

不同施肥模式对南方红壤旱地春玉米生物学特性的影响

肖小平 唐海明 汤文光 汪柯 郭立君 张帆 杨光立

(湖南省土壤肥料研究所,湖南长沙 410125)

摘要 以当地常规施肥模式为对照,研究了不同施肥模式(常规施肥加有机肥全层施用、常规施肥加有机肥穴施和常规施肥加钾肥)对南方红壤旱地春玉米干物质积累及产量的影响。结果表明:各处理春玉米叶片叶绿素相对含量大小顺序为常规施肥加有机肥穴施>常规施肥加有机肥全层施用>常规施肥加钾肥>常规施肥;单株叶面积和叶面积指数大小顺序均为常规施肥加有机肥穴施>常规施肥加有机肥全层施用>常规施肥加钾肥>常规施肥;各个主要生育时期,常规施肥加有机肥全层施用和常规施肥加有机肥穴施处理植株根系干重均显著($P<0.05$)高于其他处理;拔节期、抽雄期和成熟期,常规施肥加有机肥穴施处理植株茎和叶干重均显著($P<0.05$)高于其他处理;不同处理0~20 cm土壤含水量均高于对照,其大小顺序为常规施肥加有机肥穴施>常规施肥加有机肥全层施用>常规施肥加钾肥>常规施肥;常规施肥加有机肥穴施处理穗长、行粒数、每穗粒数和百粒重均显著高于($P<0.05$)对照;玉米产量大小顺序为常规施肥加有机肥穴施>常规施肥加有机肥全层施用>常规施肥加钾肥>常规施肥,常规施肥加有机肥全层施用、常规施肥加有机肥穴施和常规施肥加钾肥处理的籽粒产量分别比对照增加6.59%、25.40%和3.32%。总之,有机肥穴施有利于增加春玉米地下和地上部物质积累量、增加籽粒产量和提高水分利用效率,可在生产上推广应用。

关键词 春玉米;施肥模式;干物质;产量

中图分类号 S 513.062

文章编号 1007-4333(2016)08-0019-08

文献标志码 A

Effects of different fertilization modes on biological characteristics of spring maize in red soil upland in southern China

XIAO Xiao-ping, TANG Hai-ming, TANG Wen-guang, WANG Ke,

GUO Li-jun, ZHANG Fan, YANG Guang-li

(Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha 410125, China)

Abstract The effects of different fertilization modes on dry matter accumulation and yield of spring maize in red soil upland were studied by conducting plot field trial. The treatments were conventional fertilization + organic fertilizer used to the whole plough layer (T1), conventional fertilization + organic fertilizer with hole application (T2), conventional fertilization + potassium (T3) and conventional fertilization only (CK). The results showed that: The SPAD of leaves of spring maize under different fertilization modes were conventional fertilization + organic fertilizer with hole application > conventional fertilization + organic fertilizer used to the whole plough layer > conventional fertilization + potassium > conventional fertilization; And the leaf area per plant and leaf area index of spring maize were conventional fertilization + organic fertilizer with hole application > conventional fertilization + organic fertilizer used to the whole plough layer > conventional fertilization + potassium > conventional fertilization; The dry weight of root under conventional fertilization + organic fertilizer used to the whole plough layer and conventional fertilization + organic fertilizer with hole application treatments are heavier than that under other treatment; Plants under conventional fertilization + organic fertilizer with hole application treatment displayed the largest dry weight of both stem and leaves at jointing stage, heading stage and maturing stage; The results indicated that organic fertilizer with hole application significantly increased the ear length,

收稿日期: 2015-10-28

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD20B05)

第一作者: 肖小平, 研究员, 主要从事耕作生态学和农作制研究, E-mail: hntfsxxping@163.com

kernel number, number of grains in an ear and 100-grains weight than that of the conventional fertilization. The grain yield of spring maize with different fertilization modes were conventional fertilization + organic fertilizer with hole application > conventional fertilization + organic fertilizer used to the whole plough layer > conventional fertilization + potassium > conventional fertilization. Meanwhile, the grain yield of spring maize with conventional fertilization + organic fertilizer used to the whole plough layer, conventional fertilization + organic fertilizer with hole application and conventional fertilization + potassium were increased by 6.59%, 25.40% and 3.32%, respectively, compared with the conventional fertilization. The results clearly demonstrated that the dry matter accumulation, grain yield of spring maize and water use efficiency were significantly promoted by applying organic fertilizer with holing, which was the best choice for spring maize production.

Keywords spring maize; fertilization modes; dry matter; grain yield

我国亚热带红壤旱地分布广、面积大,总面积约为 211.2 万 km², 占全国土地面积的 22%, 主要分布在长江以南各省的丘陵、台地及山岗地带, 其中江西、湖南两省最多。玉米是南方地区第三大粮食作物, 常年种植面积 62.74 万 hm², 多分布在不能种植水稻的红壤旱地。肥料的种类和施用方式是影响玉米产量的关键因素之一, 其中有机和无机肥料配合施用, 是合理使用肥源和土壤资源、实现农业可持续发展的的重要途径^[1]。

南方红壤旱地由于水利设施差, 水土流失严重, 土壤具有“浅、薄、酸、粘、瘦、旱”的特点, 肥力水平低、保水保肥性能差, 土地利用率和作物产量低。近年来, 农业突发性灾害发生频繁, 季节性干旱发生明显, 干旱缺水等严重制约了该区域旱地农业的发展。玉米是需肥较多的作物, 选择合理的施肥模式不仅有利于培肥地力, 也有利于增强玉米的抗逆能力和提高玉米产量^[2]。目前, 国内外已有研究结果表明不同的施肥条件对土壤养分^[3-4]、玉米生长发育^[5-7]、生理特性^[8-9]、产量和品质性状及经济效益分析^[10-12]等的影响, 对不同施肥模式下春玉米的生长发育及产量等^[1, 11, 13]方面的研究也有涉及, 但针对南方红壤旱地土壤和气候变化的特点, 采取不同的施肥模式对春玉米干物质积累、产量及水分利用效率影响的研究还有待进一步的开展。因此, 本研究以当地常规施肥模式为对照, 初步探讨了不同施肥模式下春玉米干物质积累、产量及水分利用效率的变化特征, 旨在为红壤早春玉米的合理施肥和优化栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2013 年在湖南省华容县三封寺镇进行。土壤为第四纪红色粘土发育的红壤, 试验前耕

层土壤基础养分性状为: pH 5.1, 有机质含量 17.1 g/kg, 速效氮 84.0 mg/kg, 有效磷 4.70 mg/kg, 速效钾 79.0 mg/kg。试验地属于湿润性大陆季风湿润气候, 年均气温 16.3~17.6 °C, ≥10 °C 积温 5 270.3 °C, 无霜期 257~259 d, 年降雨量 1 200~1 500 mm。2013 年, 玉米生长期降雨量为 599.1 mm。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理: 常规施肥 + 有机肥全层施用 (T1)、常规施肥 + 有机肥穴施 (T2)、常规施肥 + 钾肥 (T3) 和常规施肥 (CK, 当地习惯施肥), 每个处理 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积 24.0 m², 小区四周加设保护行。供试玉米品种为湘康玉 1 号。于 3 月 21 日播种, 每小区 132 穴, 每穴播 2 粒, 出苗后定苗 1 株以确保全苗。各施肥处理具体操作见表 1, 施用耕地后进行播种, 有机肥穴施处理种子与肥料穴施距离 10 cm, 其他栽培管理措施与大田生产一致。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 叶片叶绿素相对含量测定

分别在春玉米的苗期 (5 叶期)、拔节期、抽雄期和成熟期 4 个时期, 各处理每次随机取 10 株测量叶片叶绿素相对含量 (苗期和拔节期测定倒 3 叶, 抽雄期和成熟期测定穗位叶), 每次测定时用 SPAD-502 叶绿素仪分别测定叶片的基部、中部和顶部, 取平均值。

1.3.2 叶面积、叶面积指数和干物质的测定

分别在春玉米的苗期、拔节期、抽雄期和成熟期 4 个时期, 各处理每次取 3 株测量单株叶面积, 单株叶面积 = 长 × 宽 × 0.75; LAI = 单株叶面积 × 单位土地面积内株数 / 单位土地面积。在测定单株叶面积后, 将样品植株分为根系、叶片、茎鞘, 于 105 °C 杀青 30 min, 经 80 °C 烘干至恒重, 测定干物质积累量。

表 1 不同施肥模式具体实施方案
Table 1 The implementation plan of different fertilization mode

处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer type	养分含量 Nutrient content	施肥量/(kg/hm ²) Fertilizer amount	日期 Date	施肥方式 Application methods
T1	复合肥	N(20%)、P ₂ O ₅ (10%)、K ₂ O(10%)	750.0	03-19	撒施
	猪粪	有机质 6.89 g/kg, 全 N 0.24 g/kg, P ₂ O ₅ 0.58 g/kg, K ₂ O 0.16 g/kg	11 250.0	03-19	撒施
	尿素	N(46%)	150.0	05-13	撒施
T2	复合肥	N(20%)、P ₂ O ₅ (10%)、K ₂ O(10%)	750.0	03-19	撒施
	猪粪	有机质 6.89 g/kg, 全 N 0.24 g/kg, P ₂ O ₅ 0.58 g/kg, K ₂ O 0.16 g/kg	11 250.0	03-20	穴施
	尿素	N(46%)	150.0	05-13	撒施
T3	复合肥	N(20%)、P ₂ O ₅ (10%)、K ₂ O(10%)	750.0	03-19	撒施
	氯化钾	P ₂ O ₅ (60%)	180.0	03-19	撒施
	尿素	N(46%)	150.0	05-13	撒施
CK	复合肥	N(20%)、P ₂ O ₅ (10%)、K ₂ O(10%)	750.0	03-19	撒施
	尿素	N(46%)	150.0	05-13	撒施

注：T1, 常规施肥+有机肥全层施用；T2, 常规施肥+有机肥穴施；T3, 常规施肥+钾肥；CK, 常规施肥。下同。

Note: T1, Conventional fertilization+organic fertilizer used to the whole plough layer; T2, Conventional fertilization+organic fertilizer with hole application; T3, Conventional fertilization + potassium; CK, conventional fertilization. The same below.

1.3.3 土壤水分含量

分别在春玉米的苗期、拔节期、抽雄期和成熟期 4 个时期，每小区采用 5 点用土钻取 0~20 cm 土，用 105 °C 烘干法求土壤含水量，计算平均值。

1.3.4 籽粒产量及产量构成因素

在春玉米籽粒成熟期，统计各处理小区全部株数，测定玉米的穗位高；从中随机取 15 穗进行室内考种，测定单穗的穗长、穗粗、秃顶长、穗行数、行粒数、穗粒数和籽粒干重等指标，取平均值；同时，测定各小区的实际产量。

1.3.5 水分利用效率

根据耗水量(耗水量 = 玉米播前土壤贮水量 - 玉米收获后土壤贮水量 + 降雨量)和春玉米产量，进行水分利用效率(WUE = 产量/耗水量)的计算。

1.4 数据处理

用 Excel 进行试验数据处理，用 DPS 统计软件进行试验数据的方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对春玉米叶绿素相对含量的影响

不同施肥模式条件下春玉米叶片叶绿素相对含

量变化如图 1 所示。春玉米各个主要生育时期，叶片叶绿素相对含量呈抛物线变化趋势，于抽雄期限达到最大值；各处理春玉米叶绿素相对含量大小顺序为 T2>T1>T3>CK。苗期和拔节期，各处理春玉米叶绿素相对含量均无明显差异；抽雄期和成熟期，T2 和 T1 处理均显著高于 T3 和对照(P<0.05)。

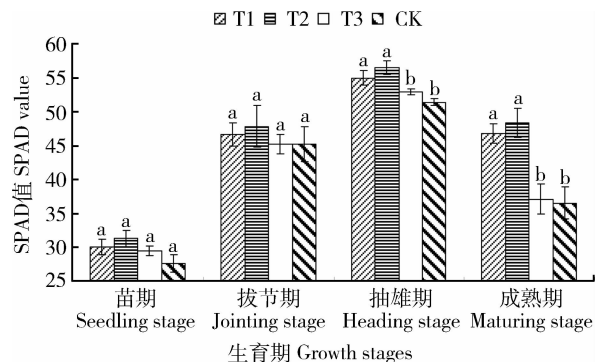


图 1 不同施肥模式对春玉米叶片叶绿素相对含量的影响
Fig. 1 Effects of different fertilization methods on the SPAD of leaves of spring maize

表2 不同施肥模式对春玉米叶面积和叶面积指数的影响

Table 1 Effects of different fertilization mode on the leaf area and leaf area index of spring maize

项目 Item	处理 Treatment	生育期 Growth stage			
		苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Heading stage	成熟期 Maturing stage
叶面积/ (cm ² /株) Leaf area	T1	516.87±44.84 ab	6 586.67±1 211.74 ab	43 905.62±1 258.41 ab	23 445.53±901.96 b
	T2	652.44±36.93 a	7 973.34±1 156.58 a	44 967.5±2 006.21 a	31 286.75±542.91 a
	T3	508.39±8.47 ab	6 188.00±298.89 ab	43 547.94±1 239.05 ab	20 014.63±888.08 c
	CK	474.50±30.55 b	5 396.45±318.09 b	42 821.4±1639.16 b	18 808.90±773.60 c
叶面积指数 Leaf area index	T1	0.052±0.005 ab	0.659±0.121 ab	4.391±0.126 ab	2.345±0.090 b
	T2	0.065±0.004 a	0.797±0.116 a	4.497±0.201 a	3.073±0.058 a
	T3	0.051±0.001 ab	0.619±0.03 ab	4.355±0.124 ab	2.001±0.089 c
	CK	0.047±0.003 b	0.540±0.032 b	4.282±0.164 b	1.881±0.077 c

注:同列不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$),下同。Note: Different lowercase letters within same column mean significant difference at $P<0.05$. The same below.

表3 不同施肥模式对春玉米干物质积累的影响

Table 3 Effects of different fertilization mode on the dry matter accumulation of spring maize

干重 Dry weight	处理 Treatment	生育期 Growth stage			
		苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Heading stage	成熟期 Maturing stage
根系 Root	T1	0.47±0.09 a	2.04±0.36 a	22.34±1.35 b	19.25±0.70 b
	T2	0.51±0.09 a	2.12±0.11 a	26.31±0.64 a	25.93±0.75 a
	T3	0.32±0.09 ab	1.67±0.31 ab	19.62±0.57 c	16.43±0.42 c
	CK	0.26±0.047 b	1.38±0.03 b	14.50±1.14 d	12.67±0.37 d
茎 Stem	T1	0.14±0.03 a	3.11±0.25 ab	81.07±3.23 b	57.98±1.91 b
	T2	0.17±0.02 a	3.20±0.53 a	112.01±2.27 a	71.34±1.63 a
	T3	0.11±0.02 a	2.41±0.03 ab	78.76±2.34 b	56.40±1.12 b
	CK	0.10±0.01 a	2.23±0.05 b	76.77±2.22 b	38.96±2.14 c
叶 leaf	T1	0.20±0.02 a	3.81±0.70 ab	39.24±1.12 b	30.82±1.50 b
	T2	0.26±0.01 a	4.60±0.67 a	41.30±1.19 a	35.94±0.96 a
	T3	0.20±0.01 a	3.57±0.17 b	38.96±1.11 b	28.11±1.48 c
	CK	0.19±0.01 a	3.11±0.10 b	38.31±1.46 b	26.10±1.29 c

2.2 不同施肥模式对春玉米叶面积和叶面积指数的影响

表2显示,各处理春玉米的单株叶面积呈抛物线变化趋势,于抽雄期达到最高值。苗期、拔节期和抽雄期,T2处理单株叶面积均显著高于对照($P < 0.05$);T1和T3处理均高于对照,但均无显著性差异;成熟期,T2和T1处理均显著高于其他处理($P < 0.05$)。

春玉米各个主要生育时期,叶面积指数大小顺序为 $T2 > T1 > T3 > CK$ 。苗期、拔节期和抽雄期,T2处理叶面积指数均显著高于对照($P < 0.05$),分别比对照增加0.018、0.257和0.215;成熟期,T2和T1处理叶面积指数均显著高于T3和对照($P < 0.05$)(表2)。

2.3 不同施肥模式对春玉米干物质积累的影响

苗期和拔节期,T1和T2处理植株根系干重与对照的差异均达显著水平($P < 0.05$);抽雄期和成熟期,T1、T2和T3处理均显著高于对照($P < 0.05$)。

各处理春玉米植株茎干重于抽雄期达到最大值。苗期,各处理间无显著性差异;拔节期,T2处理

显著高于对照($P < 0.05$),比对照增加0.97 g/株;抽雄期和成熟期,T2处理均显著高于其他处理($P < 0.05$),分别比对照增加35.24和32.38 g/株。

春玉米各主要生育期,各处理植株叶干重大小顺序为 $T2 > T1 > T3 > CK$ 。苗期,各处理间单株叶干重无显著性差异;拔节期、抽雄期和成熟期,T2处理叶干重与对照的差异均达显著水平($P < 0.05$),分别比对照增加1.49、2.99和9.84 g/株(表3)。

2.4 不同施肥模式对春玉米产量及构成因素的影响

由表4可见:各处理穗位高、行数与对照均无显著性差异;各处理秃顶长均显著低于对照($P < 0.05$);T2处理穗长、行粒数、每穗粒数、百粒重与对照的差异均达显著水平($P < 0.05$)。T1和T3处理穗长、行粒数、每穗粒数和百粒重均高于对照,但均无显著性差异。

不同处理春玉米产量大小顺序为 $T2 > T1 > T3 > CK$ 。其中:以T2处理为最高,达9 327.75 kg/hm²,比对照增加25.40%,差异显著($P < 0.05$);其次是T1和T3处理,产量分别为7 928.40 kg/hm²和7 685.40 kg/hm²,分别比对照增加6.59%和3.32%,差异不显著(表4)。

表4 不同施肥模式对春玉米产量及构成因素的影响

Table 4 Effects of different fertilization mode on yield and yield components of spring maize

处理 Treatment	穗位高/cm Ear-site height	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear diameter	秃顶长/cm Bare top of corn ear	行数 Row number
T1	80.07±2.47 a	19.83±0.35 ab	4.63±0.15 a	1.53±0.22 b	16.80±0.62 a
T2	80.33±2.78 a	21.27±0.42 a	4.63±0.15 a	1.50±0.23 b	15.87±0.52 a
T3	82.33±3.25 a	19.73±0.31 ab	4.61±0.12 a	1.60±0.25 b	16.97±0.65 a
CK	76.47±1.75 a	18.40±0.24 b	4.53±0.11 b	2.17±0.28 a	15.33±0.43 a

处理 Treatment	行粒数 Kernel number	每穗粒数 Number of grains per ear	百粒重/g 100-grain weight	实际产量/ (kg/hm ²) Yield
T1	33.47±1.86 b	562.29±30.72 ab	26.53±1.85 ab	7 928.40±552.48 b
T2	38.07±2.14 a	602.80±31.56 a	28.10±2.18 a	9 327.75±576.85 a
T3	32.17±1.75 b	541.85±25.48 ab	26.00±1.81 ab	7 685.40±530.28 b
CK	32.00±1.46 b	491.20±15.42 b	24.87±1.27 b	7 438.20±504.29 b

2.5 不同施肥模式土壤水分动态变化

春玉米各个主要生育期,不同处理0~20 cm的

土壤含水量均高于对照,其大小顺序为 $T2 > T1 > T3 > CK$ (图2)。抽雄期和成熟期,T2处理土壤含

水量分别比对照增加 19.70% 和 19.39% (图 2)。

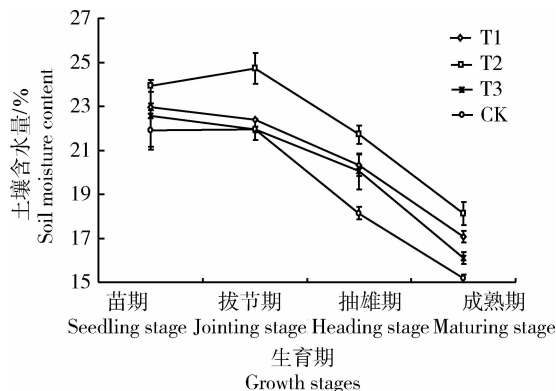


图 2 不同施肥模式对春玉米各生育时期土壤含水量的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization mode on the soil content during main growth stages of spring maize

2.6 不同施肥模式对春玉米水分利用效率的影响

各处理春玉米水分利用效率 (WUE) 存在显著差异。不同处理水分利用效率大小顺序表现为 $T2 > T3 > T1 > CK$ 。其中, 以 T2 处理的 WUE 为最高, 达 $0.67 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, 比对照提高 100.88%; 其次是 T3 处理, WUE 为 $0.60 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, 比对照提高 82.62% (图 3)。

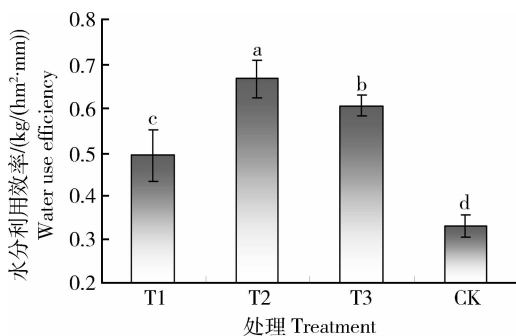


图 3 不同施肥模式对春玉米水分利用效率的影响

Fig. 3 Effects of different fertilization mode on water use efficiency (WUE) of spring maize

3 讨论

玉米植株干物质大部分均来源于叶片光合作用, 叶片光合特性、叶面积和叶面积指数等均是影响植株光合作用等叶源特性的关键因素。王存连等^[14]研究表明, 在一定范围内, 玉米群体叶面积指数与群体光合速率、籽粒产量呈正相关^[14]。影响玉

米植株光合特性、叶面积和叶面积指数变化的因素较多, 水肥条件是其中最重要的因素, 本研究中常规施肥加有机肥和常规施肥加钾肥的施肥模式有利于提高玉米植株叶面积和叶面积指数、叶绿素相对含量, 增加了单位面积上进行光合作用的面积, 增强了光能利用率, 延长了叶片功能期, 从而有利于增加干物质的积累, 扩大了植株“源”的生产和供应能力; 增施有机肥能改善土壤含水量, 为玉米植株生长发育提供较好的土壤生长环境, 促进了植株的生长发育, 提高了土壤的水分利用效率, 改善部分理化性状, 从而增加了干物质积累, 为获得高产奠定了物质基础, 这与唐海明等^[1]、王存连等^[14]的研究一致。其中, 以有机肥穴施处理保水效果最佳、植株叶面积和叶面积指数最大等叶源特性, 这可能是有机肥采用穴施的方式, 有利于积蓄玉米生长前期的降雨, 增加了植株根部土壤含水量 (图 2), 从而促进了植株生长发育和增加了干物质积累。

施肥是改善作物干物质积累等“源”和提高作物产量“库”特性的重要农艺措施, 有研究表明, 有机和无机肥配合施用, 有利于提高玉米产量^[15-16]。在本研究中, 抽雄期和成熟期, 常规施肥+钾肥、常规施肥+有机肥全层施用和常规施肥+有机肥穴施处理植株根系干重均显著高于对照 ($P < 0.05$); 拔节期、抽雄期和成熟期, 常规施肥+有机肥穴施处理植株茎和叶干重均明显高于对照。因此, 施用有机肥和钾肥均能促进玉米植株生长发育和干物质积累, 从而为玉米获得高产打下了生物学基础。玉米是需肥较多的作物, 玉米获得高产不仅需要氮、磷、钾配合施用, 还需有机肥与无机肥合理配合施用^[4]。韩立军^[17]研究认为, 在一定钾肥施用范围内, 玉米产量随钾肥用量增加而提高。吴巍等^[18]研究表明, 猪粪型有机肥配施无机肥有利于提高春玉米百粒重和植株地上部干物质质量, 其增产效果明显。作物的源与库关系密切, 库的容量和强度不仅受自身的影响, 还受源的控调, 籽粒则是玉米产量的库。唐海明等^[1]认为, 配施有机肥有利于增加玉米行粒数、穗粒数和百粒重等“库”的特性, 从而获得高产。本研究中, 在常规施肥基础上增施钾肥和有机肥, 可促进植株生长发育, 增加植株的干物质积累, 进而改善玉米的行粒数、每穗粒数和百粒重等穗部经济性性状, 增加了籽粒库容量的作用, 从而有利于获得较高的产量, 常规施肥加有机肥全层施用、常规施肥加有机肥穴施和常规施肥加钾肥处理产量分别比对照增加 6.59%、

25.40%和3.32%,其增产原因主要是行粒数、每穗粒数和百粒重的增加所致。

本研究仅对南方红壤旱地不同施肥模式和方式对春玉米干物质积累及产量影响开展了初步研究,不同施肥模式和方式对植株生理生化特性的影响及肥料利用率差异尚需进一步探索。

4 结 论

春玉米各个主要生育时期,在传统施肥的基础上,增施有机肥有利于增加植株地下和地上部干物质积累量。其中:有机肥全层施用和穴施处理植株的根系干重均显著高于其他处理($P < 0.05$);拔节期、抽雄期和成熟期,有机肥穴施处理植株的茎和叶干重均为最高,茎干重分别比对照增加0.97、35.24、32.38 g/株,叶干重分别比对照增加1.49、2.99、9.84 g/株;春玉米各个主要生育期,各处理植株的根、茎、叶干重大小顺序均表现为有机肥穴施>有机肥全施用>增施钾肥>对照。施用有机肥在一定程度上提高了土壤水分含量和水分利用效率;同时,能有效地促进玉米穗部发育,改善玉米穗部经济性状,不同程度的增加春玉米产量,分别比对照增产6.59%和25.40%。在不同有机肥施用方式中,有机肥穴施的效果明显优于有机肥全层施用。

参 考 文 献

[1] 唐海明,汤文光,殷玉梁,刘国栋,杨光立,郭立君,汤海涛,张帆,刘杰,肖小平.南方丘陵红壤旱地不同施肥模式对春玉米生物学特性及产量的影响[J].玉米科学,2013,21(4):107-111
Tang H M, Tang W G, Yin Y L, Liu G D, Yang G L, Guo L J, Tang H T, Zhang F, Liu J, Xiao X P. Effects of different fertilization modes on biological characteristics and yield of spring maize in hilly red soil upland in southern China[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(4):107-111 (in Chinese)

[2] 郑若良,宋志荣.施肥对玉米产量及品质的影响研究[J].杂粮作物,2003,23(4):239-241
Zheng R L, Song Z R. Effects of different fertilizer on output and quality of maize[J]. *Rain Fed Crops*, 2003, 23(4):239-241 (in Chinese)

[3] 王立春,赵兰坡,朱平,高洪军,彭畅.不同施肥方式对黑土春玉米田硝态氮和铵态氮的影响[J].东北林业大学学报,2009,37(12):85-87
Wang L C, Zhao L P, Zhu P, Gao H J, Peng C. Effects of different fertilizer application regimes on NO_3^- -N and NH_4^+ -N in black soil during spring maize growing season[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(12):85-87 (in

Chinese)

[4] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,李秀英,李燕婷.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
Liu E K, Zhao B Q, Hu C H, Li X Y, Li Y T. Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer applications on maize yield and soil fertility [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(5):789-794 (in Chinese)

[5] 夏来坤,刘京宝,黄璐,乔江方,朱卫红,李川.不同施肥模式对夏玉米产量及生长发育的影响[J].中国农学通报,2014,30(33):16-19
Xia L K, Liu J B, Huang L, Qiao J F, Zhu W H, Li C. Effects of different fertilization mode on yield and growth and development of summer maize [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(33):16-19 (in Chinese)

[6] 龚浩,董远梅,艾训儒.三峡地区平地不同施肥模式对玉米生长和产量的影响[J].湖北民族学院学报:自然科学版,2010,28(1):33-36
Gong H, Dong Y M, Ai X R. Effects of different fertilization modes on the growth and grain yield of maize in three gorges region [J]. *Journal of Hubei University for Nationalities: Natural Science Edition*, 2010, 28(1):33-36 (in Chinese)

[7] 王培顺,王兴远,张显东,曲晓晶,张伟.不同施肥模式对春玉米生长发育和产量的影响[J].现代农业科技,2011,(13):59-60
Wang P S, Wang X Y, Zhang X D, Qu X J, Zhang W. Effects of different fertilizer modes on the growth and yield of spring maize [J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2011, (13):59-60 (in Chinese)

[8] 夏连胜,刘树堂,王艳华,王万志.长期定位施肥对夏玉米生理特性及产品品质的影响[J].玉米科学,2006,14(3):154-156
Xia L S, Liu S T, Wang Y H, Wang W Z. Effects of long-term fixed position fertilization on physiologic characteristics and production of summer corn [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(3):154-156 (in Chinese)

[9] 于天一,逢焕成,李玉义,王伯仁.红壤旱地长期施肥对春玉米光合特性和产量的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(2):17-21.
Yu T Y, Pang H C, Li Y Y, Wang B R. Effects of long-term fertilization on photosynthetic characteristics and yield of spring maize in upland red soil [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(2):17-21 (in Chinese)

[10] 毛政国,翟玉光,欧阳善平,乔晔,李迪秦,夏武平.不同施肥模式对玉米产量和产值影响研究[J].湖南农业科学,2010(10):61-63,73
Mao Z G, Zhai Y G, Ouyang S P, Qiao Y, Li D Q, Xia W P. Impacts of different fertilizer application models on yield and output value of maize [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010(10):61-63,73 (in Chinese)

[11] 杨海涛,赵久然,李瑞媛,陈国平,张海林.不同施肥模式下保护性耕作春玉米产量及经济效益[J].中国农学通报,2007,23(8):176-180.

- Yang H T, Zhao J R, Li R Y, Chen G P, Zhang H L. Researches on yields and economic benefit of spring maize under different fertilization mode of conservation tillage[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(8): 176-180 (in Chinese)
- [12] 黄涛, 荣湘民, 刘强, 张玉平, 谢桂先, 彭建伟. 施肥模式对春玉米和小白菜的产量和品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2010, (3): 46-49
- Huang T, Rong X M, Liu Q, Zhang Y P, Xie G X, Peng J W. Effects of different fertilizing modes on yield and quality of spring maize and *B chinensis* L [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010, (3): 46-49 (in Chinese)
- [13] 徐一兰, 刘唐兴, 蒋志鹏. 红壤旱地有机肥不同施用量对春玉米生物学特性及产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2014, (6): 31-34, 37
- Xu Y L, Liu T X, Jiang Z P. Effects of different organic fertilizer treatments on biological characteristics and yield of spring maize in red soil upland [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2014, (6): 31-34, 37 (in Chinese)
- [14] 王存连, 黄智鸿, 张晓霞. 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
- Wang C L, Huang Z H, Zhang X X. Effect of application of mixed organic and inorganic fertilizers on quality and yield of maize Tongyou1 [J]. *Journal of Hebei North University: Natural Science Edition*, 2008, 24(1): 46-50 (in Chinese)
- [15] 沙晓晴, 彭正萍, 孙志梅, 靳小利, 许靖, 王西志. 不同施肥模式下玉米—土壤系统磷锌的动态变化[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 2152-2154
- Sha X Q, Peng Z P, Sun Z M, Le X L, Xu J, Wang X Z. dynamic variation of P and Zn in soil and maize system under different fertilization patterns [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(4): 2152-2154 (in Chinese)
- [16] 李万星, 刘永忠, 曹晋军, 靳鲲鹏, 赵文媛, 王红兰. 肥料与密度对玉米农艺性状和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 194-198
- Li W X, Liu Y Z, Cao J J, Jin K P, Zhao W Y, Wang H L. Effect of fertilizer and density on maize [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(15): 194-198 (in Chinese)
- [17] 韩立军. 不同施钾水平对玉米干物质及产量的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(5): 127-129
- Han L J. Effect on dry substantial accumulations and yield of maize in different K fertilizer levels [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(5): 127-129 (in Chinese)
- [18] 吴巍, 荣湘民, 张玉平, 郭春铭, 向秀媛, 韩永亮, 司婷, 杨兰. 猪粪型有机肥对春玉米地土壤养分含量及产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2011, (9): 45-47, 48
- Wu W, Rong X M, Zhang Y P, Guo C M, Xiang X Y, Han Y L, Si T, Yang L. Effects of pig manure type of organic fertilizer on soil fertility of spring maize planting land and yield of spring maize [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2011(9): 45-47, 48 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东