

文章编号: 1005-0906(2014)06-0097-05

# 不同密度对利民 33 光合特性和产量的影响

李瑞平, 郑金玉, 罗 洋, 郑洪兵, 李伟堂, 刘武仁

(吉林省农业科学院/农业部东北作物生理生态与耕作重点实验室, 长春 130033)

**摘 要:** 在大田试验条件下设 7 万(T1)、8 万(T2)、9 万(T3)、10 万(T4)和 11 万株/hm<sup>2</sup>(T5) 5 个处理, 测定玉米叶面积指数和叶绿素含量、净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间二氧化碳浓度(Ci)、蒸腾速率测定(Tr)和玉米产量, 研究不同密度对利民 33 光合特性及产量的影响。研究表明, 在吐丝期 T4 密度下 LAI 最高, 在灌浆后期 T2 密度下 LAI 最高; 在吐丝期和灌浆后期叶绿素含量均随着密度的增加呈降低趋势; 吐丝期和灌浆后期净光合速率和光能利用率均表现出 T2 密度下最高, 玉米产量与净光合速率和光能利用率密切相关。利民 33 在 T2 密度条件下光能利用率最高, 产量最高, 达 12 124.64 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 玉米; 密度; 利民 33; 光合特性; 产量

**中图分类号:** S513.047

**文献标识码:** A

## Effects of Different Densities on Photosynthetic Characteristics and Yield of Limin33

LI Rui-ping, ZHENG Jin-yu, LUO Yang, ZHENG Hong-bing, LI Wei-tang, LIU Wu-ren

(Jilin Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Northeast China, Ministry of Agriculture, Changchun 130033, China)

**Abstract:** In order to clear about the effects of high density on photosynthetic characteristics and yield, a field experiment was designed with five treatments: 70 000, 80 000, 90 000, 100 000 and 110 000 plants/ha. In the experiments, leaf area index(LAI), chlorophyll content(CC), photosynthetic rate(Pn), stomatal conductance(Gs), internal CO<sub>2</sub> concentration(Ci), transpiration rate(Tr) and yield were measured. The results showed that the LAI peaked in silking stage and T4 was the highest, but in the late filling stage, T2 was the highest. The content of Chlorophyll decreased in response to the increased density at silking stage and late filling stage; the highest photosynthetic rate and light use efficiency(LUE) was T2 treatment at silking and late filing stage. The yield trend was similar to the photosynthetic rate and light use efficiency(LUE) and closely related with net photosynthetic rate and light use efficiency(LUE). The highest light use efficiency (LUE) and yield was T2 treatment. The yield reached 12 124.64 kg/ha.

**Key words:** Maize; Density; Limin 33; Photosynthetic characteristics; Yield

光合作用是作物产量形成的基础, 作物干物质 90% 以上来源于光合作用产物。光合特性与干物质生产和产量有很大关系, 是作物产量形成的根源<sup>[1]</sup>。国内外学者一致认为, 密度是影响玉米产量的重要因素之一, 增大群体密度是获得高产的关键措施<sup>[2~4]</sup>。利民 33 是属于高耐密品种<sup>[5~7]</sup>, 本文针对

利民 33 品种的特性, 设计不同密度试验, 通过对光合特性参数研究, 为玉米高产及超高产创建提供理论指导。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地点设在吉林省公主岭市范家屯香山村 (43 地点设在吉, 125 点设在吉林), 年均太阳辐射 4 800 MJ/m<sup>2</sup>, 年均气温 4℃~6℃, 日照时数为 2 800 h, ≥0℃有效积温为 2 860℃·d, 无霜期 140 d, 多年平均降水 567 mm, 为典型的雨养农业区。该区属于薄层黑土, 耕层土壤全氮含量 0.17%、全磷含量 0.07%、全钾含量 2.43%、水解性氮含量 153.19 mg/kg、有机质

收稿日期: 2014-08-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD16B10, 2012BAD04B02)

作者简介: 李瑞平(1984-), 男, 内蒙古清水河人, 硕士, 主要从事玉米耕作与栽培研究。E-mail: ruipinghappy@126.com  
刘武仁为本文通讯作者。

含量2.74%。

## 1.2 试验设计

试验材料为高耐密品种利民33。采用单因素试验设计,密度设5个水平,分别为7万、8万、9万、10万、11万株/hm<sup>2</sup>(分别用T1、T2、T3、T4和T5表示)。每个处理施纯N 200 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为75 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O为90 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O全部做基肥在播种前施入,氮肥以总氮量的30%-50%-20%分次施用,即基肥-拔节追肥-抽丝期追肥。随机区组设计,3次重复,6行区,行长8 m,行距65 cm,小区面积31.2 m<sup>2</sup>,小区过道1 m。

## 1.3 测定项目与方法

于吐丝期(7月26日)和灌浆后期(9月5日)测定叶面积指数(LAI)、叶绿素含量和光合参数。

叶面积指数测定:通过长宽系数法测量叶面积,叶面积=长×宽×系数(0.5~0.75),连续测定3株,换算叶面积指数。

叶绿素测定:在穗位叶采用SPAD-502叶绿素仪测定,重复10次。

光合测定:在9:00~11:00采用LI-6400光合仪测定光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间二氧化碳浓度(Ci)、蒸腾速率测定(Tr),采用光合仪内置光源设定

光照强度为1200 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。测定位置为穗位叶,重复6次,计算光能利用率(LUE), LUE= Pn/PAR。

产量测定:每个处理3次重复,每个重复测20 m<sup>2</sup>,分别取样10穗,自然风干后于室内考种,最后折算成标准含水量产量(14%)。

## 1.4 数据统计与分析

采用Excel 2003处理数据和作图, DPS7.05统计分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同密度对利民33叶面积指数的影响

叶片是玉米产量形成的最重要“源”器官,叶面积指数(LAI)是合理密植的最重要群体指标,合理的玉米叶片群体构成及光合持续期是玉米高产的基础<sup>[8,9]</sup>。由图1可以看出,在吐丝期T1至T4处理,随着密度的增加, LAI有所增加, T1密度下 LAI为4.61, T4密度最高达到6.01, T4密度较T1增加30.4%, T5密度较T4密度下降3.8%。在灌浆后期, LAI较吐丝期有所下降, T2处理较T1处理增加8.3%, T3、T4和T5处理分别较T2处理降低5.9%、13.7%和11.2%。利民33在不同密度条件下吐丝期能保持较高的LAI, LAI保持在3.54~4.10。

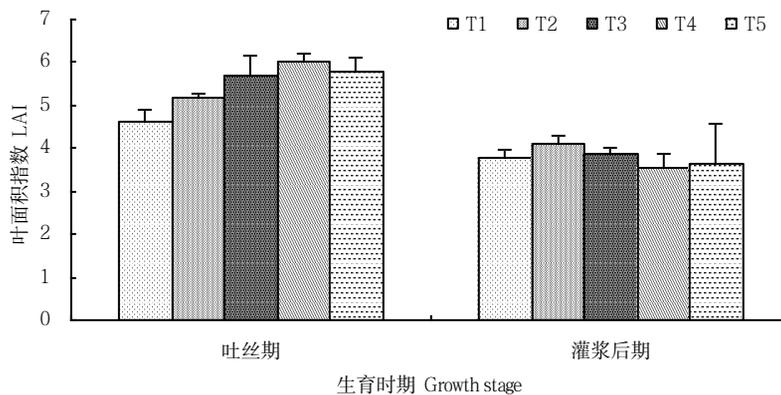


图1 不同密度对利民33叶面积指数的影响

Fig.1 Effect of different densities on LAI of Limin33

## 2.2 不同密度对利民33叶绿素含量(SPAD值)的影响

叶绿素是衡量光合能力的重要指标。本试验条件下,在吐丝期和灌浆后期叶绿素含量均随着密度的增加呈降低趋势,在吐丝期T2、T3、T4和T5密度下分别较T1密度下叶绿素含量降低5.0%、6.4%、8.7%和14.1%;在灌浆后期T2、T3、T4和T5密度下分别较T1密度下叶绿素含量降低3.9%、8.5%、10.1%和12.0%。随着密度的增加,冠层受光较差,叶绿素含量较低。

在灌浆后期叶绿素含量较吐丝期有不同程度的增加, T1、T2、T3、T4和T5密度下分别增加3.0%、1.5%、0.7%、0.9%和5.6%。在灌浆后期,利民33叶绿素含量仍然保持较高水平。

## 2.3 不同密度对利民33光合参数的影响

作物产量90%来源于光合作用。由表1可以看出,在吐丝期净光合速率T1密度下较T2低, T2密度下净光合速率最高, T2至T5密度区间随着密度的增加,净光合速率呈降低趋势, T1、T2、T3和T4密度下净光合速率分别与T5差异达极显著水平, T2与T1、

T3和T4密度下净光合速率差异分别达到显著水平;气孔导度呈随着密度的增加呈降低趋势,T1、T2、T3密度下净光合速率与T4、T5差异分别达极显著水平,T4和T5密度下净光合速率之间差异达极显著水平;胞间二氧化碳浓度大小顺序为T1>T3>T2>T4>T5,T1和T3与T2差异达极显著水平,T4和T5差异达极显著水平,T2、T4和T5相互之间差异达极显著水平;蒸腾速率大小顺序为T2>T1>T3>T4>T5,T2密

度下分别与T3、T4和T5差异达极显著水平,T1和T3分别与T4和T5差异达极显著水平,T4和T5之间差异达极显著水平;光能利用率变化与净光合速率表现一致,密度由T1增加到T2时,光能利用率呈增加趋势,当密度增加到一定程度时(T3),光能利用率开始下降,T2与T4和T5差异达到极显著水平,T2与T1和T3差异分别达显著水平,T4与T5之间差异达极显著水平。

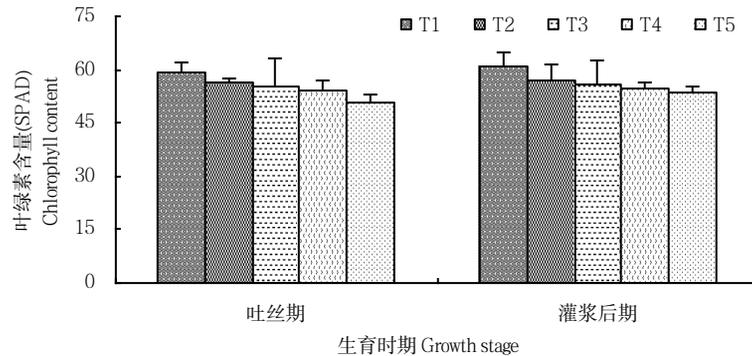


图2 不同密度对利民33叶绿素含量的影响

Fig.2 Effect of different density on chlorophyll content of Limin33

表1 不同密度对利民33吐丝期光合性能参数的影响

Table 1 Effects of different density on photosynthetic parameters of Limin33 at silking stage

处理 Treatment	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] $P_n$	气孔导度 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] $G_s$	胞间二氧化碳浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ) $C_i$	蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] $T_r$	光能利用率(%) LUE
T1	23.96±0.37 b A	0.228 6±0.008 4 a A	119.33±6.65 a A	4.88±0.11 b AB	2.00±0.03 b AB
T2	27.20±1.39 a A	0.228 3±0.016 4 a A	85.76±1.86 b B	5.15±0.23 a A	2.27±0.11 a A
T3	23.97±0.68 b A	0.207 0±0.014 1 a A	100.83±3.35 a A	4.62±0.15 b B	2.00±0.06 b AB
T4	23.77±0.87 b A	0.158 9±0.008 6 b B	50.82±3.54 c C	3.98±0.17 c C	1.98±0.07 b B
T5	17.64±0.27 c B	0.102 2±0.000 1 c C	31.91±2.90 d D	2.90±0.00 d D	1.47±0.02 c C

注:不同小写字母和大写字母分别表示在0.05和0.01水平差异显著。下表同。

Note: The different lowercase and uppercase letters indicated the difference between 0.05 and 0.01 levels of significance, respectively.

The same below.

在灌浆后期净光合速率、胞间二氧化碳浓度和光能利用率与吐丝期变化规律一致,气孔导度大小顺序为T1>T2>T3>T5>T4,蒸腾速率随着密度的增加呈逐渐降低的趋势。净光合速率T2和T1与T3、T4和T5差异分别达到极显著水平,T2与T1之间差异达极显著水平,T3与T4和T5差异达极显著水平;气孔导度T1与其他处理差异均达极显著水平,T2和T3与T4和T5差异分别达极显著水平;胞间二氧化碳浓度T1分别与其他处理差异达极显著水平,T2与T4和T5差异分别达显著和极显著水平,T3与T4和T5差异分别达极显著水平,T4和T5相互之间差异

达显著水平;蒸腾速率所有处理除了T4与T5相互之间差异不显著外,其他处理相互之间差异均达到极显著水平;光能利用率T1和T2分别与T3、T4和T5差异达到极显著水平,T1与T2相互之间差异也达极显著水平,T3与T4和T5差异达极显著水平。

#### 2.4 不同密度对利民33产量的影响

玉米产量是由单位面积穗数,穗粒数和百粒重构成,产量性状的好与坏直接决定产量的高低。从表3中可以看出,穗长随着密度的增加而逐渐缩短,突尖长逐渐增加,穗行数和行粒数逐渐降低,百粒重和子粒容重呈降低趋势。通过显著性检验表明,穗

长、突尖长、穗行数和行粒数不同处理间差异达显著或极显著水平,百粒重和子粒容重不同处理之间差异均未达到显著水平。产量高低顺序为 T2 > T1 > T3 > T4 > T5,说明高耐密玉米品种利民 33 密度由

T1 增加到 T2 时,产量呈增加趋势,当密度增加到一定程度(T3)时,产量开始下降,T5 下降最明显,较 T2 下降 15.2%。T2 与 T4 和 T5 密度下产量差异达显著水平。

表 2 不同密度对利民 33 灌浆后期光合性能参数的影响

Table 2 Effects of different density on photosynthetic parameters Limin 33 at late filling stage

处理 Treatment	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] <i>P<sub>n</sub></i>	气孔导度 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] <i>G<sub>s</sub></i>	胞间二氧化碳浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ) <i>C<sub>i</sub></i>	蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] <i>T<sub>r</sub></i>	光能利用率(%) LUE
T1	22.75±1.07 b B	0.238 5±0.120 6 a A	168.30±16.78 a A	4.70±0.19 a A	1.90±0.09 b B
T2	25.18±0.27 a A	0.145 6±0.009 8 b B	111.40±7.61 b BC	3.09±0.07 b B	2.10±0.04 a A
T3	19.43±0.61 c C	0.137 5±0.003 5 b B	126.72±5.11 b B	2.51±0.11 c C	1.62±0.02 c C
T4	17.83±0.18 d C	0.088 2±0.001 7 c C	75.07±6.40 c CD	2.08±0.02 d D	1.47±0.01 d C
T5	17.31±0.18 d C	0.092 1±0.000 7 c C	43.11±4.39 d D	1.80±0.04 d D	1.44±0.01 d C

表 3 不同不同密度利民 33 产量及产量性状差异

Table 3 The difference of yield and yield characteristic of Limin 33 in different densities

处理 Treatment	穗长 (cm) Ear length	秃尖长(cm) Barren ear tips length	穗行数 Row number per ear	行粒数 Kernel number per row	百粒重(g) 100-kernel weight	子粒容重(g/L) Grain volume weight	产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) Yield
T1	17.13±0.08 a A	0.40±0 b B	17.60±0.24 ab	35.63±0.44 a A	30.70±0.31 a	691.67±3.65 a	11 200.83±552.19 ab
T2	16.22±0.32 b AB	0.40±0.15 b B	17.40±0.20 ab	33.63±0.84 ab AB	28.70±1.59 a	690.53±8.82 a	12 124.64±118.01 a
T3	15.40±0.25 c BC	0.83±0.03 ab AB	17.13±0.24 b	31.50±0.34 bc B	28.33±0.90 a	686.10±4.02 a	11 074.76±559.87 ab
T4	15.13±0.18 cd BC	1.07±0.20 a A	16.80±0.12 a	30.77±1.04 c BC	28.03±0.52 a	682.77±8.29 a	10 763.48±158.33 b
T5	14.57±0.17 d C	1.17±0.15 a A	16.73±0.31 b	27.77±0.55 d C	27.70±1.41 a	674.47±6.24 a	10 276.40±323.36 b

### 3 结论与讨论

胡萌通过 3 个品种不同密度研究表明,不同品种不同密度群体 LAI 随生育进程先增大后下降趋势,各生育期 LAI 都随密度的增加而升高<sup>[10]</sup>。在本研究中,在吐丝期 T1 至 T4 密度下,随着密度的增加 LAI 有所增加,T5 较 T4 有所下降;在灌浆后期,T2 较 T1 密度下有所增加,T3、T4 和 T5 密度下分别较 T2 有所降低。在吐丝期 LAI 都随密度的增加而升高,灌浆后期较吐丝期有所下降。虽然利民 33 属高耐密品种,但是密度太大也会造成后期群体遮荫,冠层下部叶片脱落。本研究还表明,灌浆后期同一处理叶绿素含量较吐丝期略有增加,可能与材料有关。

通过延长绿叶面积的光合时间、漏光损失减少、提高净光合速率、提高光能利用率、延缓中后期叶片衰老进程,可显著提高产量<sup>[11~13]</sup>。在本试验条件下,吐丝期和灌浆后期,密度由 T1 增加至 T2,净光合速率和光能利用率呈增加趋势,由 T2 增加至 T5,呈下降趋势,与段巍巍等研究结果略有不同<sup>[14]</sup>。本研究

得出,玉米产量的高低顺序与净光合速率和光能利用率高低顺序一致,进一步说明产量与净光合速率和光能利用率密切相关。利民 33 高耐密品种在 8 万株/ $\text{hm}^2$  密度条件下,群体结构合理,提高了群体光能利用率,产量最高,达 12 124.64  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

#### 参考文献:

- 王建林,徐正进,冯永祥,等.作物超高产栽培与株型育种的光合作用基础[J].中国农学通报,2004,20(5):130-133.  
Wang J L, Xu Z J, Feng Y X, et al. Photosynthetic base of super high yield planting and plant-type breeding of crop: taking rice as an example[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(5): 130-133. (in Chinese)
- 王楷,王克如,王永宏,等.密度对玉米产量(>15 000  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )及其产量构成因子的影响[J].中国农业科学,2012,45(16):3437-3445.  
Wang K, Wang K R, Wang Y H, et al. Effects of density on maize field and field components[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45 (16): 3437-3445. (in Chinese)
- 赵松岭,李凤民,张大勇,等.作物生产是一个种群过程[J].生态学报,1997,17(1):100-104.  
Zhao S L, Li F M, Zhang D Y, et al. Crop production is a population

- process[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(1): 100-104. (in Chinese)
- [4] Tollenaar M, Lee E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize[J]. *Field Crops Research*, 2002, 88: 161-169.
- [5] 何悦. “利民33”玉米品种吉林湿润区半干旱区创出高产[N]. *农民日报*, 2012-10-22.
- [6] 王新国. 玉米新品种利民33宽窄行膜下滴灌栽培技术[J]. *科学种养*, 2013, 9: 13.  
Wang X G. The technique of under wide narrow row film drip irrigation cultivation with new corn variety Limin 33[J]. *Science Cultivation*, 2013, 9: 13. (in Chinese)
- [7] 郑金玉, 罗洋, 郑洪兵, 等. 施氮量对利民33光合特性及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2014, 22(2): 135-138.  
Zheng J Y, Luo Y, Zheng H B, et al. Effects of nitrogen fertilizer rate on photosynthesis and yield of Limin 33[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(2): 135-138. (in Chinese)
- [8] 陈传永, 董志强, 赵明, 等. 低温冷凉地区超高产春玉米群体生长分析研究[J]. *玉米科学*, 2007, 15(3): 75-79.  
Chen C Y, Dong Z Q, Zhao M, et al. Researches of analysis and growth on spring maize with Super-high yield in cold region[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(3): 75-79. (in Chinese)
- [9] 曹娜, 于海秋, 王绍斌, 等. 高产玉米群体的冠层结构及光合特性分析[J]. *玉米科学*, 2006, 14(5): 94-97.  
Cao N, Yu H Q, Wang S B, et al. Analysis on canopy structure and photosynthetic characteristics of high yield maize population[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(5): 94-97. (in Chinese)
- [10] 胡萌. 密度对春玉米光合和衰老生理及产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- [11] 吴亚男, 齐华, 盛耀辉, 等. 密度、氮肥对春玉米光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2011, 19(5): 124-127.  
Wu Y N, Qi H, Sheng Y H, et al. Effects of sowing density and applying nitrogenous fertilizer on the photosynthesis capacity dry matter accumulation and yield of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(5): 125-127. (in Chinese)
- [12] 边少锋, 徐克章, 王晓慧, 等. 超高产春玉米品种不同密度光合特性的比较研究[J]. *玉米科学*, 2010, 18(3): 117-120.  
Bian S F, Xu K Z, Wang X H, et al. Comparisons of photosynthetic characteristics in different densities of Super-high-yield spring maize cultivars[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(3): 117-120. (in Chinese)
- [13] 吕丽华, 王璞, 易镇邪, 等. 密度对夏玉米品种光合特性和产量性状的影响[J]. *玉米科学*, 2007, 15(2): 79-81.  
Lü L H, Wang P, Yi Z X, et al. Effects of plant density on photosynthetic character and yield trait in summer corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(2): 79-81. (in Chinese)
- [14] 段巍巍, 李慧玲, 肖凯, 等. 密度对玉米光合生理特性和产量的影响[J]. *玉米科学*, 2007, 15(2): 98-101.  
Duan W W, Li H L, Xiao K, et al. Effects of density on photosynthetic physiological characteristics and yield of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(2): 98-101. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)

(上接第96页)

- [26] 张玉芹, 杨恒山, 高聚林, 等. 超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(21): 4367-4376.  
Zhang Y Q, Yang H S, Gao J L, et al. Study on canopy structure and physiological characteristics of super-high yield spring maize [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(21): 4367-4376. (in Chinese)
- [27] 刘小卫. 玉米单、双株不同栽培方式的对比[J]. *农技服务*, 2008, 25(12): 16.  
Liu X W. Study on comparison between planting maize in single-seedling and double-seedling cultivation ways[J]. *Agricultural Technology Service*, 2008, 25(12): 16. (in Chinese)
- [28] 李艳华, 张鹏, 吴国良, 等. “双行交错”种植方式玉米干物质积累动态变化的研究[J]. *山东农业科学*, 2011(6): 35-38.  
Li Y H, Zhang P, Wu G L, et al. Research on dynamic variation of dry matter accumulation in maize cultivated by “Double-row Interlaced Planting” method[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2011 (6): 35-38. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)