



不同产量水平大豆群体光合特性和产量构成差异研究

雷伟侠, 韦志, 孔令聪, 黄志平, 杜祥备

(安徽省农业科学院 作物研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:为探讨不同产量水平大豆品种的产量构成因子、功能叶 SPAD 值、冠层叶面积指数(LAI)和光能截获率(LI)的差异,本研究以产量为依据,采用方差分析法将 12 份大豆品种划分为高产型、中产型和低产型,比较不同产量水平大豆产量构成因子、SPAD 值、LAI 及 LI 的差异特征。结果表明:(1)不同产量水平大豆品种 SPAD 值、LI 和 LAI 变化趋势基本一致,均呈单峰曲线,但生育后期 SPAD 值、LI、LAI 下降速率不同,表现为高产型 < 中产型 < 低产型。全生育期平均 SPAD 值、LI、LAI 均表现为高产型 > 中产型 > 低产型;(2)不同产量水平大豆品种百粒重和单株荚数无显著差异,而单株粒数表现为高产型 > 中产型 > 低产型;(3)高产大豆品种的产量构成因子和 SPAD 值、LAI、LI 指标范围分别为:百粒重为 20.9 ~ 25.8 g、单株荚数为 30.1 ~ 35.7、单株粒数为 58.9 ~ 70.1,全生育期平均 SPAD 值、LAI 和 LI 分别为 37.4 ~ 38.1、3.0 ~ 3.1 和 81.5% ~ 91.2%。研究结果表明生育后期叶片衰老缓慢,SPAD 值保持较高水平,群体 LAI 和 LI 较高,拥有较高光合物质生产能力是实现高产的主要生理基础。

关键词:大豆;产量水平;群体特征;光合特性

Differences of Photosynthetic Characteristics and Yield Components of Soybean Population at Different Yield Levels

LEI Wei-xia, WEI Zhi, KONG Ling-cong, HUANG Zhi-ping, DU Xiang-bei

(Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to explore the differences of the main yield factors and functional leaf SPAD value, canopy leaf area index (LAI) and light interception rate (LI) of soybean at different yield levels in Anhui Province. In this study, 12 soybean varieties were divided into high yield level, middle yield level and low yield level by the analysis of variance based on yield, and then the yield factors, SPAD value, LAI and LI of the three levels were compared and analyzed. The results show that: (1) The dynamic trends of SPAD value, LI and LAI of soybean varieties at different yield levels showed a single peak curve. However, the decline rates of SPAD value, LI and LAI were different at the later growth stage. The decreasing rate of SPAD value, LI and LAI of high-yield level was lower than that of middle yield level, and the decreasing rate of SPAD value, LI and LAI of middle yield level was lower than that of low yield level. The SPAD value, LI and LAI of high yield level were larger than those of middle yield level, and the middle yield level were larger than those of low yield level. (2) There were no significant differences in 100-seed weight and pod number per plant among soybean varieties at different yield levels. But the seeds number per plant of high yield level was greater than that of middle yield level, and the seeds number per plant of middle yield level was greater than that of low yield level. (3) The yield components and SPAD value, LAI and LI index ranges of high-yield level were proved to be: The SPAD value, LAI and LI were 37.4-38.1, 3.0-3.1 and 81.5%-91.2% during the whole growth period, respectively. The slow leaf senescence, high SPAD value, high LAI and LI, and high photosynthetic capacity in the late growth period were identified as the main physiological basis for high yield.

Keywords: Soybean; Yield level; Population characteristics; Photosynthetic characteristics

安徽省常年种植大豆面积约为 80 万 hm^2 , 面积居全国第 2 ~ 3 位^[1], 在我国大豆生产上占据重要地位。安徽淮北地区属于黄淮海流域夏大豆亚区, 温带半湿润地区, 气候温和, 雨量适中, 光照充足, 四季分明, 适宜大豆种植, 种植面积约占全省的 80% ~ 90%^[1], 是我国高蛋白大豆优势生产区域^[1-2]。但由于安徽省大豆生产集约化水平较低、种植分散、配套技术创新不足、品种多且杂、单产水平差异

大, 缺乏高产稳产抗逆品种^[1], 生产比较效益较低, 限制了该地区大豆产业的发展。

大豆籽粒的形成取决于光合产物的积累及分配, 与群体光合面积、时间及光能截获密切相关。不同产量水平大豆品种产量的差异由群体光能截获利用不同造成。目前关于大豆生长发育及群体产量^[3]、冠层特性^[4-6]、光合速率^[7-10]和栽培因子的关系^[11-12]、生物量的积累^[13-19]、单一大豆品种冠层

收稿日期: 2021-07-21

基金项目: 安徽省 115 产业创新团队; 国家大豆产业技术体系建设专项(CARS-04-PS07); 安徽省油料体系建设专项; 安徽省重大科技专项(18030701178)。

第一作者: 雷伟侠(1972—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事油料作物遗传育种及栽培研究。E-mail: leiweixia2010@126.com。

通讯作者: 杜祥备(1987—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事作物栽培生理生态研究。E-mail: duxiangbei@126.com。

特性与产量性状^[20-23]等方面研究较多,而对不同产量水平的大豆产量因子及功能叶 SPAD 值、冠层叶面积指数(LAI)和光能截获率(LI)特性研究尚鲜见报道。为充分发挥光、温等自然条件及品种的优势和利用价值,有必要对不同产量水平大豆产量因子及其群体光合特性进行研究。本研究可为淮北地区夏大豆高产栽培管理、筛选适宜淮北地区种植的优质高产高效大豆及品种选育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆为安徽省淮北地区近年来主栽和最近两年审定的 12 个品种(系),分别为安徽省农业科学院选育的皖豆 37(皖审豆 2016010)、河北邯郸农业科学院选育的邯豆 13(冀审豆 20180001)和邯豆 15(冀审豆 20190004)、中国农业科学院作物科学研究所选育的中黄 302(皖审豆 2018006)、中黄 37(国审豆 2015007)、中黄 39(国审豆 2013016)、中黄 35(国审豆 2007016)、中黄 31(2005 年 3 月北京市农作物品种审定委员会审定)和中黄 13(国审豆 2001009)、山东省菏泽市农业科学院选育的荷豆 33(国审豆 20200039)、山东省圣丰种业科技有限公司选育的圣豆 10 号(国审豆 20190025)和宿州农业科学院新育成品系皖宿 0371。

1.2 试验设计

试验在安徽省蚌埠市怀远县龙亢农场(32°60'N, 116°70'E)进行,地处安徽淮北平原,属温暖带半湿润季风气候区,光、热、水资源较为丰富,年平均气温 14.81℃,年平均降水量 860 mm,日照时数 2 315.8 h。前茬作物小麦,土壤为砂姜黑土,肥力均匀,速效氮含量为 143.6 mg·kg⁻¹,速效磷 17.9 mg·kg⁻¹,速效钾 159.3 mg·kg⁻¹。

采用随机区组设计,小区长 12 m、宽 8 m,行距 0.4 m,小区面积 96 m²,3 次重复。N、P₂O₅、K₂O 均作为底肥于整地时一次性施入,施肥量均为 45 kg·hm⁻²。2020 年 6 月 13 日播种,出苗后定苗 27 万株·hm⁻²。其它栽培管理措施按照高产优质要求统一实施。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 SPAD 值 分别于 2020 年 7 月 12 日(初花期)、7 月 23 日(结荚期)、8 月 13 日(鼓粒初期)、

8 月 30 日(鼓粒期)、9 月 15 日(鼓粒后期)上午 9:00—11:00 用 Minolta SPAD502 叶绿素计仪器测定功能叶叶绿素含量相对值(SPAD 值),每小区测 10 株。

1.3.2 冠层结构及光能截获率 分别于 2020 年 7 月 23 日(结荚期)、8 月 13 日(鼓粒初期)、8 月 30 日(鼓粒期)选取 5 个测试点,调查 2 m²大豆的实际株数,在测试点内选取有代表性植株 10 株,测量叶面积,计算叶面积指数(LAI = 叶片总面积/土地面积)。

分别于 2020 年 7 月 12 日(初花期)、7 月 23 日(结荚期)、8 月 13 日(鼓粒初期)、8 月 30 日(鼓粒期)、9 月 15 日(鼓粒后期)选取 5 个测试点,于 11:00—13:00 使用 SunScan 冠层分析仪,测定地面(后期为最下面一层绿叶)、冠层顶部 10 cm 处的光合有效辐射量,计算光能截获率(LI),每小区重复测量 10 次。 $LI(\%) = (\text{顶部太阳光总辐射量} - \text{基部太阳光总辐射量}) / \text{顶部太阳光总辐射量} \times 100$ 。

1.3.3 产量与产量构成因子 于 9 月底收获,同时调查每小区实收密度、取 20 株调查单株有效结荚数、单株粒数和百粒重。每小区选取中间 2 行实收测产。

1.4 数据分析

使用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 进行数据处理、图表绘制及统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同产量水平大豆的产量及其构成因子表现

根据 12 份材料产量的方差分析结果将其分为高产型、中产型和低产型。其中荷豆 33、中黄 39、中黄 37 和皖豆 37 为高产型,产量为 3 324.0 ~ 3 980.1 kg·hm⁻²;圣豆 10、邯豆 15、中黄 13、中黄 35、皖宿 0371 和中黄 31 为中产型,产量为 2 914.0 ~ 3 169.1 kg·hm⁻²;中黄 302 和邯豆 13 为低产型,产量为 2 429.9 ~ 2 576.0 kg·hm⁻²。高产型、中产型和低产型材料分别占总材料的 33.3%、50.0% 和 16.7%。高产型材料平均产量为 3 578.4 kg·hm⁻²,分别较中产型和低产型产量高 17.55% 和 42.96%;中产型平均产量为 3 044.0 kg·hm⁻²,较低产型产量高 21.62%(表 3)。

表 1 不同产量水平大豆的产量和其构成因子
Table 1 The yield and yield factors of soybean at different yield levels

产量水平类型 Yield level type	品种 Cultivar	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)
高产型 High yield type	菏豆 33 Hedou 33	30.1 d	70.1 a	23.4 b	3980.1 a
	中黄 39 Zhonghuang 39	31.8 cd	59.6 b	22.7 b	3560.2 ab
	中黄 37 Zhonghuang 37	35.7 c	63.4 b	25.8 a	3449.1 b
	皖豆 37 Wandou 37	32.3 cd	58.9 b	20.9 b	3324.0 b
	平均 Mean	32.5 ± 2.3	63.0 ± 5.1	23.2 ± 2.0	3578.4 ± 284.7
中产型 Middle yield type	中黄 13 Zhonghuang 13	32.3 cd	56.9 b	22.1 b	3169.1 c
	邯豆 15 Handou 15	41.8 a	60.6 b	22.9 b	3131.5 c
	圣豆 10 Shengdou 10	33.7 c	62.8 b	23.3 b	3078.4 cd
	中黄 35 Zhonghuang 35	39.8 ab	70.7 a	18.4 c	2990.7 d
	皖宿 0371 Wansu 0371	34.5 c	51.6 c	21.8 b	2980.4 d
低产型 Low yield type	中黄 31 Zhonghuang 31	38.1 b	62.6 b	19.9 bc	2914.0 d
	平均 Mean	36.7 ± 3.8	60.9 ± 6.4	21.4 ± 1.9	3044.0 ± 98.2
	中黄 302 Zhonghuang 302	30.2 d	49.5 c	23.1 b	2576.0 e
	邯豆 13 Handou 13	30.4 c	41.4 d	23.7 ab	2429.9 e
	平均 Mean	30.3 ± 0.1	45.5 ± 5.8	23.4 ± 0.4	2503.0 ± 103.3
平均 Mean		34.2 ± 3.9	59.0 ± 8.4	22.3 ± 1.9	3131.9 ± 419.6

同列不同小写字母表示 $P>0.05$ 水平差异显著。下同。
Different lowercase in the same column indicate significant differences at $P>0.05$ level. The same below.

由表 1 可知,不同产量水平类型间单株粒数差异明显,高产型单株粒数最多,为 58.9 ~ 70.1 粒,平均 63 粒;其次为中产型,为 60.9 粒;低产型最少,为 45.5 粒。高产型百粒重平均为 23.2 g,较中产型高 1.8 g,与低产型(23.4 g)差异不大。中产型单株荚数最高,平均为 36.7,较高产型和低产型分别高产 4.2 和 6.4。

2.2 不同产量水平大豆功能叶的 SPAD 值

如图 1 所示,随着生育期的推移,不同产量水平大豆 SPAD 值均呈现先升后降的单峰趋势变化,且达到顶峰时间一致,但不同产量水平品种 SPAD 值

上升或下降的速率不一致,高产型前期上升速率最快且后期下降速率最慢。大豆全生育期 SPAD 值表现为高产型最高,其次为中产型,最低为低产型。不同产量水平类型大豆在初花期至鼓粒期以前功能叶 SPAD 值差异不明显,在鼓粒后期差异显著。高、中、低产型在鼓粒后期 SPAD 值分别为 28.5, 23.0 和 10.2,高产型较中、低产型分别高 24.0% 和 178.2%,而中产型较低产型高 124.4%。说明高产型生育后期维持较高的 SPAD 值,保证群体能获取足够光能,提高光合作用能力,利于产量形成。

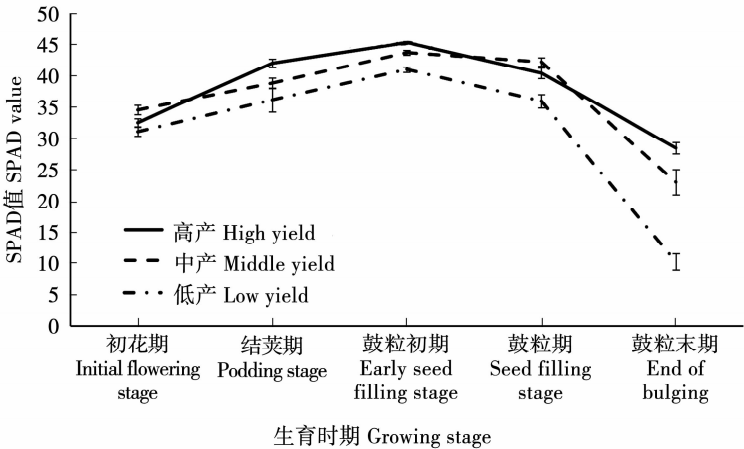


图 1 不同产量水平大豆功能叶 SPAD 值变化趋势

Fig. 1 The dynamic tendency of SPAD value of the functional leaves of different yield level type

2.3 不同产量水平大豆群体冠层叶面积指数

由表 2 可知,不同产量水平大豆叶面积指数 (LAI)变化趋势表现一致,LAI 随着生育期的进程表现单峰曲线变化。生育前期大豆 LAI 随着植株的

旺盛生长而逐渐增加,到鼓粒期初期达到顶峰,生育后期由于叶片衰老变黄脱落,LAI 逐渐降低。生育前期,不同产量水平类型 LAI 增长速率表现为高产型 > 低产型 > 低产型;生育后期,LAI 衰减速率表

现为高产型 < 中产型 < 低产型。

大豆全生育期 LAI 表现为高产型最高,其次为中产型,最低为低产型。结荚期,中产型 LAI 最高,其次为低产型,最低为高产型,中产型较低产型高 2.4%,二者差异不明显,较高产型高 12.8%。鼓粒初期中、高产型 LAI 几乎无差异,分别高于低产型

7.5% 和 6.9%。鼓粒期 3 类之间 LAI 差异明显,表现为高产型 > 中产型 > 低产型,高产型分别比中、低产型高 28.8% 和 86.4%。说明生育前期 LAI 的高低和大豆最终产量无关,而生育后期 LAI 的高低对大豆产量至关重要。

表 2 不同产量水平大豆叶面积指数

Table 2 The LAI of soybean of different yield level types

产量水平类型	结荚期	鼓粒初期	鼓粒期	平均
Yield level type	Podding stage	Early seed filling stagen	Seed filling stage	Mean
高产型 High yield type	1.88 ± 0.23 b	4.70 ± 0.06 a	2.46 ± 0.18 a	3.01 ± 0.05 a
中产型 Middle yield type	2.12 ± 0.42 a	4.67 ± 0.26 a	1.91 ± 0.47 b	2.90 ± 0.12 ab
低产型 Low yield type	2.07 ± 0.54 a	4.37 ± 0.27 b	1.32 ± 0.05 c	2.58 ± 0.29 b

2.4 不同产量水平大豆冠层光能截获率

由图 2 可知,不同产量水平大豆品种 LI 随着生育进程推进均表现为先缓慢上升到最高值,又缓慢下降,然后迅速下降的变化趋势。从鼓粒期始,不同产量水平大豆类型 LI 显著降低,产量越高下降速率越低。大豆全生育期高产型的平均 LI 最高,其次

为中产型,最低为低产型。不同产量水平大豆 LI 在初花期至鼓粒期以前差异不明显,在鼓粒后期差异显著。鼓粒后期,高产型 LI 平均 56.7%,中、低产型分别为 16.03% 和 0%。说明高产型生育后期维持较高的 LI,保证群体能获取足够光能,提高光合作用能力,利于产量形成。

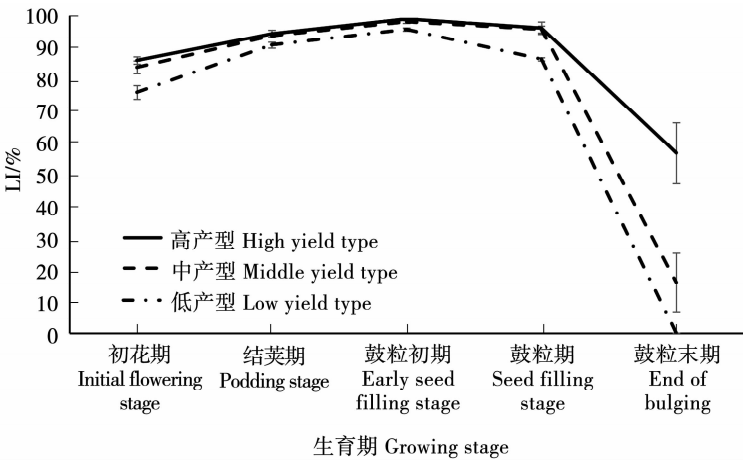


图 2 不同产量水平大豆群体 LI 变化趋势

Fig. 2 The dynamic tendency of LI of different yield level types

2.5 不同产量水平大豆各指标的相关分析

由表 3 可知,产量与 SPAD 值、LI 呈极显著正相关,与单株粒数、LAI 显著正相关;单株粒数与 SPAD

值呈极显著正相关。在生产过程中采用合适的栽培调控措施提高单株粒数、SPAD 值、LAI、LI 利于大豆高产形成。

表 3 不同产量水平大豆各指标的相关分析

相关系数	每株荚数	单株粒数	百粒重	SPAD _m	LAI _m	LI _m
Correlation coefficient	Pods number per plant	Seeds number per plant	100-seed weight			
单株粒数 Seeds number per plant	0.44	1				
百粒重 100-seed weight	-0.40	-0.28	1			
SPAD _m	0.27	0.76 * *	-0.03	1		
LAI _m	0.04	0.48	-0.19	0.68 *	1	
LI _m	-0.21	0.49	0.05	0.74 * *	0.74 * *	1
产量 Yield	-0.07	0.70 *	0.18	0.86 * *	0.64 *	0.88 * *

$R_{0.05} = 0.576, R_{0.01} = 0.707$; * 表示显著相关 ($P < 0.05$); ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$); SPAD_m: 全生育期平均 SPAD 值; LAI_m: 全生育期平均 LAI; LI_m: 全生育期平均 LI。

$R_{0.05} = 0.576, R_{0.01} = 0.707$; * indicate significant correlation ($P < 0.05$); ** indicate significant correlation ($P < 0.01$); SPAD_m: The mean SPAD value in the whole growth stage; LAI_m: The mean LAI in the whole growth stage; LI_m: The mean LI in the whole growth stage.

2.6 高产大豆产量构成及光合指标范围

本研究明确了产量高于 3 324.0 kg·hm⁻² 的产量因子和光合特性的具体指标:产量水平为 3 324.0 ~3 980.1 kg·hm⁻²,单株粒数为 58.9 ~70.1,单株荚数为 30.1 ~35.7,百粒重为 20.9 ~25.8 g,全生育期平均 SPAD 值为 37.4 ~38.1、LAI 值为 3.0 ~3.1、LI 为 81.5% ~91.2%。

3 讨论

大豆产量构成因子主要有单株粒数、单株荚数、百粒重、每荚粒数等,产量构成因子直接影响产量的高低。研究表明,大豆产量与单株粒数呈显著正相关,和百粒重及单株荚数相关性不显著,和前人研究结论一致^[24-25]。但郑洪兵等^[26]认为除单株粒数外,单株荚数对产量影响也很大。荚数是粒数的先决条件,间接说明了单株粒数对大豆产量至关重要。高产型大豆单株粒数优于中、低产型,具有明显优势,未来提高产量的技术途径应将提高单株粒数作为首要目标或者选择单株粒数高的品种。李灿东等^[27]对黑龙江省不同大豆品种研究发现,单株荚数、每荚粒数和单株粒重与产量正相关,单株粒数和产量相关不显著,本研究结果与其不一致,估计与试验环境、试验群体大小及基因型有关。黑龙江省属东北春大豆亚区,品种多为无限结荚习性或亚有限结荚习性,感光性比黄淮海流域夏大豆弱,且植株普遍高大,多分枝,单株粒数多且分布范围广。而安徽淮北地区属黄淮海流域夏大豆亚区,大豆品种多为有限结荚习性,感光性较强。

大豆产量不仅与产量构成因子有关,还与生长发育过程中冠层截获光合有效辐射、冠层结构和群体光合生产能力密切相关^[4-5,11-15]。叶片是植物光合的主要器官,冠层 LAI 反映植物群体生长的重要指标,与生物量生产有着极为密切的关系^[14,9-12],作物生育后期叶片保持较长时间的功能期,可以增加生物量的生产,利于产量形成^[6]。本研究结果显示产量与 SPAD 值、LI 呈极显著正相关,与 LAI 显著正相关,与前人研究结果一致^[6,15-16]。高产型大豆功能叶 SPAD 值、LAI、LI 均优于中、低产型,具有明显优势。高产型盛荚期之前叶片增长速度快,生育后期(盛荚期之后)叶片衰老缓慢、LAI 下降缓慢,尤其是鼓粒期到成熟始期维持较高的 LAI 和 SPAD 值,有利于拦截更多的光能,提高光合产物的积累,为产量形成提供物质保证。生产上可在大豆生育中后期保证营养,实施促控措施以延缓叶片衰老,增加粒数、粒重,从而提高产量。

4 结论

本研究明确了在安徽省淮北地区单株粒数对大豆产量形成至关重要。明确高产品种的群体特征,探明了较高的 SPAD 值、LAI、LI 是其获得较高产量的生理基础,尤其是生育后期叶片衰老缓慢,SPAD 值保持较高水平,群体 LAI 和 LI 较高,拥有较高光合物质生产能力,是实现高产的主要生理基础。

参考文献

[1] 杜祥备,黄志平,于国宜,等.安徽省大豆产业可持续发展中的问题及对策[J].农学学报,2019,9(11):78-83. (Du X B, Huang Z P, Yu G Y, et al. The present situation, problems and sustainable development strategy of soybean production in Anhui [J]. Journal of Agriculture, 2019, 9(11): 78-83.)

[2] 朱国富,夏英萍.充分利用资源优势,发展安徽高蛋白大豆生产[J].大豆通报,2006,81(2):33,42. (Zhu G F, Xia Y P. Utilizing the superiority in natural resources to develop high protein soybean production in Anhui province [J]. Soybean Bulletin, 2006, 81(2): 33, 42.)

[3] 张晓艳,李建英,郑殿峰,等.不同密度下大豆单株和群体的光合特性[J].大豆科学,2010,29(4):638-640. (Zhang X Y, Li J Y, Zheng D F, et al. Photosynthetic characteristics of individual and population of soybean under different densities [J]. Soybean Science, 2010, 29(4): 638-644.)

[4] 吕书财,徐瑶,陈国兴,等.大豆冠层光合有效辐射叶面积指数及产量对种植密度的响应[J].江苏农业科学,2018,46(18):68-72. (Lyu S C, Xu Y, Chen G X et al. Responses of canopy photosynthetically active radiation leaf area index and yield to planting density of soybean [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(18): 68-72.)

[5] 张晓艳,杜吉到,郑殿峰.密度对大豆群体冠层结构及光合特性的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(4):75-80. (Zhang X Y, Du J D, Zheng D F. Effect of density on canopy structure and photosynthetic characteristics in soybean population [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(4): 75-80.)

[6] 张伟,谢甫绶,张惠君,等.超高产大豆品种辽豆 14 号的冠层特性与产量性状研究[J].中国农业科学,2007,40(11):2460-2467. (Zhang W, Xie F T, Zhang H J, et al. Canopy and yield characteristics of super-high-yielding soybean cv. Liaodou No. 14 [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2460-2467.)

[7] 郑殿君,张治安,姜丽艳,等.不同产量水平大豆叶片净光合速率的比较[J].东北农业大学学报,2010,41(9):1-5. (Zheng D J, Zhang Z A, Jiang L Y, et al. Comparison of net photosynthetic rate in leaves of soybean at different yield levels [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(9): 1-5.)

[8] 郑宝香,满为群,杜维广,等.高光效大豆光合速率与主要光合生理指标及农艺性状的关系[J].大豆科学,2008,27(3):398-401. (Zheng B X, Man W Q, Du W G, et al. Relationship between photosynthetic rate, main photosynthetic characteristics and agronomic characters for high photosynthetic efficiency soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(3): 398-401.)

[9] 赵聪慧,张淑娟,王凤化,等.春大豆叶面积指数与产量的空间变异性及相关分析[J].农机化研究,2010(9):162-165. (Zhao C H, Zhang S J, Wang F H, et al. Spatial variability and correlation

of spring soybean LAI and yield[J]. Agricultural Mechanization Research,2010(9):162-165.)

[10] 孙贵荒,刘晓丽,董丽杰,等. 大豆叶面积指数消长与产量关系的研究[J]. 辽宁农业科学,2003(4):13-14. (Sun G H, Liu X L, Dong L J, et al. Study on the relationship between leaf area index and yield of soybean[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2003(4):13-14.)

[11] 赵双进,张孟臣,杨春燕,等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响Ⅰ. 播期、密度、行株距(配置方式)对产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2002,24(4):29-32. (Zhao S J, Zhang M C, Yang C Y, et al. Effect of culture factors on growth and yield of soybean I. Effect of sowing date, density, space in row and plant space on yield[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2002,24(4):29-32.)

[12] 赵双进,张孟臣,杨春燕,等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响Ⅱ. 肥水、生长调控措施对产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2003,25(2):48-51. (Zhao S J, Zhang M C, Yang C Y, et al. Effect of culture factors on growth and yield of soybean II. Effect of fertilizer application, watering, growth regulate measures on yield[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2003,25(2):48-51.)

[13] 孙贵荒,刘晓丽,董丽杰,等. 高产大豆干物质积累与产量关系的研究[J]. 大豆科学,2002,21(3):199-202. (Sun G H, Liu X L, Dong L J, et al. Studies on the relationship between yield and dry matter accumulation in high yield potential soybean[J]. Soybean Science ,2002,21(3):199-202.)

[14] 邵云,张杰,李春喜,等. 限氮条件下玉米、大豆、花生光能截获和干物质积累分析[J]. 大豆科学, 2021,40(3): 370-378. (Shao Y,Zhang J,Li C X, et al. Analysis of light interception and dry matter accumulation of maize, soybean and peanut under nitrogen restriction[J]. Soybean Science,2021,40(3):370-378.)

[15] 张晓艳,杜吉到,郑殿峰,等. 大豆不同群体叶面积指数及干物质积累与产量的关系[J]. 中国农学通报,2006(11):161-163. (Zhang X Y,Du J D,Zheng D F, et al. Studies on the relationship between yield and leaf area indexand their dry matter accumulation dynamic on the different population [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2006(11):161-163.)

[16] 田艺心,高凤菊,曹鹏鹏,等. 大豆叶面积指数,干物质积累分配与产量的关系[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(5):750-754,758. (Tian Y X, Gao F J, Cao P P, et al. Relationship between leaf area index, dry matter accumulation distribution and yield of soybean [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition),2018,49(5):750-754,758.)

[17] 黄中文,赵团结,盖钧镒. 大豆不同产量水平生物量积累与分配的动态分析[J]. 作物学报,2009,35(8):1483-1490. (Huang Z W, Zhao T J, Gai J Y. Dynamic analysis of biomass accumulation and partition in soybean with different yield levels [J]. Acta Agronomica Sinica,2009,35(8):1483-1490.)

[18] 傅积海,章建新,楚光红,等. 高产春大豆干物质积累与花荚形成的关系研究[J]. 大豆科学,2019,38(2):236-243. (Fu J H, Zhang J X, Chu G H, et al. Study on the relationship between dry matter accumulation and pod formation in high-yielding spring soybean[J]. Soybean Science,2019,38(2):236-243.)

[19] 宋微微,杜吉到,郑殿峰,等. 大豆干物质积累、分配规律的研究进展[J]. 大豆科学,2008,27(6):1062-1066. (Song W W, Du J D, Zheng D F, et al. Research progress on dry matter accumulation and distribution rules of soybean population [J]. Soybean Science,2008,27(6):1062-1066.)

[20] 郑洪兵,徐克章,赵洪祥,等. 吉林省大豆品种遗传改良过程中主要农艺性状的变化[J]. 作物学报,2008,34(6):1042-1050. (Zheng H B,Xu K Z,Zhao H X, et al. Changes of main agronomic traits with genetic improvement of soybean [Glycine max (L.) Merr.] cultivars in Jilin province, China[J]. Acta Agronomica Sinica,2008,34(6):1042-1050.)

[21] 王文斌,孙贵荒,刘晓丽. 辽宁省大豆新老品种主要农艺性状比较研究[J]. 辽宁农业科学,2001(1):11-15. (Wang W B, Sun G H, Liu X L. Comparative study on main agronomic characters of new and old soybean varieties in Liaoning Province [J]. Liaoning Agricultural Sciences,2001(1):11-15.)

[22] 孙贵荒,宋书宏,刘晓丽,等. 辽宁省大豆更替品种主要农艺性状研究[J]. 大豆科学,2001,20(1):30-34. (Sun G H, Song S H, Liu X L, et al. Study on alternation of main agronomic characters released soybean varieties in Liaoning [J]. Soybean Science,2001,20(1):30-34.)

[23] 成雪峰. 黄淮海地区大豆品种主要农艺性状演变分析[J]. 大豆科学,2011,30(4):285-588,595. (Cheng X F. Evolution of soybean major agronomy characters in Huang-Huai-Hai Region [J]. Soybean Science,2011,30(4):285-588,595.)

[24] 郭小红,王兴才,孟田,等. 中国辽宁省和美国俄亥俄州育成大豆品种形态、产量和品质性状的比较研究[J]. 中国农业科学,2015,48(21):4210-4253. (Guo X H, Wang X C, Meng T, et al. Comparison on morphological, yield, and quality traits of soybean cultivars developed in different years from Liaoning and Ohio[J]. Scientia Agricultura Sinica,2015,48(21):4210-4253.)

[25] 张富厚,郑跃进,侯典云,等. 大豆荚粒性状对单株产量的效应分析[J]. 安徽农业科学,2006,34(15):3632-3633,3636. (Zhang F H,Zheng Y J,Hou D Y, et al. Effect analysis of soybean pod characters on yield per plant[J]. Journal of Anhui Agricultural Science,2006,34(15):3632-3633,3636.)

[26] 郑洪兵,刘武仁,郑金玉,等. 大豆在遗传改良过程中某些农艺性状演化的研究进展[J]. 吉林农业科学,2008,33(2):13-16,22. (Zheng H B,Liu W R,Zheng J Y, et al. Progress of studies on some agronomic traits of soybean in genetic improvement [J]. Journal of Jilin Agricultural Science,2008,33(2):13-16,22.)

[27] 李灿东,郭泰,王志新,等. 黑龙江省中东部地区主栽大豆品种产量指标筛选及评价[J]. 作物杂志,2021(2):45-51. (Li C D, Guo T, Wang Z X, et al. Evaluation and determination of yield evaluation indicators of soybean mainly cultivated varieties in the central and eastern of Heilongjiang Province[J]. Crops,2021(2):45-51.)