*} 李玉义¹ 王伯仁²

(1. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所,北京 100081;

2. 中国农业科学院 红壤试验站,湖南 邵阳 421000)

摘要 基于湖南邵阳红壤试验站长达 19 年的定位试验,于 2009 年进行了不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、单施有机肥(OM)与有机肥无机肥配合施用(NPKM)对春玉米净光合速率、叶面积指数及产量影响的比较研究。结果表明:与单施化肥相比,单施有机肥处理不仅能够显著增加春玉米叶面积指数,同时也有利于提高主要生育期的叶片净光合速率,干物质累积量显著增加,其穗粒数、百粒重及收获指数均显著增加,表现为最终产量增加 333.23%。在本试验处理条件下,单施有机肥处理与有机肥无机肥配合施用处理除苗期净光合速率有显著性差异外,在其他光合特性和产量性状上无显著性差异。综合土壤养分及历年平均产量来看,有机肥无机肥配合施用为该地区较佳的施肥方式。

关键词 红壤旱地; 长期施肥; 春玉米; 光合特性; 产量

中图分类号 S 311; S 513

文章编号 1007-4333(2013)02-0017-05

文献标志码 A

Effects of long-term fertilization on photosynthetic characteristics and yield of spring maize in upland red soil

YU Tian-yi¹, PANG Huan-cheng^{1*}, LI Yu-yi¹, WANG Bo-ren²

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Red Soil Experimental Station, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qiyang 421000, China)

Abstract To study the effects of different fertilization management on net photosynthetic rate of leaf (P_n), leaf area index(LAI) and yield of spring maize (*Zea Mays* L.), a 19-year long-term fertilization experiment has been conducted in Red Soil Experimental Station Qiyang, China. The fertilization treatments include no fertilizer (CK), application of inorganic fertilizers (NPK), application of organic fertilizer (OM) and combined application of organic and inorganic fertilizers (NPKM). The results indicated that, in comparison with NPK treatment, application of OM fertilization could increase P_n at main development stages of spring maize. And application of OM fertilization also increased LAI, aboveground biomass, grains per spike, 100-seed weight and harvest index of spring maize, thus increased yield by 333.23%. In comparison with OM treatment, application of NPKM fertilization only improved P_n at seedling stage of spring maize, but did not increase LAI, aboveground biomass and yield significantly. Analysis with soil nutrient status and average yield from 1991 to 2009, long-term combined application of organic and inorganic fertilizers is a better fertilization method in this area.

Key words upland red soil; long-term fertilization; spring maize; photosynthetic characteristics; yield

红壤是最具生产潜力的土壤之一,我国南方红壤地区以占全国 28% 的耕地养活了占全国 43% 的人口^[1]。然而红壤地区高温高湿,土壤矿物风化淋

溶强烈、发育完全^[2],导致红壤养分缺乏,土壤肥力下降^[3],不利于作物高产,且旱地土壤养分退化程度相对于水田土壤更严重。而合理施肥是提高旱地红

收稿日期: 2012-06-09

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103001)

第一作者: 于天一,博士研究生,E-mail: tianyi_1984@126.com

通讯作者: 逢焕成,研究员,主要从事农作制度及盐碱土等研究,E-mail: hcpang@caas.ac.cn

壤肥力,保证作物高产的重要措施之一。以往关于旱地红壤上的长期施肥研究多集中于土壤性质及作物产量^[1,4-6]。邵兴华等^[4]在江西省进贤县31年定位施肥试验研究认为,长期有机肥无机肥配合施用不仅能显著提高土壤肥力,而且能增加土壤酶活性,从而显著提高土壤持续生产力。孔宏敏等^[1]经过14年的田间定位试验表明,红壤旱地磷素最为缺乏,施用磷肥对提高花生及油菜的产量效果最好。光合作用是作物进行物质生产的基本生理过程,改善玉米光合作用性能对于提高作物产量具有重要作用^[7]。而在多年定位试验后不同施肥方式如何影响作物整个生育过程中的光合特性及干物质累积状况尚缺乏深入研究。

董鲁浩等^[8]以湖南祁阳旱地红壤长期肥料试验为依托,研究了不同施肥处理对土壤养分及小麦产量的影响。本研究在此基础上,探讨了红壤旱地长期不同施肥处理对春玉米光合特性、干物质积累及产量的影响,以期为该地区建立合理的施肥方式提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地基本状况

肥料长期定位试验设在湖南祁阳中国农科院红壤试验站内(东经111°52'32",北纬26°45'12"),该地区属于亚热带季风气候,年平均降水量1250 mm,年蒸发量1470 mm,≥10℃积温5600℃,年平均温度18℃,年日照时数1610 h,无霜期300 d,土壤为第四纪红土母质发育的红壤。

1.2 试验设计

试验于1991年开始,采用小麦玉米一年两熟轮作,选取定位试验的4个处理:不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、单施有机肥(OM)、有机无机肥配施(NPKM),进行相关指标的测定。供试肥料为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、氯化钾(K₂O 60%)和猪粪(N 16.7%),各处理施肥情况见表1,经过19年定位施肥之后,各处理的耕层养分状况见表2。小区面积为196 m²,试验布置之初受条件所限只设了2次重复。

表1 不同处理全年施肥量

Table 1 Fertilizer rate with different treatments in whole year

kg/hm²

处理 Treatments	尿素 Urea (N)	过磷酸钙 Calcium superphosphate(P ₂ O ₅)	氯化钾 Potassium chloride (K ₂ O)	猪粪 Pig manure (N)
CK	0	0	0	0
NPK	300	120	120	0
OM	0	0	0	300
NPKM	90	120	120	210

表2 定位施肥19年之后耕层土壤养分状况

Table 2 Soil nutrient status after fertilization for 19 years

处理 Treatments	pH	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total nitrogen	全磷/(g/kg) Total phosphorus	碱解氮/(mg/kg) Available nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium
CK	5.9	12.69	0.94	0.46	57.2	3.2	56.6
NPK	4.5	17.15	1.18	0.97	63.8	60.0	219.7
OM	6.8	26.44	1.54	1.34	102.2	29.0	229.7
NPKM	6.3	24.34	1.48	1.76	98.2	225.0	310.0

在一年两熟制的试施肥中,小麦季占总施肥量的30%,玉米季占总施肥量的70%,肥料于作物播种前一次性施入,全年不灌溉,小麦于每年11月10

日播种,播量为62.5 kg/hm²,次年5月10日收获,品种为湘麦4号,春玉米于3月20日播种,定植密度为60000株/hm²,7月15日收获,品种为掖单

13,其他管理措施同当地常规水平。

1.3 测定项目与方法

于苗期、拔节期、大喇叭口期(大口期)、乳熟期每小区选择有代表性的10株玉米,选择晴朗无风的天气10:00—12:00,用Li-6400光合测定系统测定玉米倒二叶(第一片完全展开叶)光合速率,设定光强(CO₂)为1 200 μmol/(m²·s)。

在播后25、48、71、85、100和117 d每小区选择有代表性的10株玉米带回实验室,用Li-3100叶面积仪测定玉米叶面积,并计算叶面积指数。另取10株玉米,放进烘箱80℃烘干称重得出地上部干物质量。

为减少试验误差,玉米收获时将每个小区均匀分成3个亚区,其中每个亚区内50 m²为1个样方测定作物产量,每个亚区随机采玉米10株进行考种。

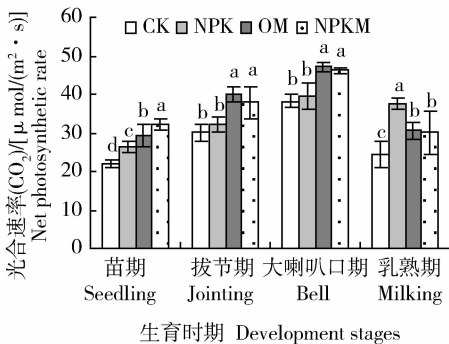
1.4 数据处理

采用DPS 6.85和SPSS v16.0软件进行数据分析,采用LSD法进行差异显著性检验,用EXCEL软件作图。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对春玉米叶片净光合速率的影响

光合作用与作物产量密切相关,叶片具有较高的光合速率是作物获得高产的一个重要因素^[7]。图1显示,与不施肥相比,长期施肥均能够明显改善春玉米叶片净光合速率,但各施肥处理对光合速率的影响不同。OM处理的叶片净光合速率在苗期至大喇叭口期显著高于NPK处理,较NPK处理分别高



柱上不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

Different letters above the bars indicate significant difference at the 5% level.

图1 长期施肥对春玉米叶片净光合速率的影响

Fig. 1 Effect of long-term fertilization on net photosynthetic rate of spring maize leaf

出11.03%、24.15%和19.60%,但乳熟期却显著低于NPK处理,因此与单施化肥相比,单施有机肥能够提高春玉米苗期至大喇叭口期的净光合速率;NPKM处理的叶片净光合速率仅在苗期显著高于OM处理,较OM处理增加10%,其他时期差异不显著。

2.2 长期施肥对春玉米叶面积指数的影响

图2显示,春玉米的叶面积指数随生长过程的推进呈先增后减的趋势,播后80 d左右达到最高值。与不施肥处理相比,长期施肥均能够明显改善春玉米叶面积指数,但各施肥处理对叶面积指数的影响不同。整个生育期OM处理的叶面积指数均显著高于NPK处理,其中播后25、48、71、80和100 d叶面积指数分别增加21.05%、55.56%、231.49%、17.28%及97.21%。说明与单施化肥处理相比,单施有机肥大幅度提高了春玉米的叶面积指数。而NPKM和OM处理的叶面积指数差异较小,说明与单施有机肥相比,有机肥无机肥配合施用并未显著提高春玉米的叶面积指数。不同施肥处理的春玉米叶面积发展动态不同,其中NPKM和OM处理春玉米叶面积指数从播后48 d开始迅速增长,较NPK处理有所提前,而开花后NPKM和OM处理叶面积指数的下降速度也要低于NPK处理,说明与单施化肥相比,单施有机肥及有机肥无机肥配合施用有利于春玉米开花前叶面积的迅速积累,并能延缓花后叶面积的衰老。

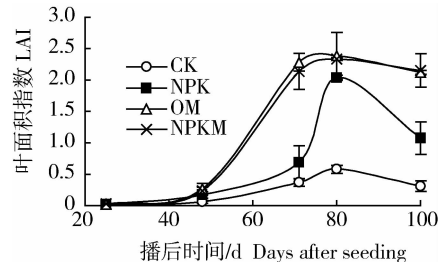


图2 长期施肥对春玉米叶面积指数的影响
Fig. 2 Effect of long-term fertilization on LAI of spring maize

2.3 长期施肥对春玉米地上部干物质积累量的影响

图3显示,各处理玉米地上部干物质积累量呈“S”型生长曲线,与不施肥处理相比,长期施肥均能增加春玉米地上部干物质积累量,且各施肥处理对春玉米干物质积累量的影响不同。播后48 d之前NPK处理与OM处理地上部干物质积累量差异较

小,从 48 d 开始 OM 处理的地上部干物质积累量迅速增加,从此至成熟期均显著高于 NPK 处理,成熟期 OM 处理的干物质质量较 NPK 处理增加 166.08%,说明与单施化肥相比,单施有机肥有利于春玉米干物质积累量的迅速积累,并能一直保持较快增长速度,最终能够大幅提高春玉米的地上部干物质积累量。整个生育期 NPKM 和 OM 处理的地上部干物质积累量差异不显著。说明与单施有机肥相比,有机肥无机肥配合施用对春玉米干物质积累

量的影响较小。

2.4 长期施肥对春玉米产量以及产量构成因素的影响

由 2009 年春玉米籽粒产量可以看出,各施肥处理对产量的影响不同。OM 处理的春玉米产量显著高于 NPK 处理,较 NPK 处理增产 333.23%。NPKM 处理产量略高于 OM 处理,但两处理差异不显著;各处理历年(1991—2009 年)平均产量表现为:NPKM 处理>OM 处理>NPK 处理,与 2009 年产量相比,NPKM 与 NPK 处理之间差异更小,NPKM 与 OM 处理的差异更大,这说明不同施肥方式对春玉米产量的影响随时间的推进而改变。

进一步分析产量构成因素可知,OM 处理的穗粒数、百粒重及收获指数较 NPK 处理分别高出 53.03%、26.49% 和 36.32%。说明与单施化肥相比,单施有机肥能够改善春玉米的产量构成因素,最终大幅度提高春玉米产量。而 OM 处理与 NPKM 处理的穗粒数、百粒重及收获指数均无显著差异。说明与单施有机肥相比,有机肥无机肥配合施用并未显著改善春玉米的产量构成因素及产量。

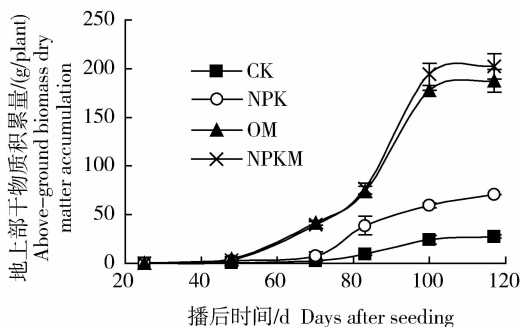


图 3 长期施肥对春玉米地上部干物质积累量的影响

Fig. 3 Effect of long-term fertilization on aboveground dry matter accumulation of spring maize

表 3 长期施肥对春玉米产量以及产量构成因素的影响

Table 3 Effect of long-term fertilization on yield and yield components of spring maize

处理 Treatments	穗粒数 Grains per spike	百粒重/g 100-seed weight	收获指数 Harvest index	2009 年产量/ (kg/hm ²) Yield of 2009	1991—2009 年平均产量/(kg/hm ²) Average yield from 1991 to 2009
CK	54.9 c	14.73 b	0.227 c	185 c	290 c
NPK	254.2 b	21.37 ab	0.402 b	1 351 b	3 045 b
OM	389.0 a	27.03 a	0.548 a	5 853 a	3 812 b
NPKM	403.4 a	27.37 a	0.554 a	6 303 a	5 141 a

注:同一列数值后的不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。

Note: Values followed by different letters within same column are significantly different at the 0.05 probability level.

3 讨论

前人研究表明,合理施肥能够提高作物产量、有效改善土壤肥力,在红壤旱地上单施有机肥及有机肥无机肥配合施用的作用更为明显^[4,9-10]。本试验条件下,玉米的光合特性、生长及产量主要受施肥多年后耕层土壤的养分状况和当季施肥状况的影响,表 2 显示,单施化肥处理土壤 pH 4.5,已严重酸化。红壤酸化会产生大量的交换性酸和交换性铝^[11-12],

而 Al 离子是酸性土壤中限制作物生长的主要障碍因子,徐明岗等^[13]在本试验土壤上的研究得出,截止到 2004 年时 NPK 处理的交换性铝含量已经远超过玉米铝毒的临界浓度,继续施化学氮肥会进一步加强对作物的毒害作用。单施有机肥可使土壤 pH 保持在作物能够正常生长的范围内(pH 6.8),而且相比于单施化肥的处理,单施有机肥能够提高土壤中有机质、全氮、全磷及碱解氮等主要养分指标的含量,因此较高的土壤养分及适宜的 pH 可能对

春玉米光合特性及生长状况的改善具有重要作用。19年定位施肥之后,单施有机肥处理与有机肥无机肥配合施用处理除苗期净光合速率有显著性差异外,在其他光合特性和产量性状上无显著性差异,两处理光合特性、干物质积累量及产量较单施化肥处理有大幅度提高。说明在红壤旱地上施有机肥对于提高土壤肥力和作物产量具有决定性作用,而施化肥虽然能够迅速提高作物产量,但长期只施化肥会加速土壤酸化,恶化作物生长环境,造成减产。从19年春玉米平均产量可以看出,单施有机肥处理的春玉米产量高于单施化肥处理,但却显著低于有机肥无机肥配施处理,说明化肥对于作物的高产稳产也是必不可少的。因此,综合来看有机肥无机肥配合施用为该地区较佳的施肥方式。

作物的光合能力取决于光合面积和光合速率,仅凭单一指标很难判断作物光合能力的大小^[14]。本研究表明,与单施化肥相比,单施有机肥不仅增加了春玉米苗期至大喇叭口期的单叶净光合速率,而且大幅度增加了整个生育期春玉米的叶面积指数。说明长期施肥虽可通过影响春玉米的光合面积及净光合速率来影响春玉米的光合特性,但对光合面积的影响更大。这与刘高洁等^[15]的研究结论一致。

参 考 文 献

- [1] 孔宏敏,何圆球,吴大付,等.长期施肥对红壤旱地作物产量和土壤肥力的影响[J].应用生态学报,2004,15(5):782-786
- [2] 王伯仁,徐明岗,文石林.长期不同施肥对旱地红壤性质和作物

- 生长的影响[J].水土保持学报,2005,19(1):97-100,144
- [3] 赵其国.我国红壤的退化问题[J].土壤,1995,27(6):281-285
- [4] 邵兴华,徐金仁,张建忠,等.长期施肥对旱地红壤肥力和酶活性的影响[J].生态环境学报,2011,20(2):266-269
- [5] 郑勇,高勇生,张丽梅,等.长期施肥对旱地红壤微生物和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(2):316-321
- [6] 曾希柏,李菊梅,徐明岗,等.红壤旱地的肥力现状及施肥和利用方式的影响[J].土壤通报,2006,37(3):434-437
- [7] 董树亭,高荣岐,胡昌浩,等.玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J].作物学报,1997,23(3):318-326
- [8] 董鲁浩,李玉义,逢焕成,等.不同土壤类型下长期施肥对土壤养分与小麦产量影响的比较研究[J].中国农业大学学报,2010,15(3):22-28
- [9] Zhang H M, Wang B R, Xu M G, et al. Crop yield and soil responses to long-term fertilization on a red soil in Southern China[J]. Pedosphere, 2009, 19(2): 199-207
- [10] 蔡泽江,孙楠,王伯仁,等.长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):71-78
- [11] 曾希柏.红壤酸化及其防治[J].土壤通报,2000,31(3):111-113
- [12] Delhaize E, Rye P R. Aluminum toxicity and tolerance in plant [J]. Plant Physiol, 1995, 107: 315-321
- [13] 徐明岗,梁国庆,张夫道,等.中国土壤肥力演变[M].北京:中国农业科学技术出版社,2006
- [14] Vos J, Putton P E, Birch C J. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L)[J]. Field Crop Res, 2005, 93: 64-73
- [15] 刘高洁,逢焕成,李玉义.长期施肥对潮土夏玉米生长发育和光合特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1094-1099

责任编辑:袁文业