

耐密性春大豆品种光合特性研究

郑 伟^{1,2}, 谢甫绋^{1*}, 郭 泰², 王志新², 李灿东², 张振宇²,
吴秀红², 张茂明², 王庆胜², 侯升林³

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110866; 2. 黑龙江省农科院佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 157007;
3. 河北省农林科学院谷子研究所, 河北 石家庄 050035)

摘 要: 选用耐密性不同的两个大豆品种, 设置了 22.5 万株·hm⁻²、30.0 万株·hm⁻²和 37.5 万株·hm⁻²等 3 个密度, 研究耐密性大豆的光合特性。试验结果表明, 耐密品种垦丰 16 号, 叶形指数高, 上部冠层叶柄短, 随着密度增加, 耐密品种垦丰 16 冠层上部叶柄长度显著低于普通品种, 叶形指数高于普通品种, 尤其是高密度条件下从第 9 节位开始垦丰 16 的叶形指数显著或极显著高于普通品种合丰 39, 从第 11 节开始叶柄长度短于合丰 39, 有利于通风透光; 随着密度增大, 耐密品种垦丰 16 的叶色值峰值出现时期没有明显变化, 密植条件下生育后期叶片持绿性更强; 随着密度增加耐密品种垦丰 16 净光合速率和水分利用率下降速度慢, 当密度为 30.0 万株·hm⁻²时垦丰 16 与合丰 39 的净光合速率和水分利用率差异达到显著水平(分别为 $P = 0.0423$, $P = 0.0384$), 密度为 37.5 万株·hm⁻²时差异达到极显著水平(分别为 $P = 0.0026$, $P = 0.0042$); 随着密度增加耐密品种垦丰 16 产量逐渐增加, 不耐密品种合丰 39 产量呈现先上升后降低的趋势, 密度为 37.5 万株·hm⁻²时, 两个品种间差异达到极显著水平($P = 0.0024$)。不同密度条件下垦丰 16 与合丰 39 在形态和光合生理指标的变化可以看出, 耐密性春大豆品种冠层结构更有利于在高密度条件下通风透光, 密植条件下后期持绿性强, 光合速率和水分利用率受密度影响小, 因此在高密度条件下能够获得较高的产量。

关键词: 大豆; 栽培密度; 光合特性; 水分利用率; 产量
中图分类号: S565.104 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0184-05

Photosynthetic characteristics of spring soybean cultivars
with high density tolerance

ZHENG Wei^{1,2}, XIE Pu-di^{1*}, GUO Tai², WANG Zhi-xin², LI Can-dong², ZHANG Zhen-yu²,
WU Xiu-hong², ZHANG Mao-ming², WANG Qing-sheng², HOU Sheng-lin³

(1. Shenyang Agricultural University, Liaoning, Shenyang 110866, China;
2. Jiamusi Branch Academy of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heilongjiang, Jiamusi 157007, China;
3. Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Hebei, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: We used two soybean cultivars and conducted three treatments of planting density, 225 000, 300 000, and 375 000 plant·hm⁻². The results showed that the high density tolerance cultivars like KenFeng16 had high leaf shape index and short petioles at upper canopy. With the density increased, Kenfeng16 had shorter leaf petiole length and higher leaf index than conventional cultivars like Hefeng39. The leaf color did not change significantly and the duration of leaf stay-green was longer. The net photosynthetic rate and water use efficiency differed significantly between Kenfeng16 and Hefeng39 under the density of 300 000 plant·hm⁻² and 375 000 plant·hm⁻². The reason that Kenfeng16 outyielded Hefeng39 under high density is that it had a rational canopy structure, resulting in favorable conditions of air and light for soybean.

Keywords: soybean; planting density; photosynthetic characteristics; water use efficiency; yield

大豆种植密度与产量关系极为密切^[1-3], 密度量^[5]、叶柄长度^[8]等叶部性状以及周围空间 CO₂ 浓度等环境因素, 对大豆产量形成具有决定性作

收稿日期: 2013-11-19
基金项目: 国家科技支撑项目“北方早熟大豆新品种培育与扩繁”(2011BAD35B06-1-5); 种子基金项目“耐密、优质大豆新品种选育、种质材料创新及配套栽培技术推广”(2010-03-02); 国家现代大豆产业技术体系建设(CARS-04-CES05)
作者简介: 郑 伟(1976—), 男, 在读博士, 副研究员, 研究方向为大豆育种与栽培。
* 通信作者: 谢甫绋(1966—), 男, 教授, 博士生导师, 从事大豆育种与栽培研究工作。

用^[6-8]。大豆冠层光合速率与产量呈正相关,特别是开花期相关更为密切^[9],而叶片本身的叶绿素含量与光合速率呈正相关关系;在改进大豆光合效率过程中,使更多的叶片受光,舒朗的冠层结构尤为重要,良好的冠层结构应该是,中下部叶柄长,上部叶柄短^[8],中、下部叶面积大,上部叶面积小^[9-11]。国内外许多学者研究认为,大豆品种对栽培密度具有一定的自我调节能力,但不同类型的大豆品种对密度的适应能力存在差异^[12-14],在叶部性状上表现尤为明显^[1,8,14]。黑龙江省是我国大豆主产区,近年来随着品种株高的降低、抗倒伏能力增强,大豆种植密度由北向南有逐渐增加的趋势,行距由原来的 70 cm 缩小到现在的 60~65 cm,播种密度已经由原来的 25~30 万株·hm⁻²提高到 35 万株·hm⁻²左右,有些地区甚至达到了 40 万株·hm⁻²,大豆单产一直高于全国平均水平。因此,研究与推广耐密植大豆品种和配套技术对于提高黑龙江省大豆生产水平具有重要意义。本研究以耐密性不同的两个大豆品种为试验材料,设置 3 个密度进行小区试验,研究栽培密度对耐密性大豆品种叶片性状的影响,为耐密大豆高产栽培和耐密品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

耐密植大豆垦丰 16 号,适宜栽培密度 30~35 万株·hm⁻²;普通品种合丰 39 号,适宜栽培密度 25~30 万株·hm⁻²。

1.2 试验设计

试验于 2012—2013 年在黑龙江省农科院佳木斯分院进行,东经 130°21′,北纬 46°49′,海拔 90.5 m,黑钙土,前茬作物玉米单产 9 234.6 kg·hm⁻²。随机区组设计,3 次重复,6 行区,6 m 行长,行距 70 cm,小区面积 25.2 m²,设置 3 个密度分别为:22.5 万株·hm⁻²、30 万株·hm⁻²、37.5 万株·hm⁻²。5 月 1 日播种,机器开工,人工双粒点播,出苗 2 周后定苗,10 月 1 日收获,田间管理按照大田栽培进行。

1.3 测定指标

- 1.3.1 叶色值 6 月 18 日开始,每隔 7 d 测定 1 次大豆主茎倒 3 叶的叶色值,利用 SPAD502 叶绿素仪进行测量,每小区测 3 点,每点测定 10 株,取平均值。
- 1.3.2 净光合速率 在大豆鼓粒期每个小区选取有代表性的 5 株,利用 Li-cor6400 光合测定系统对参试品种主茎倒 3 叶中间小叶片的净光合速率进行定株测定,测定条件:流速 500 μmol·s⁻¹,红蓝光源光子通量密度(PFD)为 1 000 μmolm⁻²·s⁻¹。
- 1.3.3 水分利用效率 水分利用效率(WUE) = 净

- 光合速率(Pn)/蒸腾速率(Tr)。
- 1.3.4 叶柄长度和叶形指数 在大豆鼓粒期(R₆)每个小区选取有代表性的 5 株,测量每个节位上叶片的叶柄长度,同时测定每个叶片中间小叶的长度和宽度,计算叶形指数。
- 1.3.5 收获测产 试验材料成熟后,每个小区两端各去掉 0.5 m 以消除边际效应,余下全区收获,收获后风干脱粒,水分降到 14% 以下时进行测产。
- 1.4 数据处理 用 Excel 和 DPS 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 净光合速率

图 1 表明,在 3 种栽培密度条件下耐密植品种垦丰 16 的净光合速率均高于不耐密植品种合丰 39。随着密度增加,参试品种叶片净光合速率均呈下降趋势,密度为 22.5 万株·hm⁻²时,两个品种之间净光合速率差异不显著,当密度增加到 30.0 万株·hm⁻²时两个品种净光合速率差异达到显著水平(P = 0.0423);密度达到 37.5 万株·hm⁻²时,两个品种之间净光合速率差异达极显著(P = 0.0026)。从下降趋势来看,垦丰 16 下降速率较合丰 39 慢,密度从 22.5 万株·hm⁻²增加到 30.0 万株·hm⁻²时,垦丰 16 净光合速率下降了 3.3%,而合丰 39 下降了 10.2%;密度增加到 37.5 万株·hm⁻²时,垦丰 16 净光合速率较 22.5 万株·hm⁻²降低了 12.2,而常规品种合丰 39 降低了 29.8%。耐密植品种垦丰 16 净光合速率较不耐密植品种合丰 39 高,并且随着种植密度的增加下降速度较不耐密品种合丰 39 慢,这是垦丰 16 较合丰 39 耐密的原因之一。

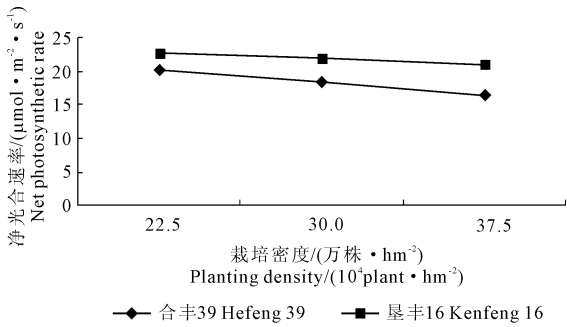


图 1 种植密度对大豆叶片光合速率的影响
Fig.1 Effect of planting density on leaf photosynthetic of soybean cultivars

2.2 叶柄长度

图 2 可见,参试品种随着密度增加叶柄长度有增加趋势,但变化趋势不同,密度为 22.5 万株·hm⁻²的时候,从第 10 个节位开始合丰 39 号的叶柄长度

极显著地长于垦丰 16, 差异达到极显著水平; 密度达到 $30.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 在第 8、13 和 15 节差异达到显著水平, 其它节位叶柄长度差异不显著; 密度为 $37.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 第 9 节以后合丰 39 号的叶柄长度长于垦丰 16, 第 9 节和第 10 节差异达到显著水平, 从 11 节开始差异达到了极显著水平。在栽培密度变化时垦丰 16 叶柄长度变化没有合丰 39 明显, 随着密度增大垦丰 16 号上部叶片叶柄长度小于合丰 39 的叶柄长度, 可见垦丰 16 的株型在高密度条件下有利于群体通风透光, 因此垦丰 16 较合丰 39 更适于密植栽培。

2.3 叶色值

图 3 可以看出, 在 $22.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下两个品种叶色值变化均呈双峰曲线, 垦丰 16 的叶色值一

直高于合丰 39; 达到第 2 个峰值后, 合丰 39 号下降的速率较垦丰 16 快, 9 月 1 日两个品种叶色值差异到了极显著水平 ($P = 0.0354$)。密度为 $30.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时两个品种的叶色值均呈现 2 个峰值, 最高峰出现在 8 月 18 日, 且从 7 月 16 日开始垦丰 16 的叶色值高于合丰 39。密度为 $37.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时两个品种的叶色值均为双峰曲线, 合丰 39 最高峰值出现在 8 月 11 日, 而垦丰 16 峰值出现在 8 月 18 日, 从 8 月 4 日开始垦丰 16 的叶色值高于合丰 39, 8 月 18 日差异达到显著 ($P = 0.0456$), 8 月 24 日和 9 月 1 日差异达到极显著 ($P = 0.0048$ 、 $P = 0.0054$)。可见, 耐密植品种叶色值峰值变化小, 且后期叶片持绿性强, 尤其是在密植条件下生育后期叶片持绿性表现更为突出。

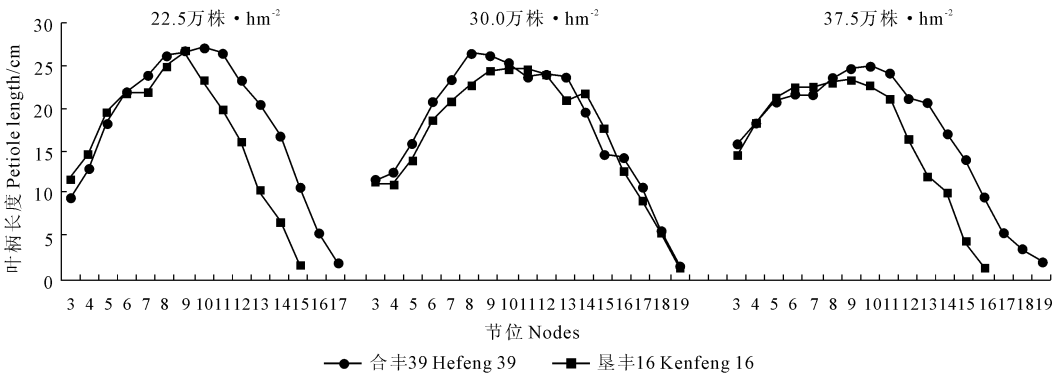


图 2 种植密度对大豆叶柄长度的影响

Fig.2 Effect of planting density on leaf petiole of soybean cultivars

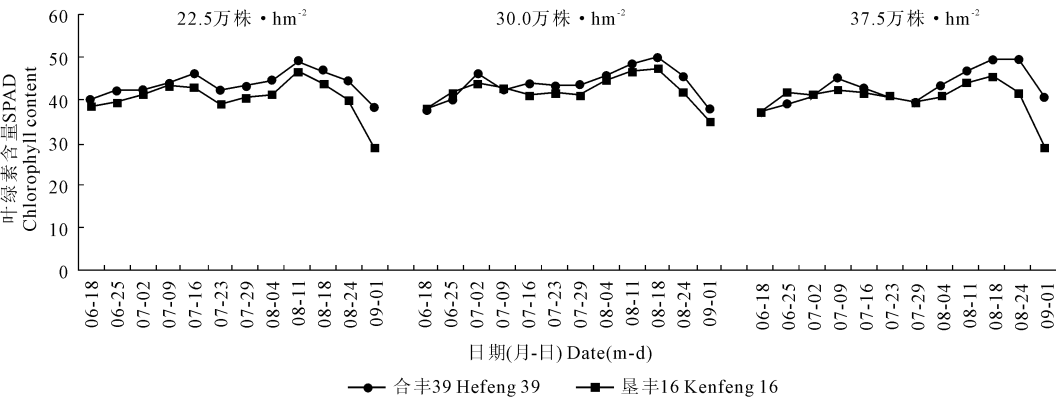


图 3 种植密度对大豆叶色值的影响

Fig.3 Effect of planting density on leaf SPAD value

2.4 叶形指数

图 4 可以看出, 在 3 个密度条件下垦丰 16 的叶形指数均高于合丰 39, 总体趋势是随着节位升高叶形指数变大, 到了顶端 1、2 片叶, 叶形指数变小, 主要是由于冠层上部通风透光能力强, 所以上部叶片发育好, 叶片较宽。在 $22.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下两个品种在 14、15 节叶片的叶形指数差异达到显著水平; 在 $30.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下只有第 3、12、17 节位

的叶形指数差异达到显著水平, 其它节位叶片的叶形指数差异均没有达到显著水平; 在 $37.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下 11 节以后叶形指数差异达到显著或者极显著。由以上可以看出耐密植品种垦丰 16 不同节位的叶形指数在 3 种密度条件下均高于常规品种合丰 39 号, 尤其是在高密度条件下上部叶片变得更窄, 更有利于通风透光, 因此更适于密植栽培。

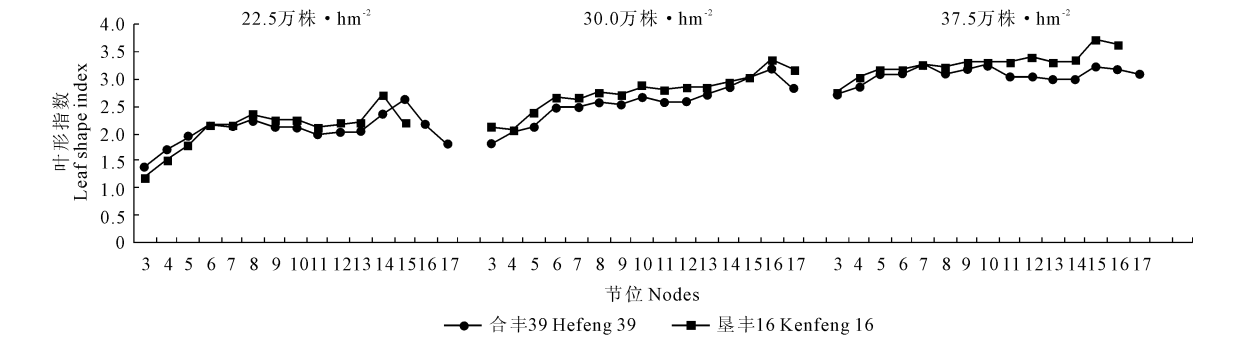


图 4 种植密度对大豆叶形指数的影响

Fig.4 Effect of planting density on leaf shape index

2.5 水分利用效率

从图 5 可以看出,随着密度增加两个品种的水分利用效率呈下降趋势,密度从 22.5 万株·hm⁻²增加到 30.0/hm²,合丰 39 水分利用效率下降了 11.9%,垦丰 16 下降了 7.2%;密度从 30.0 万株·hm⁻²增加到 37.5/hm²,合丰 39 水分利用效率下降了 12.0%,垦丰 16 下降了 4.3%;密度从 22.5 万株·hm⁻²增加到 37.5/hm²,合丰 39 水分利用率下降了 22.5%,而垦丰 16 则下降了 11.2%。在 3 种密度条件下垦丰 16 的水分利用效率均高于合丰 39。密度为 22.5 万株·hm⁻²时两个品种水分利用效率差异不显著($P = 0.0643$);当密度达到 30.0 万株·hm⁻²时两个品种水分利用效率差异达到了显著水平($P = 0.0384$);随着密度继续增加达到 37.5 万株·hm⁻²时两个品种水分利用效率差异达到了极显著水平($P = 0.0042$)。由此可见随着密度增大水分利用效率变化速度慢是耐密植大豆品种的一个重要特性。

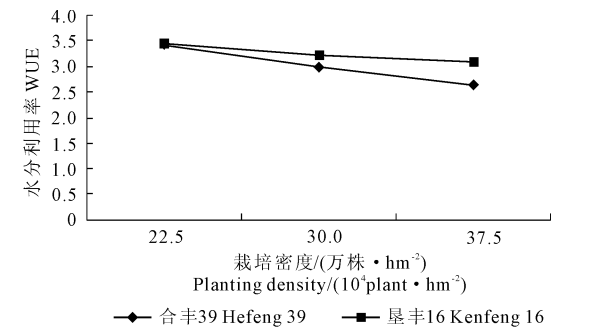


图 5 种植密度对大豆水分利用效率的影响

Fig.5 Effect of planting density on leaf WUE

2.6 产量变化

图 6 可以看出,在 3 种密度条件下耐密品种垦丰 16 的产量一直高于常规品种合丰 39;随着密度增加耐密品种垦丰 16 产量逐渐增加,当密度达到 30.0 万株·hm⁻²时,产量较 22.5 万株·hm⁻²增加 1.69%;密度为 37.5 万株·hm⁻²时,产量较 22.5 万

株·hm⁻²增加 6.78%。不耐密品种合丰 39 随着密度增加,产量呈现先上升后降低的趋势,密度为 30.0 万株·hm⁻²时,产量较 22.5 万株·hm⁻²增加 1.299%;密度为 37.5 万株·hm⁻²时,产量较 22.5 万株·hm⁻²降低 15.84%。当种植密度为 22.5 万株·hm⁻²和 30.0 万株·hm⁻²时,两个品种之间产量差异不显著($P = 0.0642$, $P = 0.0724$);密度为 37.5 万株/hm²时,两个品种之间产量差异达到极显著水平($P = 0.0024$)。

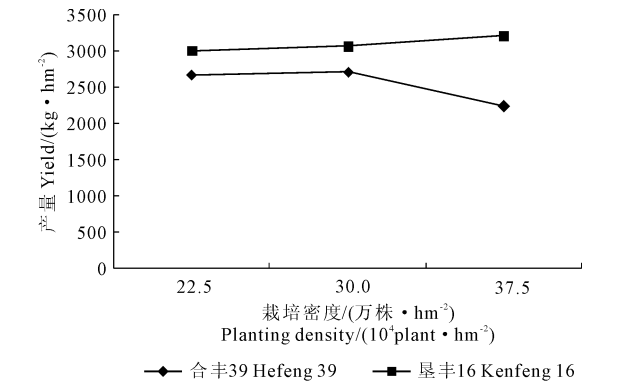


图 6 种植密度对产量的影响

Fig.6 Effect of planting density on yield

3 讨 论

良好的冠层结构应该是具有很好的通风透光能力,而叶柄长度决定着大豆群体空间分布,是影响冠层结构的重要因素。赵团结^[9]等研究认为,选育叶柄短的大豆品种是改良大豆株型的一个有效途径,张惠君^[8]认为,不同密度条件下,大豆叶柄长度随着密度的增加而增加,但耐密性不同的品种之间存在差异,耐密性强的品种叶柄长度增加的幅度小。本研究结果表明,随着密度增加垦丰 16 叶柄长度增加的幅度小,与前人研究结果高度一致。叶形指数与大豆冠层的通风透光能力密切相关^[1,8],张惠君^[8],

谢甫绀^[14]等研究认为耐密植品种随着密度增加叶形指数变小,本研究结果表明,耐密植品种垦丰 16 的叶形指数在 3 种密度条件下都高于合丰 39 号,尤其是在密度达到 37.5 万株·hm⁻²时垦丰 16 上层叶片的叶形指数较合丰 39 高,更有利于通风透光,因而垦丰 16 在高密度条件下可以生产更多的干物质,这与前人研究结果一致。

肖万新^[1],张惠君^[8]等研究认为,耐密性不同的大豆品种叶片净光合速率均呈现随着密度增加而递减的趋势,但不同品种之间存在差异,耐密性品种净光合速率下降较慢。本研究垦丰 16 随着密度增加光合速率较合丰 39 下降幅度小,因而更适于密植栽培,与前人研究结论相一致。前人研究结果表明,叶绿素含量与光合速率呈正相关关系,叶绿素含量的高低直接影响光合速率,耐密植品种往往后期叶片叶绿素含量高^[8,15]。本研究不耐密植品种合丰 39 随着密度增大,叶色值的峰值提前,而耐密植品种垦丰 16 的叶色值出现时期没有明显变化,且生育后期耐密品种的叶色值高于普通品种,表现出很强的持绿性,结论与前人研究结果一致。水分利用效率与大豆进行光合速率呈正相关关系,因此水分利用率高低与大豆光合产物积累密切相关^[10]。本研究耐密植品种垦丰 16 随着密度增加水分利用效率下降幅度较不耐密品种合丰 39 小,因此在密植条件下垦丰 16 能够保持更高的光合效率。可以认为,耐密植品种在高密度下能够积累更多的干物质。

(上接第 165 页)

参 考 文 献:

[1] 武志杰,张海军,许广山,等.玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J].应用生态学报,2002,13(5):539-542.

[2] 陈尚洪,朱钟麟,吴 婕,等.紫色土丘陵区秸秆还田腐解特征及对土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2006,20(6):141-144.

[3] 朱玉芹,岳玉兰.玉米秸秆还田培肥地力研究综述[J].玉米科学,2004,12(3):106-108.

[4] 关兴照,李成泰.秸秆直接还田试验应用效果研究[J].杂粮作物,2002,(5):309-310.

[5] 王 宁,闫洪奎.不同量秸秆还田对玉米生长发育及产量影响研究[J].玉米科学,2007,15(15):100-103.

[6] 杨 松,陈 强,等.超吨粮田中玉米植株性状与穗粒重的关系[J].华北农学报,1994,(3):112-116.

[7] 才惠文.玉米秸秆还田试验总结[J].北京农业,2011,(11):140-141.

参 考 文 献:

[1] 肖万欣,谢甫绀,张惠君,等.不同肥力和密度处理对超高产大豆品种光合特性和产量的影响[J].中国油料作物学报,2009,31(2):190-195.

[2] 王志新,郭 泰,吴秀红,等.密度和施肥水平对高产高油大豆合丰 55 油分含量及产量的影响[J].大豆科学,2011,30(4):602-605.

[3] 张晓艳,杜吉到,郑殿峰,等.密度对大豆群体叶面积指数及干物质积累分配的影响[J].大豆科学,2011,31(1):96-100.

[5] 张玉先,罗 奥,祁倩倩,等.不同耕作措施对大豆光合特性和产量影响[J].土壤通报,2010,41(3):672-677.

[6] 谢甫绀.大豆生理与遗传改良[M].北京:中国农业出版社,2011:45-50.

[7] 王 昱,范杰英,王 玮,等.不同密度对大豆生理特性影响[J].黑龙江省农业科学,2012,(8):38-40.

[8] 张惠君,林海波,马野夫,等.耐密植大豆品种沈农 12 叶片性状研究[J].大豆科学,2010,29(2):233-237.

[9] 赵团结,邱家训,盖钧镞,等.大豆不同来源短叶柄性状的遗传和有关农艺性状表现[J].中国油料作物学报,1999,21(3):19-22.

[10] 王金凌,杨庆凯,吴宗璞.中国东北大豆[M].哈尔滨:黑龙江科学出版社,1999:53-93.

[11] 王继安,王金阁.大豆叶面积垂直分布对产量及农艺性状影响[J].东北农业大学学报,2000,31(1):14-19.

[12] 阎秀峰,许守民,苗以农.大豆光合生理生态研究(第 13 报):大豆叶片光合速率和水分利用效率[J].大豆科学,1990,9(3):221-227.

[13] 张建新,翟云龙,薛丽华.密度对高产春大豆生长动态及干物质积累分配的影响[J].大豆科学,2006,5(1):1-5.

[14] 谢甫绀,王 贺,张惠君,等.不同密度处理对超高产大豆辽豆 14 的影响[J].大豆科学,2008,2(1):61-68.

[15] 程伟燕,李志刚,李瑞平.密度对大豆光合特性和产量的影响[J].作物杂志,2010,(4):69-71.

[8] 山东农学院.作物栽培学[M].北京:农业出版社,1980:169-258.

[9] 张 雷,牛芬菊,李小燕,等.旱地全膜双垄沟播秋覆膜对玉米产量和水分利用率的影响[J].甘肃农业科学,2009,10(3):74-78.

[10] 慕 平,张恩和,王汉宁,等.连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J].水土保持学报,2010,25(5):81-85.

[11] 徐文强,杨祁峰,牛芬菊,等.秸秆还田与覆盖对土壤理化特性及玉米生长发育的影响[J].玉米科学,2013,21(3):87-93.

[12] 徐国伟,常二华,蔡 建.秸秆还田的效应及影响因素[J].耕作与栽培,2005,(1):6-9.

[13] 张 赛,王龙昌.秸秆还田方式对土壤呼吸和作物生长发育的影响[J].西南大学学报(自然科学),2013,35(11):43-48.

[14] 陈芝兰,张治平,蔡晓布,等.秸秆还田对西藏中部退化农业田土壤微生物的影响[J].土壤学报,2005,42(4):696-699.