

播期和密度对玉米 – 大豆套作模式下
大豆植株、干物质积累及产量的影响

徐 婷¹, 雍太文^{1*}, 刘文钰¹, 刘小明¹, 董 茜¹, 宋 春^{1,2}, 杨 峰¹, 王小春¹, 杨文钰^{1*}

(1. 四川农业大学农学院/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都, 611130;

2. 四川农业大学资源环境学院生态环境研究所, 四川 成都, 611130)

摘要:通过两年田间试验,研究了在玉米 – 大豆套作模式下,6月15日(A1,适期播种)、6月25日(A2,适当晚播)、7月5日(A3,晚播)3个播期和8.25万株·hm⁻²(B1)、11.25万株·hm⁻²(B2)、14.25万株·hm⁻²(B3)、17.25万株·hm⁻²(B4)4个密度对大豆植株性状、干物质积累及产量的影响。结果表明:A2较适期播种A1处理,花后单株干物质积累、茎粗和株高均降低,但花后群体干物质积累、花后作物生长率、荚果分配比率以及单株粒数均增加;在三种播期下,适度密植B3使大豆花后群体干物质重、作物生长率及荚果分配比率增加,在适当晚播A2的条件下表现更明显。在适当密植B3条件下,大豆适当晚播有利于大豆产量的提高,A2B3比A1B3平均提高了6.8%。

关键词:套作大豆;播期;密度;干物质积累;产量

中图分类号:S565.1 S344.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 – 9084(2014)05 – 0593 – 09

Effects of sowing time and density on soybean agronomic traits, dry matter accumulation and yield in maize – soybean relay strip intercropping system

XU Ting¹, YONG Tai – wen^{1*}, LIU Wen – yu¹, LIU Xiao – ming¹,

DONG Qian¹, SONG Chun^{1,2}, YANG Feng¹, WANG Xiao – chun¹, YANG Wen – yu^{1*}

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Southwest, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China;

2. Institute of Ecological and Environmental Sciences, College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: To investigate the effects of sowing time and density on agronomic traits, dry matter accumulation and yield of soybean in maize – soybean relay strip intercropping system, a two – year field experiment was conducted with 3 sowing times (June 15, June 25 and July 5, denoted as A1, A2 and A3) and 4 densities (8.25 × 10⁴ plant · hm⁻², 11.25 × 10⁴ plant · hm⁻², 14.25 × 10⁴ plant · hm⁻², 17.25 × 10⁴ plant · hm⁻², denoted as B1, B2, B3 and B4). Results showed that compared to normal sowing date (June 15), late sowing (June 25) decreased plant height, stem diameter, post – anthesis dry matter accumulation per plant of soybean, increased post – anthesis dry matter accumulations, crop growth rate, pods allocation ratio and grain yield per plant of soybean. Moreover, density of 14.25 × 10⁴ plant · hm⁻² resulted in more post – anthesis dry matter accumulations, crop growth rate and pods allocation ratio under different sowing times (normal and late sowing), especially with late sowing date on June 25. It was beneficial to improve soybean yield with appropriate late sowing (June 25) with high sowing density (14.25 × 10⁴ plant · hm⁻²), which was 6.8% higher than A1B3 treatment on average over two years.

Key words: Relay – cropping soybean; Sowing time; Density; Dry matter accumulation; Yield

收稿日期:2014-01-26
基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201203096)
作者简介:徐 婷(1989 –),女,四川蒲江人,硕士研究生,研究方向为作物高产优质高效栽培理论与技术
* 通讯作者:雍太文,硕士生导师,副教授,E – mail:sendytw@ qq. com;
杨文钰,博士生导师,教授,E – mail:wenyu. yang@ 263. net

玉米-大豆带状复合种植模式作为我国南方旱地农业的一种主体模式,近年来发展十分迅速,种植面积逐年增加,具有十分明显的经济、社会和生态效益^[1]。该种植模式一般通过合理选择套作大豆播期、密度,前作玉米播期、密度、株型、幅宽^[2,3],以及合理施肥、提高肥料利用率^[4]等栽培措施来实现增产增收。以四川省为代表的西南地区,位于亚热带气候区内,是洪涝灾害的多发区,每年的4~10月都有不同程度的洪涝灾害发生,洪涝灾害突发性强、发生频率高、危害大,且季节性干旱特征明显,春、夏、伏旱发生频率达60%~70%,因此,对于西南地区的玉米-大豆带状复合种植模式下的播期研究就显得尤为重要。该地区套作种植模式下晚熟大豆的适宜播期为6月上旬至6月中旬^[5~7],而每年的5~6月正值小麦和油菜收获、水稻插秧时节,与大豆播种时间重叠,劳动力严重不足,从而导致大豆播期推迟20~30d。因此播种季节的季节性干旱、春收夏种重叠、劳动力缺乏、降雨等原因都会造成大豆播期延后。前人研究表明,大豆播期推迟后,大豆营养生长期时间缩短,生育前期干物质积累量少,不利于后期灌浆鼓粒,产量降低^[8,9],在这种情况下,再按原有的种植方式和种植密度将严重降低大豆产量^[10,11]。对此,笔者期望通过增加大豆种植密度来弥补延迟播种后带来的产量损失,寻求适应现实生产条件的播期和密度协调栽培技术。刘万代^[12]等研究表明,小麦播期延迟后,适当的增加种植密度能够弥补产量损失。马宗斌^[13]在对棉花适宜播期与密度研究中也表明,种植密度的增加能够弥补产量损失。

因此,在前人研究基础上,本文研究了不同播期和密度对玉米-大豆套作模式下大豆植株性状、干物质积累分配及产量的影响。旨在寻求适播和晚播不同条件下的最佳种植密度,更好地发挥密度的稳产甚至增产效益,为南方套作大豆生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

试验使用的玉米品种为川单418,由四川农业大学玉米所提供;大豆品种为南豆12,由四川省南充市农业科学研究院大豆所提供。

1.2 试验设计

试验于2012-2013年在四川省现代粮食产业(仁寿)示范基地进行。采用二因素裂区设计,玉米-大豆带状套作模式下,大豆播期为主因素,共3个水平,分别为适播A1(6月15日适期播种)、适当晚播A2(6月25日)与晚播A3(7月5日);大豆密度

为副因素,4个水平,分别为B1(8.25万株·hm⁻²)、B2(11.25万株·hm⁻²)、B3(14.25万株·hm⁻²)、B4(17.25万株·hm⁻²),共12个处理,3次重复。每个处理连续种2带,带长4m、带宽2m,小区面积16m²。玉米采用宽窄行种植,窄行行距0.4m,宽行行距1.6m,穴留1株,穴距19cm,密度为5.25万株·hm⁻²,玉米宽行内种2行大豆,大豆行距0.4m,穴留2株,穴距依次为24.2cm、17.8cm、14.0cm、11.6cm。大豆氮肥与底肥一次性施用,大豆施肥量为纯N 60kg·hm⁻²,P₂O₅ 63kg·hm⁻²、K₂O 52.5kg·hm⁻²。玉米氮肥分两次施用,即底肥(纯N 120kg·hm⁻²)和大喇叭口期追肥(纯N 90kg·hm⁻²);玉米磷钾肥随底肥施用,每公顷施用量为P₂O₅ 105kg、K₂O 112.5kg。使用氮肥为尿素(N含量46%,四川泸天化股份有限公司),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅含量12%,资阳市润丰化工有限公司),钾肥为氯化钾(K₂O含量60%,中国农业生产资料集团公司进口)。玉米4月6日播种,8月1日收获。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 农艺性状调查 每个小区选取5株长势一致的植株在苗期(V3)进行挂牌标记,于分枝期(V5)、始花期(R1)、盛荚期(R4)、完熟期(R8)定株测量挂牌植株的株高、茎粗,并在完熟期调查主茎节数和主茎分枝数。

1.3.2 干物质积累测定 于分枝期(V5)、始花期(R1)、始荚期(R4)、完熟期(R8)每个小区连续选取长势一致的植株4株,按茎、叶、叶柄、荚分别装袋,于105℃杀青1h,80℃烘干至恒重,用百分之一的电子天平称重。并计算作物生长率及干物质分配比率。

计算公式如下:

$$\text{作物生长率} = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$$

式中:W₂-W₁表示一定期间内每平方米土地面积上植株干重的净增长,T₂-T₁为两次测定期间的间隔天数。

$$\text{干物质分配比率} = \frac{C}{W} \times 100\%$$

式中:C为某器官在某段时间的干物质重,W为全株该段时间的干物质重。

1.3.3 产量及构成因素测定 于大豆完熟期,每小区选取其中一带随机选3个样点,每个样点连续取对称2行的4穴,共12穴(24株),调查单株荚数、单株粒数和百粒重等产量构成因素,选取小区另一带实收计产。

1.4 统计分析

采用 DPS7.05 及 Excel2007 进行统计分析和作图,LSD 法进行差异显著性测验($\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同播期和密度对大豆农艺性状的影响

2.1.1 株高 由图 1 可知,随着生育进程的推进,

大豆株高呈逐渐升高变化趋势,且晚播较适播的大豆株高增长缓慢。适播和晚播时,大豆各生育时期株高均随密度的增加呈增加趋势,但晚播时差异不明显。其中 R8 期,大豆株高在适播条件下,两年平均值 B4 处理比 B1 处理高 15.5%,晚播条件下,两年平均值 B4 处理比 B1 处理高 7.5%、7.8%。

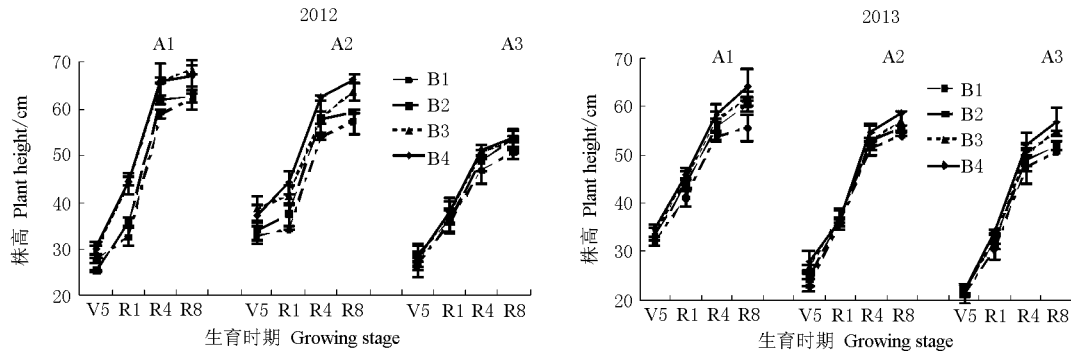


图 1 大豆株高动态变化
Fig.1 Dynamic changes of plant height of soybean

2.1.2 茎粗 由图 2 可以看出,随着生育进程的推进,大豆茎粗呈先增后减的变化趋势,在 R4 期达到峰值,且适期播种和适当晚播的大豆茎粗差异较小。适播和晚播时,大豆各生育时期茎粗均随密度的增加呈减小趋势。但晚播时,R1 - R4 期的有较大差

异,R8 期差异较小。其中 R8 期,大豆茎粗在适播条件下,两年平均值 B1 处理较 B4 处理高 17.7%,晚播条件下,两年平均值 B1 处理较 B4 处理仅高 8.7%、14.6%。

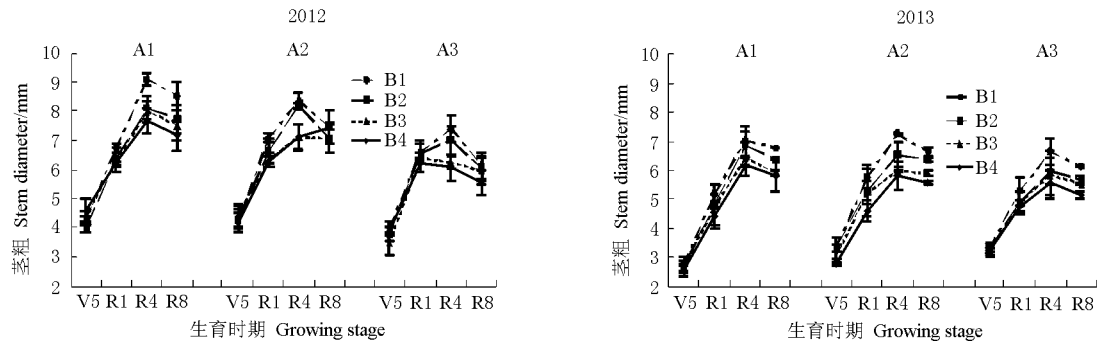


图 2 大豆茎粗动态变化
Fig.2 Dynamic changes of stem diameter of soybean

表 1 不同播期和密度对大豆主茎节数和分枝数的影响

Table 1 Effect of different sowing time and density on node number and branch number

年份 Year	处理 Treatment	主茎节数 Node number				平均 Mean	主茎分枝数 Branch number				平均 Mean
		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4	
2012	A1	15.94a	16.63a	16.08a	16.08a	16.18a	6.53a	6.08a	5.17b	4.83b	5.65a
	A2	15.17a	14.42a	14.58a	14.21a	14.59b	6.33a	6.08a	4.92b	4.75b	5.52a
	A3	14.17a	14.08a	14.00a	13.25a	13.88c	3.58a	3.75a	3.42a	2.86a	3.40b
	Mean	15.09a	15.04a	14.89a	14.51a		5.48a	5.30a	4.50b	4.15b	
2013	A1	16.33a	16.78a	15.50b	16.17ab	16.19a	6.25a	5.87a	5.37ab	4.87b	5.59a
	A2	16.17ab	15.25bd	16.37a	16.12abc	15.98a	5.36a	5.75a	5.50a	4.85a	5.37a
	A3	15.58a	15.83a	15.00a	15.17a	15.40a	4.42a	4.25a	3.75a	3.92a	4.08b
	Mean	16.03a	15.95a	15.62a	15.82a		5.34a	5.29a	4.87ab	4.55b	

注:各处理 3 次重复的平均值进行比较,同一列中标以不同字母的均值差异达 5% 显著水平。平均行单独比较。下表同
Note: Data are the averages of 3 replicates. Values followed by different letters within each column indicate significant difference at 0.05 probability level. The values within the mean letters were compared alone. Same as below

2.1.3 主茎节数和分枝数 由表 1 可知,随着播期的推迟,大豆主茎节数减少,以 A1 处理最高,两年平均值 A1 比 A3 处理高 10.6%,适播和晚播时,密度对大豆主茎节数有一定的影响,适播时,两年均以 B2 处理最高,晚播时,2012 年均以 B1 最高,2013 年以 B3 和 B2 较高。对主茎分枝数,随着播期的推迟而减少,以 A1 处理最高,两年平均值 A1 比 A3 处理高 50.3%,适播时,随着密度的增加而减少,密度间以 B1 处理最高,两年平均值 B1 显著高于 B4 处理 31.8%;晚播时,差异不明显。密度间同样以 B1 处理最高,两年平均值 B1 比 B4 处理分别高 21.8%、18.0%。

2.2 不同播期和密度对大豆干物质积累及分配的影响

2.2.1 干物质积累 由表 2 可知,随着生育进程的

推进,大豆单株干物质积累呈先增加后减少的变化趋势,在 R5 期达到峰值。大豆各生育时期的干物质积累在播期处理间表现规律不一致,适播和晚播时,密度对其影响规律一致,均随着密度增加而减少。其中 V5 期,播期处理间的变化规律两年不一致,2012 年,以 A2 处理最高,比 A3 处理高 51.3%,2013 年则以 A3 处理最高,比 A1 处理高 48.4%;适播和晚播时,均以 B1 处理最高,两年平均值 B1 比 B4 处理分别高 30.0%、21.7%、12.2%。V5 期以后,随着播期的推迟单株干物质积累降低,其中 R8 期,播期间以 A1 处理最高,与 A2 处理间差异不明显,两年平均值 A1 显著高于 A3 处理 36.0%。适播和晚播时,密度间均以 B1 处理最高,两年平均值 B1 显著高于 B4 处理 65.2%、53.1%、76.5%。

表 2 不同播期和密度对大豆单株干物质积累的影响

Table 2 Effect of different sowing time and density on dry matter accumulation of individual plant/(g·plant⁻¹)

处理 Treatment	2012 年				2013 年			
	V5	R1	R5	R8	V5	R1	R5	R8
A1B1	4.33a	14.48a	62.95a	54.62a	1.74a	11.96a	40.06a	37.15a
A1B2	3.68a	13.73ab	55.19b	47.36b	1.23b	8.84b	37.08a	33.96b
A1B3	4.01a	13.34b	47.63c	42.06c	1.05b	8.27b	33.85b	30.47c
A1B4	3.67a	11.85c	35.98d	32.41d	1.00b	7.06c	27.64c	23.14d
A2B1	4.46a	16.21a	60.98a	52.75a	1.66a	10.79a	39.24a	35.92a
A2B2	4.10ab	12.77b	54.64b	46.73b	1.46a	10.46a	35.69ab	31.93b
A2B3	4.28ab	12.20bc	49.56c	43.75b	1.45a	8.22b	34.33b	30.66b
A2B4	3.66b	11.41c	35.33d	32.67c	1.37a	7.29b	27.98c	25.26c
A3B1	3.20a	13.17a	42.84a	37.92a	1.86a	9.39a	37.20a	31.13a
A3B2	2.89ab	12.20ab	34.59b	32.73a	1.93a	9.58a	34.55ab	29.43a
A3B3	2.13b	10.87b	31.02c	27.29b	1.88a	8.65ab	31.64b	23.93b
A3B4	2.70ab	9.44c	24.50d	21.48c	1.81a	7.92b	25.13c	17.65c
A1 - avg	3.92a	13.35a	50.44a	44.11a	1.26b	9.03a	34.66a	31.18a
A2 - avg	4.13a	13.15a	50.13a	43.97a	1.49ab	9.19a	34.31ab	30.94a
A3 - avg	2.73b	11.42b	33.24b	29.85b	1.87a	8.89a	32.13b	25.53b
B1 - avg	4.00a	14.62a	55.59a	48.43a	1.75a	10.72a	38.84a	34.73a
B2 - avg	3.56ab	12.90b	48.14b	42.28b	1.54ab	9.63b	35.77b	31.77b
B3 - avg	3.47ab	12.14b	42.74c	37.70c	1.46ab	8.38c	33.27b	28.35c
B4 - avg	3.34b	10.90c	31.94d	28.85d	1.40b	7.43c	26.92c	22.02d

注/Note: - avg 指该处理下的均值 - avg: average

由表 3 可知,随着生育进程的推进,大豆群体干物质积累呈先增加后减少的变化趋势,在 R5 期达到峰值。大豆各生育时期的群体干物质积累在播期和密度处理间表现规律均不一致。其中 V5 期,播期处理间的变化规律两年间不完全一致,2012 年,以 A2 处理最高,比 A3 处理高 51.0%;2013 年则以 A3 处理最高,比 A1 处理高 57.6%。适播和晚播时,大豆群体干物质积累均随着密度增加而增加,以 B4 处理最高,两年平均值 B4 显著高于 B1 处理 60.9%、71.8%、86.6%。V5 期以后,大豆群体干物

质积累随着播期的推迟呈先增加后减少的趋势,适播和晚播时,均随着密度的增加,先增后减,其中 R8 期,播期间以 A2 处理最高,与 A1 处理间差异不显著,两年平均值 A2 比 A3 处理高 37.0%。适播和晚播时,密度间均以 B3 处理最高,其次为 B4 处理,两年平均值 B3 比 B1 处理高 36.5%、44.9%、28.1%。各组间以 A2B3 处理大豆群体干物质积累最高,两年平均值 A2B3 比适期播种处理的最高群体干物质积累(A1B3)提高了 2.6%。

表 3 不同播期和密度对大豆群体干物质积累的影响

Table 3 Effect of different sowing time and density on pupolation dry matter accumulation/(kg · hm⁻²)

处理 Treatment	2012 年				2013 年			
	V5	R1	R5	R8	V5	R1	R5	R8
A1B1	357.34b	1 194.51d	5 193.05c	4 506.43c	143.14a	987.04b	3 305.29c	3 064.94c
A1B2	414.12b	1 544.83c	6 208.10b	5 327.91b	138.00a	994.50b	4 171.08b	3 820.31b
A1B3	571.63a	1 901.56b	6 786.70a	5 993.98a	149.98a	1 177.76a	4 822.91a	4 342.21a
A1B4	633.27a	2 044.24a	6 206.17b	5 590.58ab	172.07a	1 218.50a	4 768.62a	3 991.22b
A2B1	368.28c	1 337.33d	5 030.61c	4 351.60c	137.02c	890.43b	3 237.37c	2 963.54c
A2B2	461.23b	1 436.31c	6 146.41b	5 257.22b	164.63bc	1 176.68a	4 014.98b	3 591.75b
A2B3	609.16a	1 738.22b	7 061.59a	6 233.85a	206.03ab	1 171.26a	4 892.08a	4 368.93a
A2B4	631.46a	1 968.05a	6 094.48b	5 635.35ab	236.54a	1 258.06a	4 826.62a	4 357.78a
A3B1	263.78b	1 086.61c	3 534.26c	3 128.41b	153.28c	774.98c	3 068.83c	2 568.09b
A3B2	325.01ab	1 372.88b	3 891.32b	3 681.66ab	216.61b	1 077.68b	3 887.11b	3 310.41a
A3B3	254.88b	1 548.38a	4 420.37a	3 888.49a	267.78ab	1 233.16ab	4 507.99a	3 410.44a
A3B4	465.58a	1 627.97a	4 225.75ab	3 704.93ab	312.80a	1 366.20a	4 335.00ab	3 044.48a
A1－avg	494.09a	1 671.28a	6 098.50a	5 354.72a	150.80b	1 094.45a	4 266.98a	3 804.67a
A2－avg	517.53a	1 619.98a	6 083.27a	5 369.50a	186.06ab	1 124.11a	4 242.76ab	3 820.50a
A3－avg	327.32b	1 408.96b	4 017.92b	3 600.87b	237.62a	1 113.00a	3 949.73b	3 083.35b
B1－avg	329.80c	1 206.15d	4 585.97c	3 995.48c	144.48c	884.15c	3 203.83c	2 865.52c
B2－avg	400.12bc	1 451.34c	5 415.28b	4 755.59b	173.08bc	1 082.95b	4 024.39b	3 574.16b
B3－avg	478.56b	1 729.38b	6 089.55a	5 372.11a	207.93ab	1 194.06ab	4 740.99a	4 040.53a
B4－avg	576.77a	1 880.09a	5 508.80b	4 976.95ab	240.47a	1 280.92a	4 643.41a	3 797.83b

2.2.2 作物生长率 从表 4 得出,播期和密度对大豆作物生长率影响差异显著。V5－R1 期,播期处理间变化规律两年不一致,2012 年,播期间以 A3 处理最高,显著高于 A1 处理 53.5%;2013 年,播期间以 A2 处理最高,显著高于 A1 处理 105.0%。适播和晚播时,作物生长率均随着密度的增加而增加,以 B4 处理最高,两年平均值 B4 比 B1 处理高 46.5%、36.7%、55.0%。R1－R5 期,适当晚播使作物生长

率提高,两年平均值 A2 比 A3 处理高 20.9%;适播和晚播时,随着密度的增加,大豆作物生长率均呈先增后减的趋势,以 B3 处理最高,两年平均值 B3 比 B1 处理高 35.2%、49.4%、26.7%,比 B4 处理高 10.7%、18.8%、9.2%。各组组合间以 A2B3 处理大豆花后作物生长率最高,两年平均值 A2B3 比适期播种处理的最大花后作物生长率(A1B3)提高了 12.3%。

表 4 不同播期和密度对大豆作物生长率的影响

Table 4 Effect of different sowing time and density on crop growth rate/(g · m⁻² · d⁻¹)

年份 Year	处理 Treatment	V5－R1				平均 Mean	R1－R5				平均 Mean
		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4	
2012	A1	2.09c	2.83b	3.32a	3.53a	2.75b	11.79c	14.18a	14.45a	12.30b	13.18b
	A2	3.88c	3.90bc	4.52b	5.35a	4.10a	11.58d	14.97b	16.63a	12.64c	13.95a
	A3	3.29c	4.19b	5.17a	4.65ab	4.22a	9.81b	10.40b	11.24a	10.38b	10.46c
	Mean	3.09c	3.64b	4.34a	4.51a1		1.06d	13.18b	14.11a	11.78c	
2013	A1	2.06ac	2.09abc	2.51ab	2.55a	2.22c	6.82b	9.34a	10.72a	10.44a	9.33a
	A2	3.77b	5.06a	4.83a	5.11a	4.55a	7.33c	8.87b	11.63a	11.15a	9.75a
	A3	3.11c	4.31b	4.83ab	5.27a	4.08b	7.40b	9.06ab	10.56a	9.58a	9.15a
	Mean	2.98c	3.82b	4.05ab	4.31a		7.18c	9.09b	10.97a	10.39a	

2.2.3 干物质分配比率 从表 5 得出,随着生育进程的推进,叶片分配比率减小,茎和叶柄分配比率先增加后减少,至 R5 期,大豆植株生长由叶片和茎转向了荚,荚的营养物质分配上升。其中 V5 期,随着播期的推迟,茎分配比率增加,叶片和叶柄分配比率先增后减。适播和晚播时,密度对茎、叶片和叶柄分配率有一定的影响。对茎分配比率,适播时,两年以 A4 处理最高;晚播时,2012 年以 B3 最高;2013 年以

B4 处理最高。对叶分配比率,适播时,两年以 B1 处理最高;晚播时,2012 年以 B1 和 B2 较高;2013 年,以 B2 和 B1 较高。随后在 R5 期,晚播较适播,叶片、叶柄、荚分配率增加,适播和晚播时,种植密度增大,干物质向叶片、叶柄中的分配增加,茎所占比率下降,荚果分配率先略有增加而后减少。适播时,以 B3 处理的荚果分配率最高,两年平均值 B3 比 B1 处理高 1.5%,比 B4 高 8.8%;晚播时,同样以 B3 处理

最高,两年平均值 B3 比 B1 处理高 3.6%、13.4% ,比 B4 处理高 11.2%、11.1%。组合间以 A3B3 处理大豆荚果分配比率最高,其次为 A2B3 处理,两年平

均值 A3B3 和 A2B3 处理比适期播种处理的最高荚果分配比率(A1B3)提高了 9.9%和 3.2%。

表 5 不同播期和密度对大豆干物质分配比率的影响
Table 5 Effect of different sowing time and density on dry matter partitioning ratio/%

年份 Year	处理 Treatment	V5			R1			R5			
		茎 Stem	叶片 Leaf	叶柄 Petiole	茎 Stem	叶片 Leaf	叶柄 Petiole	茎 Stem	叶片 Leaf	叶柄 Petiole	荚果 Pod
2012	A1B1	32.71a	55.75a	11.53a	39.64a	45.34a	15.01a	22.98a	30.24a	13.00b	33.77a
	A1B2	34.96a	52.30a	12.74a	39.37a	45.63a	15.00a	22.64a	30.43a	12.21b	34.71a
	A1B3	34.50a	53.00a	12.50a	38.40a	46.12a	15.48a	22.39a	30.53a	12.23b	34.85a
	A1B4	34.97a	53.09a	11.94a	38.16a	46.04a	15.80a	21.74a	31.23a	15.18a	31.84b
	A2B1	35.03a	55.43a	9.54a	38.30a	50.66b	11.04b	21.80a	31.73b	12.79a	33.68a
	A2B2	35.99a	55.98a	8.03a	37.92a	50.69b	11.39ab	21.03ab	32.76a	12.85a	33.36a
	A2B3	38.39a	54.01a	7.60a	35.36b	51.06ab	13.58a	19.13b	33.15a	12.34a	35.38a
	A2B4	37.92a	53.98a	8.10a	34.22b	52.52a	13.26a	19.56b	33.04a	13.41a	33.99a
	A3B1	38.23b	51.71ab	10.06a	32.00a	50.10b	17.89b	20.47a	32.51b	13.62a	33.40b
	A3B2	37.24b	53.30a	9.46a	30.83a	50.63ab	18.54ab	19.04ab	32.72ab	11.14b	37.09a
	A3B3	45.07a	46.25c	8.68a	28.44b	51.85a	19.70a	17.81bc	33.25ab	10.99b	37.95a
	A3B4	44.60a	47.31bc	8.10a	28.34b	52.26a	19.40a	16.72c	33.96a	15.24a	34.07b
	A1 – avg	34.29b	53.54a	12.18a	38.90a	45.78b	15.32b	22.44a	30.60b	13.21a	33.80b
	A2 – avg	36.83b	54.85a	8.32b	36.45b	51.23a	12.32c	20.38b	32.67a	12.85a	34.10b
	A3 – avg	41.29a	49.64b	9.07b	29.90c	51.21a	18.88a	18.51c	33.11a	12.75a	35.63a
	B1 – avg	35.33b	54.30a	10.38a	36.65a	48.70b	14.65b	21.75a	31.49b	13.14b	33.62bc
2013	B2 – avg	36.06b	53.86ab	10.08a	36.04a	48.98b	14.98b	20.91ab	31.97ab	12.07bc	35.06ab
	B3 – avg	39.32a	51.46ab	9.59a	34.07b	49.68ab	16.26a	19.78bc	32.31ab	11.85c	36.06a
	B4 – avg	39.06b	51.09b	9.40a	33.57b	50.27a	16.15a	19.34c	32.74a	14.61a	33.30c
	A1B1	33.92b	53.61a	12.47a	42.58a	43.20b	14.21a	22.87a	31.45c	12.40a	33.28a
	A1B2	39.64a	52.27a	12.13abc	38.79b	51.90a	9.31b	22.65a	30.92c	12.57a	33.86a
	A1B3	36.93a	52.34a	10.73ac	38.38b	52.14a	9.48b	21.72b	32.92b	12.13a	33.23a
	A1B4	36.81a	50.85a	12.34ab	36.25c	54.27a	9.48b	21.50b	35.73a	12.04a	30.73b
	A2B1	30.60b	56.34a	13.06a	38.74a	49.22c	12.04a	21.54a	32.16b	12.12b	34.18a
	A2B2	33.71a	54.27ab	12.01ab	36.15a	52.29b	11.56a	21.69a	32.32b	11.78b	34.21a
	A2B3	35.39a	54.57ab	10.04b	32.14b	53.92ab	13.94a	20.93a	31.79b	12.37ab	34.90a
	A2B4	36.73a	52.19b	11.08ab	30.77b	55.05a	14.18a	19.90b	37.17a	13.69a	29.23b
	A3B1	32.54b	58.78a	8.69b	35.29a	51.31c	13.40b	20.90a	33.89a	12.53a	32.68c
	A3B2	35.82ab	54.54ab	10.98a	30.70b	53.92ab	15.38ab	21.27a	33.21ab	10.93bc	34.60b
	A3B3	35.97ab	53.73b	10.30ab	30.57b	53.38bc	16.05ab	20.98a	31.38b	10.64c	37.00a
	A3B4	36.63a	52.80b	10.57ab	26.38c	56.82a	16.79a	20.79a	33.86a	11.94ab	33.41bc
	A1 – avg	36.83a	52.27a	11.92a	39.00a	50.38b	10.62b	22.19a	32.76a	12.28a	32.77b
	A2 – avg	34.11b	54.34a	11.55a	34.45b	52.62ab	12.93ab	21.02b	33.36a	12.49a	33.13b
	A3 – avg	35.24ab	54.96a	10.13a	30.74c	53.86a	15.40a	20.99b	33.09a	11.51b	34.42a
	B1 – avg	33.57a	51.61a	11.41a	38.97a	50.22b	10.81a	21.77a	32.50b	12.35a	33.38ab
	B2 – avg	34.39a	54.27a	11.71a	32.42b	52.54ab	15.03a	21.87a	32.15b	11.76a	34.22a
	B3 – avg	34.32a	54.34a	10.36a	31.25b	55.44a	13.31a	21.21a	32.03b	11.71a	35.04a
	B4 – avg	34.06a	52.18a	11.33a	30.83b	54.21ab	14.96a	20.73a	35.59a	12.56a	31.12b

2.3 不同播期和密度对大豆产量及产量构成的影响

由表 6 可知,适当晚播使大豆单株籽粒产量提高,适播和晚播时,密度间均以 B1 处理最高,两年平均值 B1 比 B4 处理高 70.4%、43.5%、24.5%。

从大豆产量来看,较晚播种不利于大豆产量的提高,适播和适当晚播时,密度对大豆产量具有协调作用,随着密度的增加,产量先增加后降低,均以 B3 处理大豆产量最高。其中,以 A2B3 处理大豆产量

最高,两年平均值 A2B3 比适期播种处理的最高产量(A1B3)提高了 6.8%。

适期播种和适当晚播均使大豆单株荚数增加(表 7)。2012 年,以 A1 处理最高,比 A2 和 A3 处理高 8.7%和 46.3%;2013 年,以 A2 处理最高,比 A1 和 A3 处理高 15.4%和 43.7%。适播和晚播时,均随着密度的增加而降低,以 B1 处理最高,两年平均值 B1 比 B4 处理高 64.4%、46.2%、22.4%。适当

晚播可以提高单株粒数,两年平均值 A2 比 A1 和 A3 处理分别高 6.9% 和 43.0%。适播和晚播时,密度处理间变化规律与大豆单株荚数表现一致,以 B1 处理最高,两年平均值 B1 比 B4 处理高 69.5%、43.9%、21.8%。适期播种和适当晚播可以提高大

豆百粒重,以 A1 处理最高,A1 与 A2 处理间差异不显著,两年平均值 A1 比 A3 处理高 5.00%;适播时,2012 年和 2013 年分别以 B2 和 B4 处理最低;晚播时,2012 年均以 B2 处理最低,2013 年以 B2 和 B3 处理最低。

表 6 不同播期和密度对大豆产量的影响
Table 6 Effect of different sowing time and density on yield of soybean

年份 Year	处理 Treatment	单株籽粒产量 Seed weight per plant/g				平均 Mean	产量 Yield/ (kg · hm ⁻²)				平均 Mean
		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4	
2012	A1	32.51a	25.74b	23.63c	17.52d	24.85a	1 583.41ab	1 683.42a	1 733.42a	1 516.74b	1 629.25a
	A2	30.87a	25.32b	23.54c	20.77d	25.13a	1 583.41b	1 633.42ab	1 866.76a	1 500.08b	1 645.92a
	A3	19.11a	18.08ab	18.07ab	16.69b	17.99b	1 200.06a	1 283.40a	1 300.07a	1 166.73a	1 237.57b
	Mean	27.50a	23.05b	21.75c	18.33d		1 455.63b	1 533.41ab	1 633.42a	1 394.52b	
2013	A1	27.42a	24.43b	20.13c	17.66d	22.41b	1 530.67b	1 657.60a	1 665.07a	1 526.93b	1 595.07a
	A2	29.91a	26.72b	23.16c	21.60d	25.35a	1 500.80c	1 638.93b	1 762.13a	1 512.00c	1 603.47a
	A3	18.56a	16.10b	14.49c	13.57d	15.68c	1 356.00bc	1 430.40ab	1 468.00a	1 326.13c	1 395.13b
	Mean	25.30a	22.42b	19.26c	17.61d		1 462.49c	1 575.64b	1 631.73a	1 455.02c	

表 7 不同播期和密度对大豆产量构成的影响
Table 7 Effect of different sowing time and density on yield components of soybean

年份 Year	处理 Treatment	单株荚数 Pods per plant				平均 Mean	单株粒数 Seed per plant				平均 Mean	百粒重 Weight of 100 – seed/g				平均 Mean
		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4	
2012	A1	89.83a	72.89b	68.78b	51.83c	70.83a	151.29a	124.30b	110.33c	81.44d	116.84a	21.49a	20.70b	21.40a	21.51a	21.28a
	A2	81.56a	63.28b	61.17b	54.78b	65.19ab	143.53a	114.81b	118.41b	96.48c	118.31a	21.50a	20.50b	21.37a	21.54a	21.23a
	A3	49.94a	48.61a	48.28a	46.89a	48.43b	88.56a	89.72a	92.00a	80.72a	87.75b	20.41ab	20.12b	20.78a	20.71a	20.51b
	Mean	73.78a	61.59b	59.41bc	51.17c		127.79a	109.61b	106.91b	86.21c		21.13a	20.44b	21.18a	21.25a	
2013	A1	71.88a	58.87b	53.5c	46.55d	57.70b	132.58a	114.22b	97.93c	86.08d	107.70b	20.68b	21.39a	20.56b	20.52b	20.79a
	A2	76.63a	73.70b	62.65c	53.42d	66.60a	140.72a	132.65b	112.53c	101.03d	121.73a	21.26a	20.15c	20.59b	21.37a	20.84a
	A3	55.37a	47.35b	43.48c	39.15d	46.34c	94.18a	81.68b	75.37c	69.32d	80.13c	19.71a	19.71a	19.23b	19.58ab	19.56b
	Mean	67.96a	59.97b	53.21c	46.37d		122.49a	109.52b	95.28c	85.48d		20.55a	20.55a	20.13b	20.49a	

进一步分析大豆荚数与粒数构成可以看出(表 8、表 9),大豆的分枝荚数和粒数占大豆总荚数与总粒数的比重较高,远高于大豆的主茎荚数与粒数,分枝荚数受播期影响规律与主茎荚数一致,适期播种和适当晚播可以提高分枝荚数和主茎荚数。2012 年分枝荚数和主茎荚数,播期间均以 A1 处理最高,分别比 A3 处理高 70.8%、15.0%;2013 年,播期间均以 A2 处理最高,分别比 A3 高 60.5%、21.8%。密度对分枝荚数和主茎荚数影响规律一致,适播和晚播时,分枝荚数和主茎荚数均随着密度的增加而降低,以 B1 处理最高,两年平均值 B1 比 B4 处理高 92.1%、53.8%、19.4% 和 28.3%、33.3%、26.5%。

表 8 不同播期和密度对大豆分枝荚数和主茎荚数的影响
Table 8 Effect of different sowing time and density on branch pods and main stem pods of soybean

年份 Year	处理 Treatment	分枝荚数 Pod number on branch				平均 Mean	主茎荚数 Pod number on main stem				平均 Mean
		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4	
2012	A1	62.80a	48.39b	44.28c	29.92d	46.35a	27.03a	24.50b	24.50b	21.92c	24.49a
	A2	55.06a	39.59b	38.02b	36.53b	42.30b	26.50a	23.69b	23.15c	18.25d	22.90b
	A3	27.61a	27.36a	27.02a	26.51a	27.13c	22.33a	21.25b	21.26b	20.38c	21.30c
	Mean	48.49a	38.45b	36.44b	30.99c		25.29a	23.15b	22.97b	20.18c	
2013	A1	44.03a	36.12b	30.60c	25.70d	34.11b	27.85a	22.75b	22.90b	20.85c	23.59b
	A2	49.60a	49.20a	38.15b	31.50c	42.11a	27.03a	24.50b	24.50b	21.92c	24.49a
	A3	31.37a	26.70b	24.00c	22.90c	26.24c	24.00a	20.69b	19.48c	16.25d	20.11c
	Mean	41.67a	37.34b	30.92c	26.70d		26.29a	22.65b	22.29b	19.67c	

表 9 不同播期和密度对大豆分枝粒数和主茎粒数的影响
Table 9 Effect of different sowing time and density on branch seeds and main stem seeds of soybean

年份 Year	处理 Treatment	分枝荚数 Pod number on branch				平均 Mean	主茎荚数 Pod number on main stem				平均 Mean
		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4	
2012	A1	105.80a	82.52b	71.03c	47.04d	76.60a	45.49a	41.78ab	39.30b	34.40c	40.24ab
	A2	96.90a	71.83b	73.62b	64.35c	76.67a	46.63a	42.98a	44.80a	32.14b	41.64a
	A3	49.05ab	50.81a	51.70a	45.87b	49.36b	39.50a	38.91a	40.30a	34.85b	38.89b
	Mean	83.92a	68.39b	65.45b	52.42c		43.87a	41.22a	41.47a	33.80b	
2013	A1	82.80a	72.05b	58.50c	48.10d	65.36b	49.78a	42.17b	39.43c	37.98d	42.34b
	A2	91.45a	89.90a	67.20b	61.20c	77.44a	49.27a	42.75c	45.33b	39.83d	44.30a
	A3	52.80a	45.73b	38.67c	39.40c	44.15c	41.38a	35.95b	36.70b	29.92c	35.99c
	Mean	75.68a	69.23b	54.79c	49.57d		46.81a	40.29b	40.49b	35.91c	

3 讨论

四川省位于亚热带气候区内,是洪涝灾害的多发区,每年的4~10月都有不同程度的洪涝灾害发生,农户常会错过大豆播种的最佳时期,导致晚播。研究表明^[14,15],大豆晚播,生育进程加快,植株矮小,主茎节数和分枝数减少,光合时间短,使得大豆单株重、茎重、叶重及荚重比正常播期减少,茎叶所占比率下降且比例失调,这样会影响后期灌浆物质来源和产量。种植密度对大豆干物质积累分配的影响主要体现在生育中后期,大豆开花后,在一定种植密度范围内单位面积株重、茎重、叶重、叶柄重、荚重以及作物生长率随密度的增加而增加,但密度过大,它们反而下降^[16,17],结荚期以后,随着密度的增加,茎、荚果所占比率减小,叶及叶柄所占比率增加^[18]。本研究表明,大豆适当晚播(6月25日)能够提高大豆作物生长率以及叶、柄、荚果分配比率。适度密植(14.25万株·hm⁻²)显著提高了大豆花后群体干物质积累、花后作物生长率以及荚果分配比率,且在适当晚播的条件下表现更明显。

前人研究表明,作物晚播,产量会降低^[19~24],为此可以通过密度来弥补播期推迟带来的产量损失。小麦晚播时增大密度有利于小麦产量的提高^[12,25,26],棉花在晚播情况下,可以通过增加密度来实现多结铃,进而获得较高的产量^[13]。大豆在各播期条件下的最适密度不同,迟播时应适应增加密度来提高产量^[27,28],而玉米迟播时,增大种植密度不能够补偿产量损失^[29]。本研究中,太晚播种(7月5日)不利于产量的提高,适播(6月15日)和适当晚播(6月25日)时,密度对大豆产量具有协调作用。随着密度的增加,产量先增加后减少,均以种植密度为14.25万株·hm⁻²时的大豆产量最高。其中,以6月25日播种、种植密度为14.25万株·hm⁻²的大豆产量最高,两年平均产量达1 814.4kg·hm⁻²,比适期播种的大豆最高产量提高了6.8%。进一步分

析增产原因发现,花后干物质积累量和作物生长率与产量呈显著正相关^[17,30]。本研究中,与适期播种相比,适当晚播能够降低株高,构建稳健的株型形态,提高大豆群体干物质积累、作物生长率,适播和晚播时,适度密植(14.25万株·hm⁻²)均能提高大豆花后群体干物质积累、花后作物生长率,且在适当晚播的条件下表现更明显;大豆产量除了取决于干物质积累量外,还取决于干物质积累量在籽粒中的分配量。本研究中,大豆晚播使叶片分配比率减少,荚果分配比率增加,适播和晚播时,适度密植使大豆叶片分配比率减少,荚果分配比率增加,且在适当晚播的条件下表现更明显,说明晚播和适度密植能够促进干物质积累向籽粒中转运,增加大豆分枝粒数和主茎粒数,提高籽粒产量;此外,降雨是影响大豆生长的最主要的生长因子^[31,32],6月25日前,由于有适宜大豆生长的降雨量,使得大豆稳产,6月25日后,由于雨水增多,单株荚数和百粒重变低,导致大豆产量变低。

在本研究条件下,适当晚播(6月25日)时,适度密植(14.25万株·hm⁻²)能使大豆的花后群体干物质积累、作物生长率和荚果分配比率显著提高;分枝粒数和主茎粒数提高。因此,在玉米-大豆套作模式下,延期播种条件下可通过加大种植密度来补偿因缩短营养时间而带来的产量损失,达到播密协调,增产稳产的目的。

参考文献:

[1] 杨文钰,雍太文,任万军,等. 发展套作大豆,振兴大豆产业[J]. 大豆科学. 2008,27(1):1-7.
[2] 王 竹,伍晓艳,吴其林. 玉米株型和幅宽对套作大豆初花期形态建成及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2008,19(2): 323-329.
[3] 雍太文,向达兵,张亚飞. 玉/豆套作模式下玉米播期与密度对大豆农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2009,28(30):440-444.
[4] 闫艳红,杨文钰,张新全,等. 施氮量对套作大豆花后

- 光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(3):233-238.
- [5] 闫艳红,李兴佐,邓卫民. 不同品种及播期对丘区套作大豆产量的影响[J]. 大豆科学,2007,26(4):544-549.
- [6] 王 竹,贺阳冬,杨继芝. 套作模式下播期对不同熟性大豆茎叶形态及产量的影响[J]. 河南农业科学, 2009,8(8):40-45.
- [7] 雍太文,杨文钰,任万军. 不同大豆品种与播期对套作大豆产量的影响[A]. 第九届全国作物生理学研讨会论文集[C]. 北京:中国农业出版社,2006. 214-222.
- [8] 申晓慧,姜 成,刘婧琦,等. 播期和肥料对大豆新品种农合 63 生长发育和产量构成因素的影响[J]. 黑龙江农业科学,2012(9):27-29.
- [9] 王继安,王雪峰,姬长举. 不同播期对极早熟大豆产量及农艺性状的影响[J]. 大豆科学,2001,20(2):149-152.
- [10] Boquet D J. Plant population density and row spacing effects on soybean at post-optimal planting dates[J]. Agron J,1990,82:59-64.
- [11] 王志新. 播期和密度对高油高产大豆合丰 50 脂肪含量及产量的影响[J]. 大豆科学,2009,28(6):1 008-1 015.
- [12] 刘万代,陈现勇,尹 钧,等. 播期和密度对冬小麦豫麦 49-198 群体性状和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2009,29(3):464-469.
- [13] 马宗斌,李伶俐,房卫平,等. 短季棉豫早 73 适宜播期与密度研究[J]. 河南农业科学,2005,(4):30-32.
- [14] 奕晓燕,杜维广,陈 怡,等. 播期对不同品种生育阶段与光合产物积累的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2003,4(4):1-5.
- [15] 陈艳秋,宋书宏,张立军. 等. 夏播菜用大豆生长动态及干物质积累分配的研究[J]. 大豆科学,2009,28(3):468-471.
- [16] 刘丽君,祖 伟,张瑞忠. 大豆窄行平播密植条件下的干物质积累规律[J]. 东北农业大学学报,2000,31(1):26-31.
- [17] 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,2002,3(21):199-202.
- [18] 郑天琪,连成才,毕远林,等. 密度和行距对大豆干物质积累与分配的影响[J]. 黑龙江农业科学,1993,(3):46-48.
- [19] 杨永华,盖钧镒,马育华. 春夏秋播季节条件下大豆生育期遗传的差异表现[J]. 中国农业科学,1994,27(3):1-6.
- [20] 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[J]. 中国油料作物学报,2002,4(24):30-32.
- [21] Chen G H, Wiattak P. Soybean development and yield are influenced by planting date and environment conditions in the southeastern coastal plain, United States [J]. Agron J,2010,102:1 731-1 737.
- [22] 范 兵,余华强,田永宏,等. 播期和栽培密度对水稻新品种广两优 35 产量性状的影响[J]. 湖北农业科学,2012,51(24):5 590-5 592.
- [23] Egli D B, Cornelius P I. A regional analysis of the response of soybean yield to planting date[J]. Agron J, 2009,101(2):330-335.
- [24] Robinson A P. Analysis of high yielding, early-planted soybean in Indiana[J]. Agron J,2009,101(1):131-139.
- [25] 屈会娟,李金才,沈学善,等. 种植密度和播期对冬小麦品种兰考矮早八干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 作物学报,2009,35(1):124-131.
- [26] 李 筠,王 龙,任立凯,等. 播期、密度和氮肥运筹对冬小麦连麦 2 号产量与品质的调控[J]. 麦类作物学报,2010,30(2):303-308.
- [27] 邵凤武,张洪利,孙 石. 等. 播期和种植密度对大豆产量及构成因子的影响[J]. 农业科技通讯,2013,(4):80-83.
- [28] 孙伟亮. 播期和种植密度对夏大豆新品种涡豆 5 号生长发育及产量的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(5):2 594-2 595,2 597.
- [29] Van Roekel R J, Coulter J A. Agronomic responses of corn to planting date and plant density[J]. Agron J, 2011,103:1 414-1 422.
- [30] 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.
- [31] 田志会,陈学珍,谢 皓,等. 北京地区夏大豆农艺性状与气象条件关系初探[J]. 中国生态农业学报, 2003,11(4):15-17.
- [32] 于晓秋,郭 玉. 气象因子对大豆产量的影响[J]. 黑龙江气象,2002,2(2):3-4.

(责任编辑:王丽芳)