

密度对高蛋白大豆生长动态及产量的影响

田艺心,高凤菊,王乐政,曹鹏鹏

(德州市农业科学研究院,山东 德州 253015)

摘要:为揭示黄淮海地区高蛋白大豆生长动态及产量的影响,以冀豆 21 为材料,研究了不同种植密度(16.5 万、19.5 万、22.5 万、25.5 万株·hm⁻²)下,高蛋白大豆不同生育期株高、叶面积指数、干物质积累分配等指标生长动态及产量的影响。结果表明:随生育期延长和密度水平增大,株高和叶面积指数均呈上升趋势,均在鼓粒期达到最大;单株及各器官干物质积累量均随密度增加而减小;群体及各器官干物质积累量随密度增加先升高后降低,鼓粒期达到峰值,鼓粒期以后开始下降,以密度 22.5 万株·hm⁻²处理最大;单株及群体积累的干物质前期主要用于营养器官生长,后期主要分配给生殖器官;群体植株产量随密度水平增大先增加后减小,当密度为 22.5 万株·hm⁻²时,群体产量最高,为3 726.67 kg·hm⁻²。

关键词:密度;高蛋白大豆;生长动态;产量

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.03.0385

Effect of Plant Density on Growth Tendency and Yield of High Protein Soybean

TIAN Yi-xin, GAO Feng-ju, WANG Le-zheng, CAO Peng-peng

(Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253015, China)

Abstract: In order to explore the effect of plant density on growth tendency and yield of high protein soybean in Huang-Huai-Hai region, the changing trends of plant height, leaf area index (LAI), dry matter accumulation and distribution, and yield of high protein soybean (Jidou 21) with different growing stages and densities were studied in this experiment. The result showed that with the growing period and density rised, the plant height and LAI increased, which reached the highest at seed filling period. The dry matter accumulation of single plant and that in different organs were all decreased with the increase of density, but that of group stage were increased firstly and then decreased, which reached its peak value with 2.25 × 10⁵ plants·ha⁻¹ at seed filling period, and then reduced after seed filling period. The distribution of dry matter was mainly used for vegetative growth at early stage, later transferred to reproductive growth. The yield of group plants also increased firstly and then decreased, the comprehensive performance of 2.25 × 10⁵ plants·ha⁻¹ was the best, with the yield of 3 726.67 kg·ha⁻¹.

Keywords: Density; High protein soybean; Growth tendency; Yield

近年来国内外市场对大豆蛋白消费逐年猛增,对高蛋白大豆的需求也日益增加,高蛋白大豆品种的选育和栽培已成为目前大豆育种者和生产者关注的重点^[1]。黄淮海地区已选育出一大批优良的高蛋白大豆品种,但高蛋白大豆优势产量和品质的发挥受环境条件和栽培措施影响很大,在不同地区性状表现参差不齐。因此,按照国家精准化农业栽培技术的要求,在培育出优质品种的同时,研究其高产高效的配套栽培技术至关重要。早在1992年,孟祥勋等^[2]研究发现,在适宜密度范围,大豆群体产量相对稳定,密度过高过低对大豆产量均产生不利影响。邱强等^[3]对吉林中部区域大豆进行密度研究,发现大豆产量最高时,无限结荚习性分枝大豆品种适宜种植密度为35万株·hm⁻²,亚有限结荚习性主茎型大豆品种适宜种植密度为20万株·hm⁻²。杜吉到等^[4]研究了半干旱地区3个大豆品种,3个种

植密度对产量的影响,发现密度会影响品种株型生长及叶面积指数,不同品种和密度对产量的影响均达到显著水平。张永强等^[5]对大豆品种进行了5种不同种植密度的比较,发现中等密度(52.5万株·hm⁻²)下大豆光合特性较强,籽粒产量最高。张瑞朋等^[6]发现在密度25万株·hm⁻²时,铁丰31、沈农12和铁豆63株高等农艺性状表现较好,大豆籽粒产量最高。孙国伟等^[7]也发现,合农60在密度为45万株·hm⁻²时,垦丰16和合丰55在30万株·hm⁻²时植株主茎节数,株高等生长性状表现最好,籽粒产量最高。众多研究表明,合理密植能充分发挥个体生产潜力,促进大豆单位面积产量提高,是提高大豆产量的重要举措之一,也是新品种推广利用的首要栽培措施之一。

另外,干物质积累一直是高产大豆重要生长参数之一,干物质的积累及分配状况直接影响大豆生

收稿日期:2017-01-17
基金项目:山东省现代农业产业技术体系杂粮创新团队建设项目(SDAIT-5-01)。
第一作者简介:田艺心(1986-),女,博士,农艺师,主要从事种子科学、大豆栽培育种等方面研究。E-mail:tyxin213@sina.com。
通讯作者:高凤菊(1969-),女,硕士,推广研究员,主要从事大豆及杂粮杂豆的栽培育种研究。E-mail:gjf1970@126.com。

长状态及产量高低。邓贵仁等^[8]研究证实,分枝型品种干物质日积累量在开花期升高,结荚期下降,鼓粒期又升高,而主茎型品种干物质日积累量在开花、结荚、鼓粒均保持平稳。胡根海等^[9]发现,在物质积累与分配上,结荚至鼓粒盛期最多,而分配则是从结荚期开始。张晓燕等^[10]认为,不同密度下,干物质积累量会出现差异,导致干物质向籽粒分配量不同,造成产量出现高低。近年来,对大豆干物质积累研究多集中在水肥方面^[11-15],此类研究较适用于已广泛推广利用的大豆品种,对于新育成或推广利用范围较小的大豆品种,从密度等基础栽培措施研究,对其进一步推广利用具有重要意义。因此,本文以黄淮海地区优质高蛋白种质资源为材料,以产量效益为目标,采用不同种植密度,对高蛋白大豆生长发育、干物质积累等重要生理参数进行研究,旨在为黄淮海地区高蛋白大豆的充分推广利用提供栽培依据和理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

选用高蛋白大豆新品种冀豆 21,该品种通过轮回方法培育而成,蛋白质含量 45.38% (超过国家高蛋白 45% 标准),脂肪含量为 17.87%,由河北省农林科学研究院粮油作物研究所提供。

1.2 试验设计

试验于 2016 年在德州市农业科学研究院科技园试验基地进行,试验土壤为壤土,有机质含量 9.96 g·kg⁻¹、全氮 0.38 g·kg⁻¹、速效氮 58 mg·kg⁻¹、速效磷 7.98 mg·kg⁻¹、速效钾 99 mg·kg⁻¹,pH7.6。前茬为冬小麦,麦收后秸秆还田。采用随机区组设计,以密度为试验因素,设置 16.5 万、19.5 万、22.5 万和 25.5 万株·hm⁻² 4 个水平,分别用 B1、B2、B3 和 B4 表示。出苗后第 14 天,严格按试验密度定苗。试验每个处理设置 3 次重复,共 12 个小区。小区行距 0.4 m,行长 6.25 m,6 行区,小区面积 15 m²。重复间设走道 1 m,四周设保护行。按照当地生产管理水平进行田间管理,各小区田间操作保证一致。田间固定 5 植株,分别在 R2、R4、R6、R8 时期测量株高,在 R2、R4、R6、R7 期采用干重法测定叶面积。连续选取 10 株植株将子叶节以上部分各器官分开烘干称重,装入袋中,105℃ 条件下杀青 30 min,然后在 80℃ 条件下烘至恒重,计算单株及各器官干物质积累量。成熟后选取 10 株植株进行室内考种及产量测定。对试验小区分别实收测产,取中间 4 行计产(计产面积 10 m²),脱粒后自然晒干,称量小区籽粒产量折合成公顷产量。

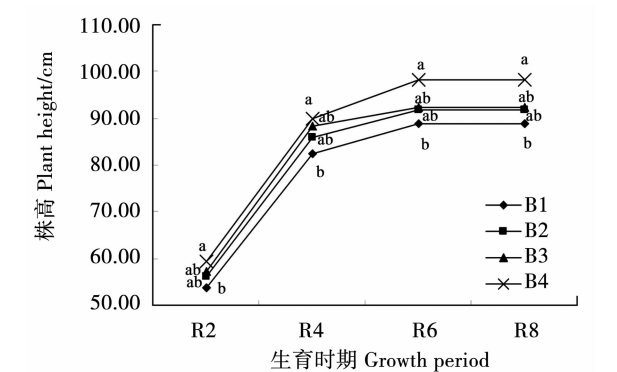
1.3 数据分析

利用 SPSS 15.0 和 Excel 2007 对所得数据进行统计分析,处理平均数间差异显著性采用 LSD ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 密度对高蛋白大豆株高动态变化的影响

由图 1 可以看出,在同一生育时期,株高均表现为密度 B4 > B3 > B2 > B1,且 B4 较显著高于 B3 和 B2,显著高于 B1(各生育时期 B4 均比 B1 高 10% 左右);B3 和 B2 较显著高于 B1。在同一种植密度下,株高随生育期延长,生长趋势均表现一致,R2 ~ R4 期植株生长迅猛,生长速率在 B1、B2、B3、B4 密度水平分别为 53.29%、53.15%、54.34%、51.46%;R4 ~ R6 期株高生长速率减慢,在 B1、B2、B3、B4 密度水平分别为 7.99%、6.72%、4.77%、8.97%;R6 期株高达到最高;到 R8 期,植株成熟,株高已无太大变化。对株高与密度进行相关性分析发现,R2 与 R4 期株高与密度之间呈极显著正相关关系(r 均为 0.99**),R6 与 R8 期株高与密度呈显著正相关关系(r 为 0.95*)。



不同小写字母表示同一生育时期不同密度株高在 5% 水平差异显著性。下同。
Different lowercase mean plant height of different densities were significantly different at 0.05 level at the same period. The same below.

图 1 不同密度下高蛋白大豆株高动态变化
Fig. 1 The changing trends of height of high protein soybean in different density

2.2 密度对高蛋白大豆叶面积指数动态变化的影响

如图 2 所示,各生育时期叶面积指数随密度增加呈增加的趋势。在不同密度水平,R2、R4、R6、R7 期叶面积指数均表现为 B4 > B3 > B2 > B1;在 R2、R6、R7 期,B4 叶面积指数显著高于 B2 和 B1,较显著高于 B3。B3 较显著高于 B2,B2 显著高于 B1;在 R4 期,不同密度水平间叶面积指数均出现显著差异。在同一密度水平下,叶面积指数随生育期延长

大致呈单峰趋势,在 R6 期达到峰值,其后略有降低。对叶面积指数和密度进行相关分析发现,R2、R4、R6、R8 期与密度均呈极显著相关,相关系数 r 分别为 0.99**、0.98**、0.98**、0.96**。

2.3 密度对高蛋白大豆单株干物质积累及分配的影响

由表 1 可以看出,在 R2、R4、R6、R8 期,单株和叶、茎、叶柄、荚器官干物质积累量均随密度增加而减小,且随着密度的增加,单株叶片及荚占各阶段干物质比率逐渐减小,茎及叶柄所占比重逐渐增大。R2 期干物质积累量大小及分配比重为叶片 > 茎 > 叶柄;R4 期表现为茎 > 叶片 > 叶柄 > 荚;R6 期表现为荚 > 茎 > 叶片 > 叶柄;R8 期叶片及叶柄变黄脱落,茎和荚果所占比重均相对上升,荚果上升最大,干物质积累分配均已向荚果转移。

表 1 不同密度下高蛋白大豆单株干物质积累分配状况

Table 1 The dry matter accumulation status of high protein soybean in different plant densities

生育时期 Growth stage	密度 Density/(10 ⁴ plants·hm ⁻²)	干物质总重 Total dry matter weight	叶 Leaf		茎 Stem		叶柄 Petiole		荚 Pod	
			干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%	干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%	干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%	干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%
R2	16.5	18.21	8.26	45.35	6.21	34.09	3.74	20.56	—	—
	19.5	16.02	7.13	44.52	5.57	34.74	3.32	20.74	—	—
	22.5	15.05	6.49	43.11	5.31	35.31	3.25	21.58	—	—
	25.5	11.59	4.77	41.18	4.22	36.40	2.83	22.42	—	—
R4	16.5	36.05	10.92	30.28	13.43	37.26	8.01	22.22	3.69	10.23
	19.5	32.46	9.60	29.56	12.31	37.91	7.31	22.52	3.25	10.00
	22.5	31.63	9.18	29.03	12.14	38.37	7.28	23.02	3.03	9.57
	25.5	26.96	7.49	27.77	10.61	39.34	6.35	23.57	2.51	9.32
R6	16.5	73.15	15.33	20.96	18.20	24.88	12.16	16.63	27.46	37.53
	19.5	68.74	14.37	20.90	17.27	25.12	11.58	16.84	25.53	37.14
	22.5	63.85	13.32	20.86	16.41	25.71	11.23	17.59	22.89	35.85
	25.5	47.60	9.06	19.04	12.83	26.96	8.84	18.57	16.87	35.44
R8	16.5	43.47	—	—	14.43	33.19	—	—	29.04	66.81
	19.5	41.69	—	—	14.01	33.61	—	—	27.68	66.39
	22.5	40.93	—	—	13.76	33.61	—	—	27.17	66.39
	25.5	31.23	—	—	11.82	37.84	—	—	19.41	62.16

由图 3 表明,在 R2 期,不同密度下单位面积干物质积累量均无显著差异;R4 期单位面积干物质积累量在 B3 密度水平最高,显著高于 B1 和 B2,较显著高于 B4;R6 期单位面积干物质积累量在 B3 (22.5 万株·hm⁻²) 密度水平最高,显著高于其它密度处理;R8 期 B3 显著高于 B1、B2、B4,B2 和 B4 无

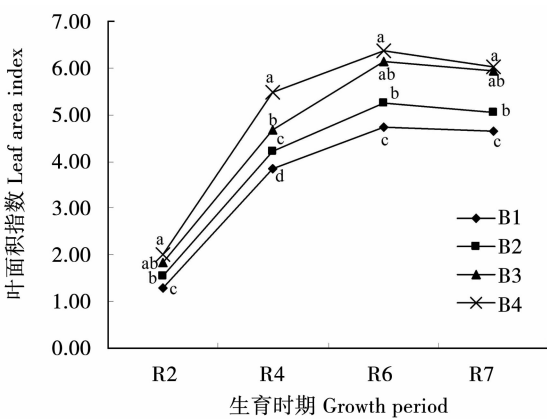


图 2 不同密度下高蛋白大豆叶面积指数动态变化
Fig. 2 The changing trends of LAL of high protein soybean in different densities

显著差异。在同一密度水平,随着生育期延长,单位面积干物质积累量逐渐增加,在 R6 期达到峰值,R6 期后又逐渐下降。从图 3 可以看出,R6 期前不同密度单位土地面积干物质积累量差异不明显,此后差异逐渐增大。

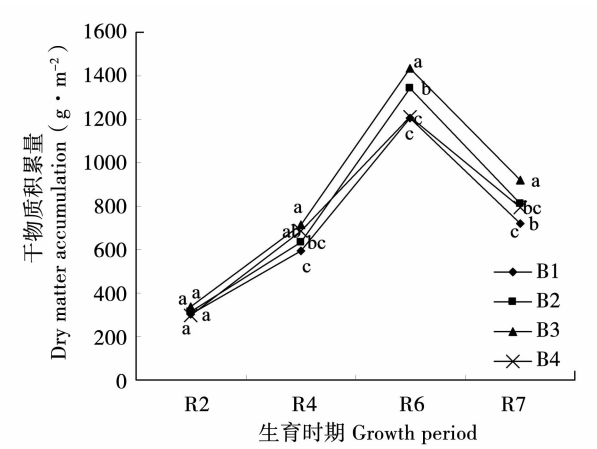


图3 不同密度下高蛋白大豆单位叶面积干物质积累动态
Fig.3 The changing trends of dry matter accumulation of high protein soybean in different densities

2.4 密度对高蛋白大豆群体干物质积累及分配的影响

群体及叶、茎、叶柄、荚干物质积累量及占总量,随密度升高先增加后减小,以 22.5 万株·hm⁻² 处理最大,密度再增加则呈下降趋势。群体干物质积累量以及占总量,随生育期延长逐渐增加,峰值出现在 R4 ~ R6 期,R6 期后开始下降。如表 2 所示,不同大豆群体单位面积全株重、茎秆重、叶片重及叶柄重,在 R2 ~ R6 期均随生育期延长逐渐增加, R2 ~ R4 期干物质积累量表现为叶片 > 茎秆 > 叶柄。R4 ~ R6 期表现为茎秆 > 叶片 > 叶柄 > 荚,群体植株干物质积累分配与单株植株表现一致。

表 2 不同大豆群体不同生育时期干物质积累分配动态

Table 2 The dry matter accumulation status of soybean group in different plant densities

生育时期 Growth stage	密度 Density/(10 ⁴ plants·hm ⁻²)	干物质总重 Total dry matter weight	叶 Leaf		茎 Stem		叶柄 Petiole		荚 Pod	
			干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%	干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%	干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%	干物质重 Dry matter weight/ (g·plant ⁻¹)	占比重 Percent of gross/%
R2	16.5	300.43	136.25	45.35	102.41	34.09	61.77	20.56	—	—
	19.5	312.43	139.10	44.52	108.53	34.74	64.81	20.74	—	—
	22.5	338.55	145.95	43.11	119.55	35.31	73.05	21.58	—	—
	25.5	295.55	121.69	41.18	107.58	36.40	66.27	22.42	—	—
R4	16.5	594.75	180.11	30.28	221.63	37.26	132.17	22.22	60.85	10.23
	19.5	632.99	187.13	29.56	239.98	37.91	142.57	22.52	63.31	10.00
	22.5	711.57	206.60	29.03	273.05	38.37	163.83	23.02	68.10	9.57
	25.5	687.54	190.91	27.77	270.50	39.34	162.04	23.57	64.09	9.32
R6	16.5	1206.98	252.98	20.96	300.25	24.88	200.71	16.63	453.04	37.53
	19.5	1340.47	280.15	20.90	336.68	25.12	225.75	16.84	497.90	37.14
	22.5	1436.53	299.60	20.86	369.30	25.71	252.70	17.59	514.93	35.85
	25.5	1213.91	231.09	19.04	327.25	26.96	225.36	18.57	430.21	35.44
R8	16.5	717.33	—	—	238.11	33.19	—	—	479.22	66.81
	19.5	812.91	—	—	273.20	33.61	—	—	539.72	66.39
	22.5	920.83	—	—	309.53	33.61	—	—	611.30	66.39
	25.5	796.31	—	—	301.30	37.84	—	—	495.01	62.16

2.5 密度对高蛋白大豆产量及构成因素的影响

通过对不同密度群体产量结果进行方差分析可知,随种植密度的增加,大豆单株荚数、单株粒重逐渐减少。百粒重受密度影响较小,无显著变化。群体籽粒产量随密度水平升高先增加后减少,在密

度为 22.5 万株·hm⁻²时,群体产量最高,为3 726.67 kg·hm⁻²,再增加群体密度,产量将有所降低。由表 3 可知,22.5 万株·hm⁻²群体产量显著高于其它密度水平产量,16.5 万株·hm⁻²产量最低,说明适当增加群体密度,可显著提高大豆产量。

表 3 不同密度下高蛋白大豆产量及构成因素

Table 3 The yield and its constitute factors of high protein soybean in different plant densities

密度	单株荚数	单株粒重	百粒重	产量
Density /(10 ⁴ plants ·hm ⁻²)	Pods number per plant	Seeds weight per plant/g	100-seed weight/g	Yield /(kg·hm ⁻²)
16. 5	45. 56 a	24. 26 a	28. 45 a	3333. 33 c
19. 5	41. 67 ab	23. 83 ab	29. 31 a	3463. 33 bc
22. 5	38. 78 b	20. 56 b	28. 63 a	3726. 67 a
25. 5	33. 33 c	17. 61 c	27. 98 a	3513. 33 b

3 结论与讨论

大豆株高是影响产量的重要农艺性状之一^[16], 本研究发现,随密度从 16. 5 万~25. 5 万株·hm⁻², 株高平均增长 10%, 其增加的主要原因是节间明显伸长所致。在不同密度下,高蛋白大豆株高生长趋势表现一致,开花期到结荚期生长迅猛,结荚期后较为缓慢,鼓粒期达到峰值,到成熟期无太大变化。而且在开花期与结荚期株高与密度之间呈极显著正相关关系,相关系数均为 0. 99 **,在鼓粒期与成熟期呈显著正相关关系,相关系数为 0. 95 *,这说明植株营养生长在生育前期对密度比较敏感,生育后期营养生长转入生殖生长,对密度反应相对减弱。另外,本研究发现,随密度增加,LAI 从开花盛期到结荚鼓粒期剧增,鼓粒期至成熟期下降,叶面积指数和密度在各生育期均呈极显著相关,相关系数 r 分别为 0. 99 **,0. 98 **,0. 98 **,0. 96 **,说明适当增加密度可提高 LAI。

干物质积累量及其在籽粒中的分配量直接影响大豆经济产量。本研究发现,单株和各器官干物质积累量在各生育时期,均随密度增加而减小,而在群体植株中表现为随密度升高先增加后减小,以密度 22. 5 万株·hm⁻²处理最大,密度再增加则呈下降趋势。有研究证实^[17-20],某些器官积累的干物质随生育期延长可转移到其它更需要生长的器官。本研究发现,始花期干物质积累量大小及分配比重为叶片>茎>叶柄;结荚期表现为茎>叶片>叶柄>荚,鼓粒期表现为荚>茎>叶片>叶柄,成熟期叶片叶柄变黄脱落,茎和荚果所占比重均相对上升,干物质积累分配随生育期延长由叶片等营养器官逐渐分配至生殖器官,这与前人研究结果相似^[18-20]。本研究结果表明,高蛋白大豆干物质积累分配受种植密度的影响主要体现在生育中后期,而且随密度的增加,个体生长量减少、叶片过早脱落、茎秆所占比重偏大,种植密度过大会出现倒伏现象。另外,群体大豆单株荚数、单株粒重和百粒重随密度增加逐渐减少,而群体产量先增加后减少,密度为 22. 5 万株·hm⁻²时,群体产量最高,为

3 726. 67 kg·hm⁻²再增加群体密度,产量降低。说明适当增加群体密度,有利于提高大豆产量。

参考文献

[1] 于凤瑶,刘锦江,辛秀君,等. 播期对高蛋白大豆产量及品质的影响[J]. 大豆科学,2008,27(4):620-623. (Yu F Y, Liu J J, Xin X J, et al. Effect of sowing date on yield and quality of high protein soybean[J]. Soybean Science,2008, 27(4):620-623.)

[2] 孟祥勋. 大豆适宜密度条件下群体产量的相对稳定性分析[J]. 吉林农业科学,1992(2):10-12. (Meng X X. The relative stability of soybean community yield under given optimum densities [J]. Jilin Agricultural Sciences, 1992(2):10-12.

[3] 邱强,石一鸣,闫晓艳,等. 不同株型大豆品种的不同种植密度对产量的影响[J]. 吉林农业科学,2008,33(3):11-13. (Qiu Q, Shi Y M, Yan X Y, et al. Effect of different planting densities of different plant type soybeans on yield [J]. Jilin Agricultural Sciences, 2008,33(3):11-13.)

[4] 杜吉到,张晓艳,韩毅强,等. 半干旱地区品种、密度及叶面调控技术对大豆产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2011,33(3):265-269. (Du J D, Zhang X Y, Han Y Q, et al. Effect of varieties, densities and leaf regulation technology on soybean yield in semi-drought area [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011,33(3):265-269.)

[5] 张永强,张娜,王娜,等. 种植密度对北疆复播大豆光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报,2015,35(3):571-578. (Zhang Y Q, Zhang N, Wang N et al. Effects of planting density on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean in north Xinjiang[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2015,35(3):571-578.)

[6] 张瑞朋,付连舜,佟斌,等. 密度及行距对不同品种农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学,2015,34(1):52-55. (Zhang R P, Fu L S, Tong B, et al. Effect of plant density and row spacing on agronomic characteristics and yield for different soybeans [J]. Soybean Science, 2015, 34(1):52-55.)

[7] 孙国伟,付连舜,张凤路,等. 播期及密度对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学,2016,35(3):423-427. (Sun G W, Fu L S, Zhang F L, et al. Effect of sowing data and plant density on agronomic traits and yield for different soybeans [J]. Soybean Science, 2016,35(3):423-427.)

[8] 邓贵仁,候敏. 大豆不同株型干物质积累动态与产量的关系[J]. 大豆科学,1996,15(3):269-273. (Deng G R, Hou M. Accumulative tendency of dry matter in relationship with yield in different plant type of soybean [J]. Soybean Science, 1996, 15(3):269-273.)

[9] 胡根海,章建新,唐长青. 北疆春大豆生长动态及干物质积累与分配[J]. 新疆农业科学,2002,39(5):264-267. (Hu G H, Zhang J X, Tang C Q. Growth changing and dry matter accumulation and distribution in spring soybean of Beijiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2002,39(5):264-267.)

[10] 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,2006,22(11):161-163. (Zhang X Y, Du J D, Zheng D F, et al. Studies on the relationship between yield and leaf area index and their dry matter accumulation dynamic on the different population [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11):161-163.)

[11] 闫艳红,陈忠群,王小春,等. 钼肥对套作大豆干物质积累与分配的及产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2015,37(1):72-76. (Yan Y H, Chen Z Q, Wang X C, et al. Effect of molybdenum fertilizer on dry matter accumulation, distribution and yield of relay strip intercropping soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015,37(1):72-76.)

[12] 张爱媛,李淑敏,韩晓光,等. 根瘤菌与钼肥配施对大豆干物质积累、分配及产量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(21):76-81. (Zhang A Y, Li S M, Han X G, et al. Influence of rhizobium and molybdenum on dry matter accumulation, distribution and yield of soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015,31(21):76-81.)

[13] 李亚杰,徐文修,张娜,等. 水氮耦合对滴灌复播大豆干物质积累、氮素吸收及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(5):79-84,90. (Li Y J, Xu W X, Zhang N, et al. Effects of different water nitrogen couplings on dry matter accumulation, nitrogen uptake and yield of summer soybean [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016,34(5):79-84,90.)

[14] 褚丽丽. 营养生长期水分胁迫和氮素对大豆干物质产量的影响[J]. 节水灌溉,2016,11(7):31-35. (Chu L L. Effects of water stress in vegetative growth stages and nitrogen on yield and dry matter of soybean [J]. 2016,11(7):31-35.)

[15] 韩利萍,孙磊,张泽钰,等. 养分调控和栽培模式对大豆干物质积累及产量的影响[J]. 大豆科学,2016,35(4):593-598. (Han L P, Sun L, Zhang Z Y, et al. Effects of cultivation patterns and nutrient regulation on dry matter accumulation and yield in soybean [J]. Soybean Science, 2016,35(4):593-598.)

[16] 黄中文,王伟,徐新娟,等. 大豆动态株高及其生长速率与产量的相关分析[J]. 河南科技学院学报,2010,38(2):16-19. (Huang Z W, Wang W, Xu X J, et al. Analysis of correlation for plant height and its relative growth rate at different developmental stages with yield in soybean [J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology, 2010, 38(2):16-19.)

[17] Carpenter A C, Board J E. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations [J]. Crop Science, 1997, 37(5):1520-1526.

[18] 赵继文,马继凤,李小红. 南方春大豆不同生育期干物质积累与氮磷钾含量的变化[J]. 大豆科学,1994,13(1):53-59. (Zhao J W, Ma J F, Li X H. Dry matter accumulation and absorption and partition of nitrogen, phosphorous and potassium on different development stages in southern spring soybean (*Glycine max* L.) [J]. Soybean Science, 1994, 13(1):53-59.)

[19] 章建新,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,2006,25(1):1-5. (Zhang J X, Zhai Y L, Xue L H. Effect of plant density of growth tendency, dry matter accumulation and distribution in high yield spring soybean [J]. Soybean Science, 2006, 25(1):1-5.)

[20] 王红军,吴奇峰,谢映周. 大豆籽粒干物质积累规律及与产量关系的研究[J]. 新疆农业科学,2006,43(4):268-270. (Wang H J, Wu Q F, Xie Y Z. Research on law of seed dry matter accumulation and its relation with yield of soybean [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2006,43(4):268-270.)