

彭辉辉,刘 强,荣湘民,等. 生物炭、有机肥与化肥配施对春玉米光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):132-135.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.036

# 生物炭、有机肥与化肥配施对春玉米光合特性的影响

彭辉辉<sup>1,2,3</sup>, 刘 强<sup>1,2,4,5</sup>, 荣湘民<sup>1,2,4,5</sup>, 张玉平<sup>1,2,4,5</sup>, 田 昌<sup>1,2,4,5</sup>, 谢 勇<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学资源环境学院,湖南长沙 410128; 2. 农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室,湖南长沙 410128;  
3. 长沙环境保护职业技术学院,湖南长沙 410004; 4. 土壤肥料资源高效利用国家工程实验室,湖南长沙 410128;  
5. 植物营养湖南省普通高等学校重点实验室,湖南长沙 410128)

**摘要:**采用田间小区定位试验,设置不施肥( $T_1$ 、 $CK_1$ )、单施化肥( $T_2$ 、 $CK_2$ )、生物炭与化肥配施( $T_3$ )、有机肥与化肥配施( $T_4$ )、生物炭及有机肥与化肥配施( $T_5$ )5个试验处理,研究南方丘陵山地农区生物炭、有机肥与化肥之间配施对旱地春玉米叶绿素含量、叶片光合参数、叶片水分利用效率的影响。结果表明,与不施肥相比,单施化肥极显著改善了春玉米的光合特性,而生物炭、有机肥与化肥配施的效果比单施化肥更明显;在配施处理中,以生物炭、有机肥、化肥三者配施的影响最大,具有明显的互作效应,其次是生物炭与化肥配施,最后是有机肥与化肥配施,除叶片的胞间  $CO_2$  浓度以外,前者的所有指标与后两者之间的差异均达到显著或极显著水平,但后两者之间差异不显著;与单施化肥处理相比,三者配施的叶绿素含量和叶片的净光合速率、气孔导度、水分利用效率分别提高了 12.23%、32.41%、45.83%、69.85%,叶片的胞间  $CO_2$  浓度、蒸腾速率则分别降低了 20.77%、22.35%。总之,生物炭、有机肥与化肥配施,特别是三者复配施用值得推广。

**关键词:**生物炭;有机肥;化肥;配施;春玉米;光合特性;互作效应;南方丘陵山地农区

**中图分类号:** S513.06;S147.34

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2016)07-0132-03

光合作用是作物正常生长发育和产量形成的基础。施肥,特别是氮肥调控,在改善旱地土壤理化性状、根际微生态环境<sup>[1-6]</sup>的基础上,可改变作物生长发育状况,有助于增强作物光合能力<sup>[7-8]</sup>,提高水分利用效率<sup>[9]</sup>,从而形成高产。但是,化肥增产效果是有限的<sup>[10]</sup>,过量施用化肥不仅对作物无益,还会直接导致产投比下降、土壤退化、肥料大量流失而污染水体等其他负面影响。因此,探索合理、高效的施肥方法,以提高肥料利用率、增强施肥对作物生产的贡献,进而减少养分损失,是一个值得重点关注的课题。有研究表明,含氮磷钾养分的化肥与猪粪有机堆肥合理配施,可降低旱地氮磷养分流失,提高肥料利用率<sup>[11]</sup>。还有研究认为,在施肥的基础上,添施适量的谷壳生物炭也可以有效减少旱地土壤氮磷钾素的径流损失<sup>[12]</sup>。而我国每年有大量秸秆、谷壳、畜禽粪便等农业固体废物未得到有效处理或利用,既浪费了资源,也带来了面源污染<sup>[13]</sup>。因此,将秸秆、畜禽粪便等作为资源进行加工,并有效应用于农业生产,其发展前景广阔,一方面可以节约利用资源、提高农业生产效益,另一方面,可以改善土壤生产力,减少农业污染。目前关于化肥配施有机肥、化肥配施生物炭对旱地土壤理化性状、作物生长发育及产量影响方面的研究较多<sup>[14-17]</sup>,但鲜有生物炭、有机肥与化肥之间配施对旱地作物

光合特性影响方面的研究报道。本试验采用田间小区长期定位试验,研究生物炭、有机肥与化肥之间配施对春玉米光合特性的影响,旨在探明生物炭、有机肥与化肥之间的配施效应,以期得出合理的配施方法,为丰富生物炭农用理论以及玉米高产潜力研究提供技术参考,也为我国南方丘陵山地农区提高农业资源利用效率、减少农业面源污染提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于湖南省浏阳市湖南农业大学长期定位试验基地内(113°49'E,28°19'N)。该地区属于丘陵山地、亚热带季风湿润气候区,年均气温在 16~18℃,年均降水量为 1400~2300 mm,降水主要集中在 4—8 月,年日照时间约为 1600 h,全年无霜期可达 260 d 左右。供试土壤为河流冲积物发育的潮土,耕层(0~20 cm)土壤基本理化性状为:pH 值 5.88,有机质含量 15.76 g/kg,全氮含量 3.75 g/kg,全磷含量 0.96 g/kg,全钾含量 13.48 g/kg,碱解氮含量 80.82 mg/kg,速效磷含量 21.64 mg/kg,速效钾含量 142.78 mg/kg。

### 1.2 试验方法

供试玉米品种为掖单 13 号,密度为 5.6 万株/hm<sup>2</sup>。供试肥料为尿素(含 N 46%)、钙镁磷肥(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)。供试有机肥为猪粪有机堆肥,养分含量为: N 31.08 g/kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.824 g/kg、K<sub>2</sub>O 16.97 g/kg。试验所用生物炭是以稻壳为原料,采用高温(<700℃)缺氧条件下的热解炭化工艺制作而成。

试验设 5 个处理:不施肥( $T_1$ 、 $CK_1$ )、单施化肥( $T_2$ 、 $CK_2$ )、生物炭与化肥配施( $T_3$ )、有机肥与化肥配施( $T_4$ )、生物炭及有机肥与化肥配施( $T_5$ )。随机区组设计,每个处理重

收稿日期:2015-05-21

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD15B04);湖南省科技厅重点项目(编号:2013NK2002);湖南省科技计划(编号:2013NK3046)。

作者简介:彭辉辉(1978—),男,湖南绥宁人,硕士,讲师,主要从事环境生态研究。E-mail:281751052@qq.com。

通信作者:刘 强,博士,教授,主要从事植物营养生理生态研究。

E-mail:lq8053@hunau.net。

复 3 次,小区面积 20 m<sup>2</sup> (5 m×4 m)。全生育期氮、磷、钾总养分施用量分别为 240、120、150 kg/hm<sup>2</sup>,其中氮按 4:3:3 比例分为基肥、苗肥、穗肥施用;磷肥全作基肥施用;钾肥按 1:1 的比例分为基肥、穗肥施用。T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 以等氮量为基础,用有机肥代替 20% 的化肥氮,作基肥。忽略生物炭的直接供养,其施用量为 13 500 kg/hm<sup>2</sup>,与基肥同时施用。玉米于 2014 年 3 月 26 日播种,依照当地常规管理,处理间保持一致。

1.3 测定方法

在玉米生长的大喇叭口期(播种后约 80 d)至抽穗初期,于晴朗天气的 09:00—11:00,每小区选取 3 株生长均匀一致的玉米植株,用 LI-6400 型便携式光合仪测定其棒三叶的净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率。同期每小区选取 5 株生长均匀一致的玉米植株,用 SPAD-502 叶绿素仪测定其棒三叶的叶绿素含量(以 SPAD 值表示)。相关公式:

叶片的水分利用效率(WUE)=净光合速率/蒸腾速率。

1.4 数据处理与统计分析

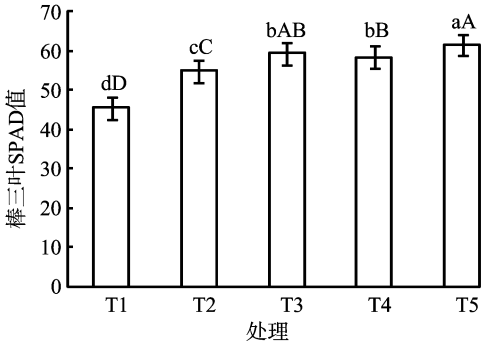
用 Excel 2007 处理试验数据,单因素方差分析和 LSD 法显著性检验通过 DPS v14.10 数据处理软件完成。

2 结果与分析

2.1 生物炭、有机肥与化肥配施对春玉米叶绿素含量的影响

叶绿素是重要的光合色素分子,是反映叶片生理活性、光合机能的重要指标之一。图 1 结果表明,与不施肥处理(T<sub>1</sub>、CK<sub>1</sub>)相比,施肥可极显著提高春玉米棒三叶的叶绿素含量,增幅达 20.57%~35.31%;4 个施肥处理的叶绿素含量(以 SPAD 值表示)由大到小为:T<sub>5</sub> 处理>T<sub>3</sub> 处理>T<sub>4</sub> 处理>T<sub>2</sub> 处理。由图 1 还可见,与单施化肥处理(T<sub>2</sub>、CK<sub>2</sub>)相比,生物炭、有机肥与化肥之间配施也同样明显提高了春玉米棒三叶的叶绿素含量,差异均达到极显著水平,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 处理的 SPAD 值分别比 T<sub>2</sub> 处理提高了 8.37%、6.40%、12.23%;而在肥料配施的 3 个处理中,T<sub>5</sub> 处理的 SPAD 值比 T<sub>3</sub> 处理提高了 3.57%,差异显著,比 T<sub>4</sub> 处理提高了 5.48%,差异极显著;T<sub>3</sub> 处理与 T<sub>4</sub> 处理相比,棒三叶的 SPAD 值仅增加 1.85%,二

者之间差异不显著,说明对春玉米棒三叶的叶绿素含量来说,生物炭、有机肥、化肥三者配施的效果明显大于生物炭与化肥配施、有机肥与化肥配施。



不同小写、大写字母分别表示处理间差异显著(P<0.05)、极显著(P<0.01)。下图同。

图1 生物炭、有机肥与化肥之间配施对春玉米叶绿素含量的影响

2.2 生物炭、有机肥与化肥配施对春玉米叶片光合参数的影响

光合特性是叶片光合能力的有效表征,对作物产量的形成至关重要。表 1 结果显示,与不施肥处理(T<sub>1</sub>、CK<sub>1</sub>)相比,4 个施肥处理均极显著提高了春玉米棒三叶的净光合速率和气孔导度,增幅分别达 42.38%~88.53%、50.00%~118.75%;而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率则随肥料的施用呈现不减反降的趋势,施肥带来的降低效果均达到极显著水平,降幅分别为 19.81%~36.47%、11.63%~31.38%。

由表 1 还可看出,与单施化肥处理(T<sub>2</sub>、CK<sub>2</sub>)相比,添加生物炭或有机肥配施的 T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 处理的净光合速率、气孔导度均极显著提高,其幅度分别为 21.12%、15.44%、32.41%、29.17%、25.00%、45.83%。其中以生物炭、有机肥、化肥三者配施处理(T<sub>5</sub>)对春玉米棒三叶的净光合速率、气孔导度的影响效果最好,分别比生物炭与化肥配施处理(T<sub>3</sub>)提高了 9.32%、12.90%,分别比有机肥与化肥配施处理(T<sub>4</sub>)提高了 14.71%、16.67%;而 T<sub>3</sub> 处理略高于 T<sub>4</sub> 处理,但二者之间的差异极小,且不显著。

表 1 生物炭、有机肥与化肥之间配施对春玉米棒三叶叶片光合参数的影响

处理	净光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	气孔导度 [mol/(m <sup>2</sup> ·s)]	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 (μmol/mol)	蒸腾速率 [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]
T <sub>1</sub>	17.79±1.08dD	0.16±0.01dD	111.96±3.82aA	10.58±0.40aA
T <sub>2</sub>	25.33±1.34cC	0.24±0.02cC	89.78±6.09bB	9.35±0.60bB
T <sub>3</sub>	30.68±1.13bAB	0.31±0.01bB	75.34±1.24cdC	8.45±0.20cBC
T <sub>4</sub>	29.24±1.46bB	0.30±0.01bB	79.74±0.60cC	8.23±0.05cCD
T <sub>5</sub>	33.54±0.34aA	0.35±0.02aA	71.13±1.30dC	7.26±0.20dD

注:同列数据后不同小写、大写字母分别表示差异显著(P<0.05)、极显著(P<0.01)。

就春玉米棒三叶的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度而言,与单施化肥处理(T<sub>2</sub>、CK<sub>2</sub>)相比,生物炭、有机肥与化肥的配施引起其极显著下降(表 1)。其中以生物炭、有机肥、化肥三者配施处理(T<sub>5</sub>)的影响最显著,降幅达到 20.77%;生物炭与化肥配施处理(T<sub>3</sub>)次之,有机肥与化肥配施处理(T<sub>4</sub>)降幅最小,二者降幅分别为 16.08%、11.18%。但 T<sub>3</sub> 处理与 T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 处理之间的差异均不显著,T<sub>5</sub> 处理则分别比 T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理降低 5.59%、10.80%,T<sub>5</sub> 处理与 T<sub>4</sub> 处理之间差异显著。

蒸腾作用是作物维持物质代谢、吸收利用养分的重要途

径,受土壤水分供应及环境因子等多种因素影响。与单施化肥处理(T<sub>2</sub>、CK<sub>2</sub>)相比,生物炭、有机肥、无机肥的配施明显降低了春玉米棒三叶的蒸腾速率(表 1),T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 处理的降幅分别为 9.63%、11.98%、22.35%,差异达到显著或极显著水平。T<sub>5</sub> 处理则比 T<sub>3</sub> 处理极显著降低了 14.08%,比 T<sub>4</sub> 处理显著降低了 11.79%;T<sub>4</sub> 处理比 T<sub>3</sub> 处理降低了 2.60%,但二者差异却不显著。这说明生物炭、有机肥、化肥三者配施处理(T<sub>5</sub>)的蒸腾速率降幅最大,影响最突出,其次是有机肥与化肥配施处理(T<sub>4</sub>)。

### 2.3 生物炭、有机肥与化肥配施对春玉米叶片水分利用效率的影响

水分利用效率既是反映作物抗旱性的重要指标,也是体现其光合作用强弱的关键因素。图2表明,与不施肥处理( $T_1$ 、 $CK_1$ )相比,施肥特别是肥料配施能极显著地提高春玉米叶片的水分利用效率(WUE),其增幅在60.95%~173.37%之间;各施肥处理的水分利用效率为2.72~4.62  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,以生物炭、有机肥、化肥三者配施处理( $T_5$ )最大,生物炭与化肥配施处理( $T_3$ )次之,然后是有机肥与化肥处理( $T_4$ ),单施化肥处理最低( $T_2$ )。

与单施化肥处理( $T_2$ 、 $CK_2$ )的水分利用效率相比,肥料配施的 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 处理分别提高了33.46%、30.88%、69.85%。三者配施处理( $T_5$ 处理)分别比生物炭、有机肥各自与化肥配施处理( $T_3$ 、 $T_4$ )提高了27.27%、29.78%; $T_3$ 处理比 $T_4$ 处理高1.97%,但差异不显著(图2)。

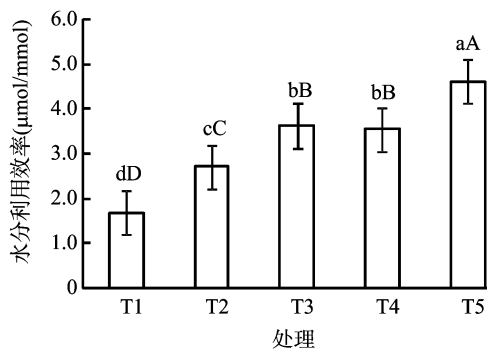


图2 生物炭、有机肥与化肥之间配施对春玉米叶片水分利用效率的影响

### 3 讨论与结论

光合作用是影响产量形成的主要机制,增强光合作用对作物的生长发育和水分利用有直接的重要意义。影响玉米叶片光合特性的因素有很多,比如 $\text{CO}_2$ 浓度的升高,就可增大玉米的光合速率,降低气孔导度、蒸腾速率,提高水分利用效率<sup>[18]</sup>。大气氮浓度可影响植物的净光合速率、气孔导度,大气中的氮可以作为作物的速效肥料,是土壤减氮的重要参考<sup>[19]</sup>。

施肥则是一种更重要且实用的调控作物光合性能的方法,无论是氮素水平调控<sup>[20]</sup>、氮磷钾肥配比<sup>[21]</sup>,还是不同肥料之间的配施<sup>[22]</sup>,都能不同程度地影响作物的光合特性。Liu等对甜叶菊施肥试验的研究结果表明,与不施肥处理相比,施化肥处理的叶绿素含量、净光合速率更高,胞间 $\text{CO}_2$ 浓度更低;移栽后60 d,有机肥处理的叶绿素含量、净光合速率、气孔导度明显高于不施肥处理;有机肥处理的胞间 $\text{CO}_2$ 浓度比施化肥处理、不施肥处理都要低<sup>[23]</sup>。本试验也得出了相似的结果,与不施肥处理相比,单施化肥处理可极显著提高玉米叶片的叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、水分利用率,降低胞间 $\text{CO}_2$ 浓度和蒸腾速率,且有机肥与化肥配施的影响更大。张仁等研究得出了类似的结果<sup>[24-25]</sup>,但同时也认为,有机肥与化肥配施可提高作物的蒸腾速率,这与本试验的结果不同。其原因可能与试验区的土壤水势、太阳辐射、饱和水汽压差等主要环境因子不同有关<sup>[26]</sup>。

生物炭能明显改良土壤理化性质,并保留土壤养分<sup>[27]</sup>,

可促进旱地作物的水肥供应及生长发育,在农业生产中应用广泛。本试验中,生物炭与化肥配施对春玉米光合特性的影响比有机肥与化肥配施的更大,但二者之间没有明显差异。张娜等也认为,生物炭可显著提高玉米叶片的净光合速率、叶绿素含量,且低生物炭施用量有助于维持后期光合性能<sup>[28]</sup>。

本研究还表明,生物炭、有机肥、化肥三者配施有明显的互作效应,是所有处理中对春玉米的光合特性影响最大的,效果也最显著。究其原因,一方面是由于三者配施更能改善土壤性质和根际环境,减少养分流失,调控作物对养分的吸收、转运,加强后续的累积和同化;另一方面,也可能是由于生物炭偏于促进并使作物较长时间地维持营养生长,延缓叶片衰老,以进一步增加“源”强,改善“源-库”关系。

本试验在南方丘陵山地农区进行,既有效利用了农业秸秆和畜禽粪便,减少环境污染,又节约了资源和成本,增加了肥效,具有较好的推广应用价值。

### 参考文献:

- [1] 刘苗,孙建,李立军,等. 不同施肥措施对玉米根际土壤微生物数量及养分含量的影响[J]. 土壤通报,2011,42(4):816-821.
- [2] 高岩,曾路生,李俊良,等. 优化施肥对设施番茄根际与非根际土壤养分及酶活性的影响[J]. 华北农学报,2013,28(增刊1):347-352.
- [3] Albert E, Grunert M. Effect of a long-standing differentiated mineral-organic fertilization on yield, content of humus, nitrogen balance and nutrient content of the soil[J]. Archives of Agronomy and Soil Science,2013,59(7/8/9):1073-1098.
- [4] Yagüe M R, Bosch-Serra À D, Antúnez M, et al. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: macroaggregate stability and organic matter fractions[J]. Science of the Total Environment,2012,438:218-224.
- [5] Ai C, Liang G Q, Sun J W, et al. Responses of extracellular enzyme activities and microbial community in both the rhizosphere and bulk soil to long-term fertilization practices in a fluvo-aquic soil[J]. Geoderma,2012,2012(173/174):330-338.
- [6] 王楠,王帅,高强,等. 施氮水平对不同肥力土壤微生物学特性的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(4):148-152,167.
- [7] 许楠,倪红伟,钟海秀,等. 不同供氮水平对饲料桑幼苗生长以及光合特性的影响[J]. 江苏农业学报,2015,31(4):865-870.
- [8] 于天一,逢焕成,李玉义,等. 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.
- [9] 吕军杰,李俊红,丁志强,等. 旱地不同土壤培肥技术效应研究[J]. 土壤通报,2014,45(1):141-146.
- [10] 栾江,仇焕广,井月,等. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源学报,2013,28(11):1869-1878.
- [11] 张玉平,荣湘民,刘强,等. 有机无机肥配施对旱地作物养分利用率及氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(3):44-48,54.
- [12] 张晓龙,张玉平,高德才,等. 不同施肥模式对旱地土壤氮磷钾径流流失的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(6):36-40.
- [13] 尹昌斌,程磊磊,杨晓梅,等. 生态文明型的农业可持续发展路径选择[J]. 中国农业资源与区划,2015,36(1):15-21.
- [14] 马晓霞,王莲莲,黎青慧,等. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响[J]. 生态学报,2012,32(17):5502-5511.

王宁,周红,杨杰,等.棉花新品系中571简化整枝适宜栽培密度研究[J].江苏农业科学,2016,44(7):135-139.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.037

# 棉花新品系中571简化整枝适宜栽培密度研究

王宁,周红,杨杰,苏桂兰,许庆华,黄群,严根土

(中国农业科学院棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室,河南安阳455000)

**摘要:**为实现棉花新品系中571的简化栽培,研究了不同栽培措施[措施1(去枝叶)、措施2(留枝叶)和措施3(苗期喷DPC+留枝叶)]与种植密度(4.5万、7.5万、10.5万、13.5万、16.5万株/hm<sup>2</sup>)对中571生育性状、产量及品质的影响。结果表明:与措施1相比,措施2改变了植株形态、干物质累积及分配,如显著增加果枝数、叶枝数、叶片及总干物质累积,降低收获指数;但对叶片的生理功能,如叶绿素含量、光合速率、叶绿素荧光,产量及纤维品质均无显著影响。而措施3可有效抑制叶枝生长,改善叶片部分生理功能(增加 $\Phi_{PSII}$ 、 $q_P$ 和 $ETR$ ),提高干物质累积及收获指数,最终增加皮棉产量和纤维长度。不同种植密度对纤维品质无显著效应,但对皮棉产量产生影响,其中密度为4.5万株/hm<sup>2</sup>和7.5万株/hm<sup>2</sup>时可获得高产;随着种植密度的再增加,逐渐降低叶枝数、果枝数及果枝长度,加重叶片衰老程度,虽增加干物质积累但降低了收获指数,最终导致产量逐渐降低。综上所述,中571在措施3和中等密度(4.5万~7.5万株/hm<sup>2</sup>)种植条件下,可在保证高产优质的同时,实现简化栽培。

**关键词:**棉花;简化栽培;种植密度;生育性状;产量;品质

**中图分类号:** S562.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0135-05

棉花是我国重要的经济作物,也是纺织工业的主要原料,在国民经济发展中的地位举足轻重。然而,由于棉花具有无限生长、株型可塑性以及棉花收获器官的特殊性,使棉花栽培比小麦、玉米等有限生长作物的栽培更为复杂繁琐<sup>[1-2]</sup>。据

统计,棉花从种到收,整个生育期需要14道工序,35次投工,折合22个工日,比小麦、玉米2季作物用工多2~3个,单是采收期就长达2个月<sup>[3]</sup>;并且长期以来,我国棉花生产机械化发展极其缓慢,棉花生产基本上依靠人工完成,劳动强度大,生产效率低<sup>[4-5]</sup>。近年来,由于农村劳动力短缺和人工成本的上升,导致人工收花成本大幅度上升,广大棉区迫切要求简化棉花栽培及实现棉花收获机械化<sup>[6-7]</sup>。因此,推进棉花种植的机械化进程,简化棉花田间管理的农艺措施,种植“懒棉花”显得尤为必要。

我国棉花栽培历来以精耕细作著称于世,其中去叶枝作为棉花整枝技术的主要内容,在中国内陆棉区一直广泛应用<sup>[8]</sup>。一般认为整枝不仅可以减轻田间郁闭,改善棉田通风透光,而且有利于减少棉株营养物质的消耗,对营养生长和生

收稿日期:2015-06-09

基金项目:国家棉花产业技术体系项目(编号:CARS-18-05);河南省现代农业产业技术体系项目(编号:S2013-07-1);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:1610162014002)。

作者简介:王宁(1983—),男,河北保定人,博士,助理研究员,主要从事棉花品种资源创新及棉花育种研究。E-mail: wangning\_4306202@163.com。

通信作者:严根土,副研究员,主要从事棉花品种资源创新及棉花育种研究。E-mail: yangentu@163.com。

[15] 颜雄,彭新华,张杨珠,等.长期施肥对红壤旱地玉米生物量及养分吸收的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):120-125.

[16] 吴巍,荣湘民,张玉平,等.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):45-48.

[17] 姜玉萍,杨晓峰,张兆辉,等.生物炭对土壤环境及作物生长影响的研究进展[J].浙江农业学报,2013,25(2):410-415.

[18] Kim Y G, Cho Y S, Seo J H, et al. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on maize growth[J]. Korean Journal of Crop Science, 2008, 53(1): 93-101.

[19] Chen X, Li S. Effects of enhanced atmospheric ammonia on physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(12): 3094-3099.

[20] 谷岩,胡文河,徐百军,等.氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响[J].生态学报,2013,33(23): 7399-7407.

[21] 肖万欣,赵海岩,刘晶,等.不同氮、磷、钾肥配施对辽单565光合特性和产量的影响[J].玉米科学,2011,19(3):126-130.

[22] 张越,王创云,邓妍,等.不同施肥处理对玉米光合特性及

产量形成的影响[J].山西农业科学,2015,43(4):430-433,438.

[23] Liu X Y, Li G Q, Yan S, et al. Effects of collocation of different fertilizers on photosynthesis characteristics of *Sterna rebaudiana* Bertoni [J]. Research on Crops, 2014, 15(1): 259-263.

[24] 张仁和,胡富亮,杨晓钦,等.不同栽培模式对旱地春玉米光合特性和水分利用率的影响[J].作物学报,2013,39(9):1619-1627.

[25] Gupta R, Pandey S K, Singh A K, et al. Response of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and yield of finger millet (*Eleusine coracana*) influenced by bio-chemical fertilizers [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2011, 81(5): 445-449.

[26] 郭映,董阳,党慧慧,等.基于不同时间尺度玉米蒸散蒸腾量及其影响因素[J].资源科学,2014,36(7):1501-1508.

[27] 武玉,徐刚,吕迎春,等.生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J].地球科学进展,2014,29(1):68-79.

[28] 张娜,李佳,刘学欢,等.生物炭对夏玉米生长和产量的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(8):1569-1574.