

播期和密度对绿豆生长、干物质积累及产量的影响

张翼飞,于 崧,张文超,吴 琼,庞 晨,王玉凤,杨克军

(黑龙江八一农垦大学 农学院/寒地作物种质改良与栽培重点实验室,黑龙江 大庆 163319)

摘要:为促进松嫩平原西部干旱半干旱区绿豆的高产优质高效栽培,针对松嫩平原西部干旱半干旱地区绿豆经常晚播的生产实际,通过2年的田间试验,探讨了5月15日(I)、5月25日(II)、6月04日(III)3个播期和12万(D1)、15万(D2)、18万(D3)、21万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ (D4)4个种植密度对绿豆植株性状、干物质积累及产量的影响。结果表明:相比于第I播期,第II和III播期条件下,绿豆的株高、茎粗、主茎节数和分枝数均有所下降,但绿豆生长率有所增加。同时,随播期的推迟,绿豆花后单株干物质积累、花后群体干物质积累、单株荚数、单株粒数和千粒重均呈先增后减的趋势。在3种播期下,合理的种植密度能够使绿豆生长率、花后群体干物质积累增加,构建优良群体结构,在晚播(III)时适度密植(D3)的增产稳产优势更明显。总体来看,II-D2的产量最高,其次为III-D3,2年平均分别比I-D2处理高6.38%和3.08%。

关键词:绿豆;播期;密度;干物质积累;产量构成

中图分类号:S522 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)11-0026-08 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.11.0026

绿豆(*Vigna radiate* (L) Wilczek.)营养丰富,属高蛋白、低脂肪、中淀粉、药食同源的食用豆类作物,是理想的营养保健食品,同时又是较好的出口创汇作物^[1-2]。黑龙江省是我国绿豆主产省之一,种植面积在6.7万 hm^2 左右^[3],由于绿豆耐旱、耐瘠薄、适应性强,其种植主要集中在黑龙江省西部生态环境较差的风沙干旱半干旱地区。但该地区地处松嫩平原腹地,全年降水量在400~500 mm,且年内分配不均,4-6月上旬降水量不到全年降水量的15%,此时期风大,蒸发量大^[4],近50年来,发生春旱的概率在50%~80%,近10年干旱频率明显增加且往往持续时间较长,春旱、夏旱或春夏连旱几乎年年发生^[5],同时早春低温冷害突发性强、频率高、危害大,导致绿豆产量低而不稳,严重制约了区域绿豆的产业化进程^[6-8]。因此,对于黑龙江省西部地区绿豆的播期研究就显得尤为重要。尽管绿豆在该地区的适播期较长,从5月上旬至6月上旬均可播种,但为了等雨足墒播种,避免低温的不良影响,实现苗齐、苗全、苗壮,种植户往往推迟绿豆的播种时期。前人已有

研究^[9-10]表明,播期推迟后,绿豆的生育期缩短,株高变矮,节数变少,分枝减少,单株荚数和籽粒产量呈下降趋势。在这种情况下,仍然延用原有的种植方式和种植密度,致使优良品种的增产潜力难以充分发挥,甚至严重降低绿豆的产量。种植密度是群体发展的起点,适宜的种植密度则是协调群体和个体生长发育的最基本、最重要的调控措施^[11-12]。马宗斌等^[13]在对棉花适宜播期与密度研究中表明,种植密度的增加能够弥补产量损失。屈会娟等^[14]研究表明,正常播期和中、低密度处理以及晚播和中、高密度处理可使小麦籽粒产量和品质同步提高。徐婷等^[15]研究认为在玉米-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。为此,通过增加绿豆种植密度来弥补播期延后所带来的产量损失,寻求适应实际生产条件的播期和密度协调栽培技术,指导绿豆增产增收具有重要的理论与现实意义。

因此,在前人研究的基础上,本文研究了不同播种时期和种植密度对绿豆植株生长性状、干物质积累动态及产量的影响。旨在寻求不同播期条件下绿豆的最佳种植密度,更好地发挥密度的稳产甚至增产效益,为松嫩平原西部干旱半干旱区绿豆的高产优质高效栽培提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

试验于2014-2015年在黑龙江八一农垦大学

收稿日期:2016-09-20

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2014BAD07B05-01);黑龙江省科技厅指导性资助项目(2014BAD07B05-H12)

第一作者简介:张翼飞(1985-),男,黑龙江省哈尔滨市人,博士,讲师,从事作物高产高效栽培技术研究。E-mail: byndzyf@163.com。

通讯作者:杨克军(1968-),男,山东省莒县人,博士,教授,从事作物高产栽培与耕作方面的研究。E-mail: byndykj@163.com。

试验实习基地(N46°37'15", E125°11'56")进行。该区位于我国东北松嫩平原腹地,黑龙江省西部,属北温带大陆性季风气候区,年平均气温4.2℃,年降雨量427.5 mm,全年日照时数为2 726 h,年均无霜期143 d。试验地土壤为碱化草甸土,0~20 cm耕层土壤基础肥力为:有机质25.96 g·kg⁻¹,全氮1.73 g·kg⁻¹,碱解氮157.38 mg·kg⁻¹,速效磷19.31 mg·kg⁻¹,速效钾143.81 mg·kg⁻¹,pH 8.20。

1.2 材料

供试材料为多抗大粒型绿豆品种绿丰5号,由黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院提供。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用二因素裂区设计,主区为播期,设置05-15(I)、05-25(II)、06-04(III)(月-日)共3个播期;副区为播种密度,设置12万(D1)、15万(D2)、18万(D3)和21万株·hm⁻²(D4),4个水平。各小区均施纯N 16 kg·hm⁻²,P₂O₅ 41 kg·hm⁻²,K₂O 37 kg·hm⁻²,其中所有肥料的70%作基施,30%于始花期追施。使用氮肥和磷肥为磷酸二铵(N≥18%,P₂O₅≥46%,云南云天化股份有限公司),钾肥为硫酸钾(K₂O≥50%,新疆罗布泊钾盐有限责任公司)。小区面积39 m²,行距65 cm,3次重复,其它田间管理同常规高产栽培。

1.3.2 测定项目及方法 (1)农艺性状调查:于苗期每个小区选取10株长势一致的绿豆植株,进行挂牌标记,分别在分枝期(BP)、始花期(EFP)、结荚期(PSP)和成熟期(MP),使用直尺和游标卡尺测量挂牌植株的株高、茎粗,并在成熟期调查绿豆主茎节数和主茎分枝数。

(2)干物质积累量的测定:分别于分枝期、始花期、结荚期和成熟期在每个小区连续选取长势一致的绿豆植株5株,取样后立即带回实验室。干物质积累量的测定采用烘干法,将带回的样株分别装袋,置于105℃下杀青30 min,80℃烘至恒重,冷却后取出迅速测定干物质重量。参照徐婷等^[15]的方法,计算绿豆的生长率。

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

式中:W₂-W₁表示一定时间内每平方米土地面积上植株干物质重量的净增长量;T₂-T₁为两次测定时间所间隔的天数。

(3)产量及构成因素的测定:于成熟期,在每个小区选取其中1行,随机选3个样点,每个样点连续选取10株,调查单株荚数、单株粒数和千粒

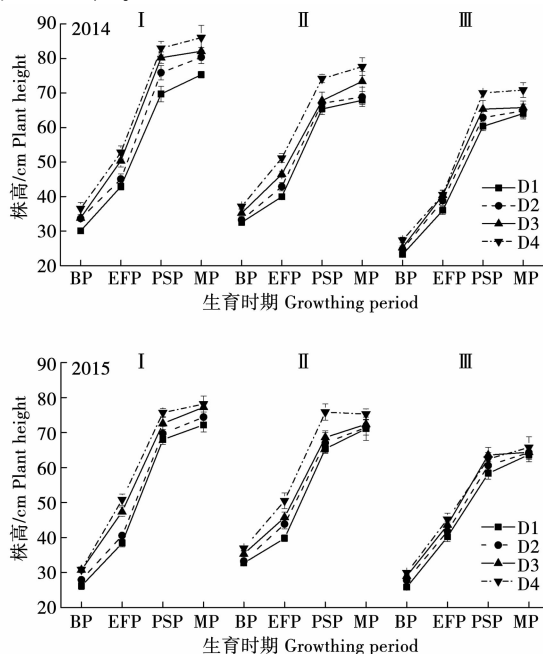
重等产量构成因素,选取小区另外1行实收计产。

1.3.3 数据统计分析 采用Microsoft Excel 2003和SPSS 19.0软件进行数据处理和统计分析,利用Duncan's新复极差法(DMRT)进行差异显著性检验(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 播期和密度对绿豆相关农艺性状的影响

2.1.1 株高 从图1可以看出,绿豆株高的变化随生育进程的推进,整体呈现逐渐升高的趋势。不同播期条件下,绿豆各生育时期的株高均随密度的提升呈增加趋势,其中以第I播期(05-15)和第II播期(05-25)差异明显,第III播期(06-04)条件下绿豆株高总体增长趋势缓慢。其中成熟期,绿豆株高在第I、II和III播期条件下,2014-2015年2a平均值D4处理分别较D1处理高11.80%、8.81%和6.98%;不同种植密度条件下,2a平均值第I播期分别较第II和III播期处理高3.42%和19.53%。



I、II、III分别为播期05-15、05-25、06-04;D1、D2、D3、D4分别为播种密度12万、15万、18万、21万株·hm⁻²。BP、EFP、PSP、MP分别为分枝期、始花期、结荚期、成熟期。下同。I、II and III represent three sowing date of May 15, May 25 and June 04, respectively. Four planting densities D1, D2, D3 and D4 were 12×10⁴, 15×10⁴, 18×10⁴ and 21×10⁴ plant·hm⁻². BP, EFP, PSP and MP were branching period, early flowering period, pod setting period, maturity period, respectively. The same below.

图1 不同播期和密度下绿豆的株高变化
Fig.1 Change of plant height of mung bean under different seeding dates and planting densities

2.1.2 茎粗 由图 2 可知,绿豆的茎粗随着绿豆生育进程的推进,呈现先增加后下降的单峰曲线变化趋势,且均在结荚期达到最大值,其中第 I 和 II 播期条件下绿豆植株茎粗差异较小,但均显著的高于第 III 播期,2014-2015 年结荚期 2 a 平均值第 I 和 II 播期分别比第 III 播期高 0.80 mm 和

0.75 mm,成熟期 2 a 平均值第 I 和 II 播期分别比第 III 播期高 1.33 mm 和 1.41 mm。同时,随着种植密度的增加,在不同播期条件下,绿豆各生育时期的茎粗均表现为下降的趋势,不同种植密度间在 2014 年以结荚期和成熟期差异明显,2015 年则在始花期、结荚期和成熟期表现出显著的差异。其中成熟期,绿豆茎粗在第 I、II 和 III 播期条件下,2 a 茎粗平均值 D4 处理分别较 D1 处理降低 21.11%、17.18%和 13.54%。

2.1.3 主茎节数和分枝数 从表 1 看出,随着绿豆播期的推迟,其主茎节数有逐渐减少的趋势。其中第 I 播期的主茎节数最多,2 a 平均值分别比第 II 和 III 播期多 5.20%和 9.24%。在不同播期条件下,种植密度对于绿豆主茎节数也存在明显的影响,第 I 播期条件下,2014 年以 D2 处理最多,2015 年则以 D1 处理最多;第 II 播期条件下,2 a 均以 D2 处理最多;而在第 III 播期条件,2 a 均以 D2 和 D3 处理较多。主茎分枝数方面,不同处理下以第 I 播期绿豆的分枝数最多,而后随着播期的推迟而逐渐减少,其中第 I 播期 2 a 平均值分别比第 II 和 III 播期分别多 15.00%和 30.11%。随着种植密度的增加,绿豆主茎分枝数逐渐减少,其中以第 I 和 II 播期的密度间差异较为明显,2 a 平均值 D1 处理分别显著高于 D4 处理 45.14%和 37.15%;第 III 播期条件下,密度间无显著差异。

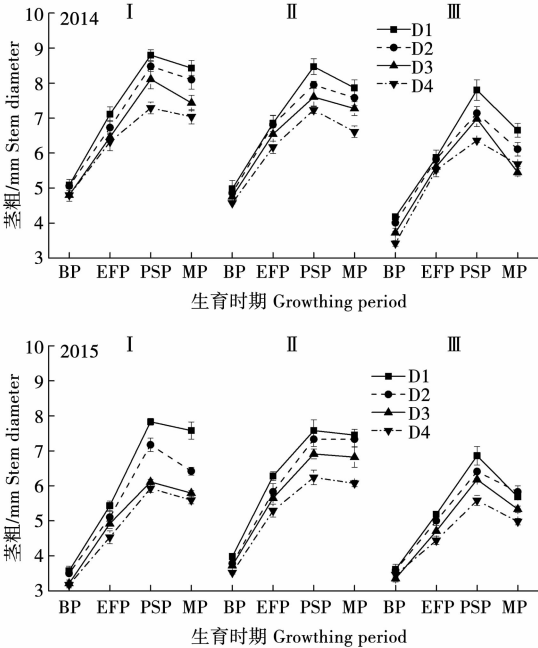


图 2 不同播期和密度下绿豆的茎粗变化
Fig.2 Change of stem diameter of mung bean under different seeding dates and planting densities

表 1 不同播期和密度下绿豆的主茎节数和分枝数

Table 1 Node number and branch number of mung bean main stem under different seeding dates and planting densities											
年份 Year	处理 Treatments	主茎节数 Node number				平均 Mean	主茎分枝数 Branch number				平均 Mean
		D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4	
2014	I	12.60 b	13.10 a	12.30 b	11.60 c	12.40 a	4.40 a	4.10 a	3.20 b	2.60 c	3.58 a
	II	12.10 ab	12.50 a	11.80 b	11.00 c	11.85 b	3.80 a	3.60 a	2.90 b	2.50 c	3.20 ab
	III	11.50 bc	11.90 a	11.80 ab	11.30 c	11.63 b	3.00 a	2.90 a	2.70 a	2.60 a	2.80 b
	Mean	12.07 a	12.50 a	11.97 a	11.30 b		3.73 a	3.53 ab	2.93 bc	2.57 c	
2015	I	12.20 a	11.50 b	11.30 b	10.90 c	11.48 a	4.10 a	3.80 ab	3.50 b	2.80 c	3.55 a
	II	11.00 ab	11.30 a	10.90 b	10.20 c	10.85 b	3.50 a	3.30 ab	2.80 bc	2.40 c	3.00 b
	III	10.20 ab	10.30 ab	10.50 a	9.90 b	10.23 c	2.80 a	2.80 a	2.70 a	2.40 a	2.68 b
	Mean	11.13 a	11.03 a	10.90 ab	10.33 b		3.47 a	3.30 ab	3.00 b	2.53 c	

表中数据为 3 个重复的平均值。同一年度内,同行数据后不同字母表示同一播期、不同密度处理间的差异显著性(DMRT 法, $P<0.05$)。平均列(行)单独进行比较。下同。
Data in the table are means of three replicates. In each growing season,different lowercases in same row mean significantly different at 0.05 level under same seeding dates and different planting densities according to DMRT test. In each growing season,the data within one mean column or row were compared alone. The same below.

2.2 播期和密度对绿豆干物质积累的影响

2.2.1 绿豆单株干物质积累 不同播期和密度处理下绿豆干物质积累呈先上升后下降的变化趋势,峰值均出现在结荚期(见表2)。不同播期对绿豆单株干物质积累影响表现为,在分枝期(BP)2014年以第II播期处理的最高,其次为第I播期,两者分别比第III播期高25.24%和19.71%,且差异显著;而2015年则以第III播期处理的最高,分别比第I和第II播期高16.67%和11.16%,

且差异显著。始花期(EFP),绿豆干物质积累随着播期的推迟,呈逐渐下降的趋势,其中第I播期干物质积累量2a平均值较第III播期明显高16.47%;而在结荚期(PSP)和成熟期(MP)不同播期间差异不显著。在不同播期条件下,绿豆干物质积累量总体随密度的增加而逐渐减少,分枝期、始花期、结荚期和成熟期D1处理2a平均值分别比D4处理高24.57%、79.57%、65.90%和64.56%。

表2 不同播期和密度下绿豆的单株干物质积累量

Table 2 Drymatter accumulation in mung bean individual plant under different seeding date and planting density

播期 Seeding date	密度 Planting density	单株干物质积累/(g·plant ⁻¹) Dry matter accumulation per plant							
		2014 年				2015 年			
		BP	EFP	PSP	MP	BP	EFP	PSP	MP
I	D1	5.54 a	18.53 a	73.41 a	57.75 a	2.50 a	17.41 a	63.42 a	46.93 a
	D2	5.25 a	15.53 b	61.11 b	50.80 b	2.22 b	15.69 b	58.74 b	43.58 b
	D3	4.63 b	12.58 c	50.29 c	39.64 c	2.20 b	11.20 c	47.71 c	33.68 c
	D4	4.50 b	10.26 d	41.67 d	33.62 d	1.95 c	9.10 d	38.75 d	27.45 d
II	D1	5.70 a	16.09 a	73.10 a	55.08 a	2.53 a	15.42 a	61.93 a	44.50 a
	D2	5.43 a	15.47 a	63.78 b	51.47 b	2.34 ab	12.73 b	59.99 b	44.89 a
	D3	5.00 b	12.58 b	51.74 c	41.89 c	2.36 ab	11.08 c	48.95 c	34.89 b
	D4	4.72 b	9.98 c	41.21 d	34.53 d	2.09 b	7.93 d	37.44 d	28.67 c
III	D1	4.82 a	15.98 a	62.93 a	53.95 a	2.80 a	13.32 a	58.79 a	43.48 a
	D2	4.06 bc	13.81 b	58.58 b	48.69 b	2.69 a	12.49 b	53.79 b	40.70 b
	D3	4.16 b	11.87 c	50.30 c	41.24 c	2.57 ab	10.64 c	47.59 c	35.23 c
	D4	3.61 c	8.74 d	40.75 d	33.60 d	2.30 b	7.87 d	37.42 d	25.46 d
I-Mean		4.98 a	14.23 a	56.62 a	45.45 a	2.22 c	13.35 a	49.40 a	37.91 a
II-Mean		5.21 a	13.53 ab	57.46 a	45.74 a	2.33 b	11.79 ab	52.08 a	38.24 a
III-Mean		4.16 b	12.60 b	53.14 a	44.37 a	2.59 a	11.08 b	52.16 a	36.22 a
D1-Mean		5.35 a	16.87 a	69.81 a	55.59 a	2.61 a	15.38 a	61.38 a	44.97 a
D2-Mean		4.91 b	14.94 b	61.16 b	50.32 b	2.42 b	13.64 b	57.51 b	43.06 a
D3-Mean		4.60 bc	12.34 c	50.78 c	40.92 c	2.38 c	10.97 b	48.08 c	34.60 b
D4-Mean		4.28 c	9.66 d	41.21 d	33.92 d	2.11 d	8.30 c	37.87 d	27.19 c

2.2.2 绿豆群体干物质积累 由表3可知,与单株干物质积累动态相似,不同播期和密度条件下绿豆群体干物质积累量亦呈单峰曲线变化,并在结荚期达到峰值。不同播期和密度间绿豆各生育时期群体干物质积累量变化不一致,在分枝期,2014年以第II播期最高,较第III播期显著多

25.79%;2015年则以第III播期最高,分别较第I和II播期多17.20%和11.06%,且均达显著水平。同时,不同播期下,分枝期绿豆群体干物质积累量均随密度的提升而增加,以D4处理最高,2a平均值比D1处理显著多40.45%。而在分枝期之后,随着播期的推迟绿豆群体干物质积累量表

现为先升高后降低的变化趋势,同时随着种植密度的增加,群体干物质积累量亦呈先升后降趋势,其中成熟期以 D2 和 D3 处理较高,2 a 平均值分别比 D1 和 D4 处理多 16.07%和 9.14%、

12.66%和 5.93%。各处理组合间以 II-D2 处理群体干物质积累最高,2 a 平均值 II-D2 分别比 I-D2、III-D3 处理提高了 2.10%和 4.99%。

表 3 不同播期和密度下绿豆的群体干物质积累量

Table 3 Dry matter accumulation of mung bean population under different seeding dates and planting densities

播期 Seeding date	密度 Planting density	群体干物质积累/(kg·hm ⁻²) Dry matter accumulation in population							
		2014 年				2015 年			
		BP	EFP	PSP	MP	BP	EFP	PSP	MP
I	D1	665.20 c	2224.00 ab	8808.80 b	6930.00 b	299.60 b	2089.20 b	7610.00 c	5631.20 c
	D2	787.50 b	2330.00 a	9166.00 a	7619.50 a	332.50 b	2354.00 a	8811.00 a	6536.50 a
	D3	834.00 b	2264.40 ab	9052.80 ab	7134.60 b	396.00 a	2016.00 b	8587.80 a	6063.00 b
	D4	945.00 a	2155.30 b	8750.00 b	7060.90 b	409.50 a	1911.70 c	8137.50 b	5763.80 bc
II	D1	683.60 d	1931.20 c	8771.60 b	6609.60 d	303.20 b	1850.80 b	7431.20 c	5340.00 d
	D2	815.00 c	2320.50 a	9567.50 a	7720.00 a	351.50 b	1910.00 ab	8999.00 a	6733.00 a
	D3	900.60 b	2264.40 a	9312.60 ab	7539.60 b	424.20 b	1993.80 a	8811.60 a	6280.20 b
	D4	991.90 a	2096.50 b	8654.10 b	7251.30 c	438.20 a	1665.30 c	7861.70 b	6021.40 c
III	D1	578.80 b	1917.60 b	7551.60 d	6473.60 c	336.40 c	1598.40 b	7071.60 c	5217.20 c
	D2	609.50 b	2071.00 a	8787.50 b	7303.50 a	403.50 b	1874.00 a	8068.00 b	6105.50 b
	D3	748.80 a	2137.20 a	9054.60 a	7423.80 a	462.00 a	1914.60 a	8565.60 a	6342.00 a
	D4	758.80 a	1834.70 b	8556.80 c	7056.00 b	483.00 a	1652.00 b	7857.50 b	5347.30 c
I-Mean		807.93 a	1743.43 a	8944.40 ab	7186.25 a	359.40 c	2092.73 a	8286.58 a	5998.63 a
II-Mean		847.78 a	2153.15 a	9076.45 a	7280.13 a	379.28 b	1854.98 b	8275.88 b	6093.65 a
III-Mean		673.98 b	1990.13 a	8487.63 b	7064.23 a	421.23 a	1759.75 b	7890.68 a	5753.00 a
D1-Mean		642.53 d	1357.60 a	8377.33 b	6671.07 c	313.07 c	1846.13 ab	7370.93 c	5396.13 b
D2-Mean		737.33 c	2240.50 a	9173.67 a	7547.67 a	362.50 b	2046.00 a	8626.00 a	6458.33 a
D3-Mean		827.80 b	2222.00 a	9140.00 a	7366.00 ab	427.40 a	1974.80 ab	8655.00 a	6228.40 a
D4-Mean		898.57 a	2018.83 a	8653.63 ab	7122.73 b	443.57 a	1743.00 b	7952.23 b	5710.83 b

2.2.3 绿豆生长率 由表 4 看出,不同播期和种植密度对绿豆生长率存在一定的影响。分枝期—始花期与始花期—结荚期 2 个阶段,均以第 III 播期生长率最高,2 a 平均值显著高于第 I 播期 51.29%和 13.71%,但与第 II 播期差异不明显。不同播期条件下,绿豆生长率整体随种植密度的增加呈先升高后下降的趋势。各处理组合间,以 III-D2 处理绿豆花前生长率最高,2 a 平均值分别比 II-D2、II-D3、I-D1 处理高 8.22%、12.84%和 50.70%;III-D3 和 II-D2 处理的花后生长率较高,2 a 平均值分别比 I-D2 和 I-D3 处理高 18.48%和 17.88%、14.99%和 14.40%。

2.3 播期和密度对绿豆产量和产量构成因素的影响

2.3.1 绿豆产量 随着播期的延迟使绿豆单株籽粒产量呈先增后降趋势(见表 5),不同播期条件下,密度间均以 D1 处理最高,2 a 平均值 D1 比 D4 处理分别多 78.42%、78.88%和 51.96%。随着播期的推迟,绿豆的产量呈单峰曲线变化,2 a 均以第 II 播期产量最高,且种植密度对绿豆产量具有协调效应,其中第 I 和 II 播期条件下,2 a 均以 D2 处理产量最高,显著高于其它密度处理;第 III 播期条件下,以 D3 处理产量最高,2 a 平均值比 D1 处理多 30.36%。总体来看,不同处理组合间,以 II-D2 处理单产最高,其次为 III-D3 处理,

2 a平均值分别比 I-D1 和 I-D2 处理多 24.47%和 6.38%、20.61%和 3.08%。

表 4 不同播期和密度下绿豆的生长率

Table 4 Growth rate of mung bean under different seeding dates and planting densities

年份 Year	处理 Treatments	生长率/(g·m ⁻² ·d ⁻¹) Growth rate									
		BP-EFP					EFP-PSP				
		D1	D2	D3	D4	Mean	D1	D2	D3	D4	Mean
2014	I	8.20 a	8.12 a	7.53 b	6.37 c	7.56 b	19.95 a	20.72 a	20.57 a	19.98 a	20.31 b
	II	8.91 bc	10.75 a	9.74 ab	7.89 c	9.32 a	22.80 a	24.16 a	23.49 a	21.86 a	23.07 a
	III	10.30 a	11.24 a	10.68 a	8.28 b	10.13 a	20.12 b	23.99 a	24.71 a	24.01 a	23.21 a
	Mean	9.14 a	10.04 a	9.32 a	7.51 b		20.96 a	22.96 a	22.92 a	21.95 a	
2015	I	8.13 a	8.09 a	6.48 b	6.01 c	7.18 b	17.25 b	20.18 a	20.54 a	19.46 a	19.36 b
	II	11.90 a	11.99 a	12.07 a	9.44 b	11.35 a	18.00 c	22.87 a	21.99 a	19.99 b	20.71 a
	III	11.47 b	13.37 a	13.21 a	10.63 c	12.17 a	19.55 c	22.12 b	23.75 a	22.16 b	21.90 a
	Mean	10.50 a	11.15 a	10.50 a	8.69 b		18.27 c	21.72 ab	22.09 a	20.54 b	

表 5 不同播期和密度下绿豆的产量

Table 5 Yield of mung bean under different seeding dates and planting densities

年份 Year	处理 Treatments	单株籽粒产量/g Seed weight per plant					产量/(kg·hm ⁻²) Yield per hectare				
						平均 Mean					平均 Mean
		D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4	
2014	I	10.65 a	9.78 b	7.67 c	5.73 d	8.46 a	1278.59 c	1467.18 a	1380.83 b	1203.57 d	1332.54 a
	II	12.42 a	10.26 b	8.08 c	6.27 d	9.26 a	1490.89 ab	1538.87 a	1454.15 b	1316.44 c	1450.09 a
	III	9.59 a	8.94 b	8.15 c	6.30 d	8.25 a	1150.78 c	1340.27 b	1467.16 a	1323.61 b	1320.46 a
	Mean	10.89 a	9.66 a	7.97 b	6.10 c		1306.75 a	1448.77 a	1434.05 a	1281.21 a	
2015	I	9.03 a	8.65 b	6.21 c	5.30 d	7.30 a	1083.91 b	1297.09 a	1118.18 b	1113.25 b	1153.11 a
	II	9.85 a	9.35 b	7.23 c	6.18 d	8.15 a	1182.18 c	1401.77 a	1301.71 b	1297.39 b	1295.76 a
	III	8.63 a	8.16 b	7.68 c	5.69 d	7.54 a	1035.02 c	1223.86 b	1382.20 a	1195.80 b	1209.22 a
	Mean	9.17 a	8.72 a	7.04 b	5.72 c		1100.37 b	1307.57 a	1267.36 ab	1202.15 ab	

表 6 不同播期和密度下绿豆的产量构成因素

Table 6 Yield components of mung bean under different seeding dates and planting densities

年份 Year	处理 Treatment	单株荚数 Pods per plant					单株粒数 Seeds per plant					千粒重/g Weight of 1000 seeds				
						平均 Mean					平均 Mean					平均 Mean
		D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4		D1	D2	D3	D4	
2014	I	20.3 a	18.9 b	14.4 c	11.3 d	16.23 a	180.5 a	167.2 b	131.2 c	99.9 d	144.70 a	59.03 a	58.50 ab	58.47 ab	57.37 b	58.34 ab
	II	22.4 a	19.2 b	15.5 c	11.9 d	17.25 a	209.3 a	172.8 b	140.4 c	107.6 d	157.53 a	59.36 a	59.37 a	57.54 c	58.26 b	58.63 a
	III	18.6 a	17.6 b	15.7 c	12.4 d	16.08 a	165.2 a	154.4 b	140.8 c	110.5 d	142.73 a	58.05 a	57.87 ab	57.89 ab	57.04 b	57.71 b
	Mean	20.43 a	18.57 a	15.20 b	11.87 c		185.00 a	164.80 a	137.47 b	106.00 c		58.81 a	58.58 ab	57.97 ab	57.56 b	
2015	I	19.6 a	18.4 b	14.3 c	11.4 d	15.93 a	155.6 a	149.4 b	107.7 c	92.5 d	126.30 a	58.05 a	57.88 a	57.68 a	57.31 a	57.73 b
	II	20.3 a	19.3 b	15.6 c	12.7 d	16.98 a	167.8 a	159.8 b	124.9 c	106.5 d	139.75 a	58.71 a	58.48 a	57.90 a	58.01 a	58.28 a
	III	18.6 a	17.5 b	16.4 c	11.9 d	16.10 a	148.3 a	138.5 b	132.6 b	99.1 c	129.63 a	58.16 ab	58.05 a	57.87 ab	57.04 b	57.78 b
	Mean	19.50 a	18.40 a	15.43 b	12.00 c		157.23 a	149.23 a	121.73 b	99.37 c		58.31 a	58.14 ab	57.82 bc	57.45 c	

2.3.2 绿豆产量构成因素 进一步分析产量构成因素可以看出(见表6),绿豆的单株荚数2014和2015年均以第II播期最多,但与其它播期差异不明显。不同播期条件下,单株荚数均随密度的增加而减少,以D1处理最多,2a平均值分别比D4处理高75.77%、73.58%和53.09%。不同播期和种植密度下,单株粒数的变化规律与单株荚数表现一致,同样以D1处理最多,2a平均值分别比D4处理高74.69%、76.13%和49.57%。随着播期的推迟,绿豆千粒重呈先增加后减少趋势,2a平均值第II播期比第III播期明显高1.23%。而绿豆千粒重总体上随种植密度的增加逐渐下降,2a平均值D1处理千粒重比D4处理显著高1.83%,但与D2和D3处理差异不显著。

3 结论与讨论

播种时期是作物重要的栽培因子,适时播种,不仅能提高绿豆抵御外界不良环境的能力,还能保证高产稳产^[16]。尽管已有研究^[17]表明,适时早播可以通过提高绿豆对光能的利用率,促进源库关系的协调,利于产量的提升。但基于早春低温及阶段性干旱胁迫频繁发生的生产实际条件,黑龙江省西部干旱半干旱地区农户常会推迟播种时期,为绿豆种子萌发和出苗提供优越的环境条件。王英杰等^[10]研究发现,随着播期延后绿豆株高变矮,节数变少,分枝减少,单株荚数呈下降趋势,千粒重增加,与株荚数呈负相关。也有研究^[12,18]发现,低密度种植条件下,由于单株的营养面积相对较大,通风透光条件好,植株表现出生长旺盛,单株分枝数和荚数增加;提高种植密度,虽然增加了单位面积内的个体数量,但也加剧了个体之间对光照、水分和营养物质的竞争,使得个体营养生长和生殖生长受到限制,单株分枝数和荚数变小,植株由于郁闭度高无法满足其光合效应及生长的需求,故产量可能反而下降。因此,合理的种植密度能够协调好群体与个体的关系,有利于发挥绿豆品种的增产潜力。本研究表明,延迟绿豆播期(5月25日和6月04日),绿豆株高、茎粗、主茎节数和分枝数逐渐变小,但绿豆的生长率和群体干物质积累量明显提高。适度密植(15万株·hm⁻²和18万株·hm⁻²)可以显著提高花后群体干物质积累量、花后绿豆的生长率,且在晚播(6月04日)条件下表现更为显著。

已有大量的研究^[19-21]表明,播期推迟会导致作物产量的下降,但是可以通过提高种植密度来弥补晚播的产量损失。增加种植密度也有利于提高晚播小麦^[14,22]和棉花^[13]的籽粒产量;而迟播条件下增加玉米的种植密度则不能补偿籽粒产量损失^[23]。本研究中,总体上随着种植密度的增加,绿豆单位面积产量呈先增加后下降的变化趋势,其中5月15日和5月25日播种条件下,密度为15万株·hm⁻²时产量最高,较高的种植密度不利于产量的提高;而晚播(6月04日)时,适度增加种植密度(18万株·hm⁻²)对绿豆产量具有协调作用。高小丽等^[24]针对不同绿豆品种花后干物质积累与转运特性的研究表明,各器官花后干物质积累和转运能力是影响绿豆产量的主要因素之一。本研究中,与早播相比,推迟播期会使绿豆株高降低,利于构建稳健的植株形态和通透的群体结构,提高了群体的干物质积累和生长速率,较晚播种时,适度密植(18万株·hm⁻²)均能提高绿豆花后群体生长速率和干物质的积累,为更多干物质积累向籽粒中转运创造了良好的基础条件,进而提高籽粒产量。

在本研究条件下,适当晚播(5月25日)时,种植密度为15万株·hm⁻²时,产量最高,2a平均值达1470.32 kg·hm⁻²;如进一步延迟播期(6月04日),可通过加大种植密度(18万株·hm⁻²)来补充因缩短绿豆营养生长时间而带来的产量损失,达到播期密度相互协调,增产稳产的目的。

参考文献:

- [1] 王秀文,李建喜. 旱地绿豆高产优质栽培配套技术初探[J]. 作物杂志,2002(3):27-28.
- [2] 宋国权,戴新文. 辽西半干旱地区绿豆高产栽培技术[J]. 黑龙江农业科学,2009(5):174-175.
- [3] 刘峰. 黑龙江省绿豆产业现状及技术对策[J]. 杂粮作物,2010,30(2):151-153.
- [4] 王孟雪,张玉先. 耕作措施对黑龙江省风沙土区玉米生长发育及产量的影响[J]. 水土保持通报,2013,33(4):59-63.
- [5] 陈红,张丽娟,李文亮,等. 黑龙江省农业干旱灾害风险评估与区划研究[J]. 中国农学通报,2010,26(3):245-248.
- [6] 杨开宝,白永红,张国云. 旱作绿豆组合覆盖的增产机理[J]. 西北农业学报,2009,18(6):147-150.
- [7] 李敏,李清泉,曾玲玲. 黑龙江省绿豆生产存在的问题及对策[J]. 黑龙江农业科学,2011(10):133-134.
- [8] 徐亚东. 吉林省绿豆高产栽培技术[J]. 吉林农业,2012(7):105.
- [9] 包淑英,张凌,汪孟丽,等. 不同播期对绿豆品种洮绿5号生育性状和产量的影响[J]. 园艺与种苗,2011(6):78-80.
- [10] 王英杰,赵阳,庄艳,等. 播种时期对辽绿8号农艺性状和

- 产量的影响[J]. 辽宁农业科学,2014(3):82-84.
- [11] 陈剑,葛维德. 高密度种植对不同绿豆株型品种农艺性状及产量的影响[J]. 作物杂志,2013(6):104-109.
- [12] 赵阳,庄艳,陈剑,等. 不同播种密度对辽绿 8 号产量性状和产量的影响[J]. 辽宁农业科学,2013(3):66-67.
- [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] 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.
- [15] 徐婷,雍太文,刘文钰,等. 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[J]. 中国油料作物学报,2014,36(5):593-601.
- [16] 包淑英,郭中校,王明海,等. 绿豆新品种洮绿 5 号的选育与栽培技术[J]. 杂粮作物,2009,23(6):364-365.
- [17] 葛维德,王英杰,赵阳. 播期对绿豆干物质的积累和产量的影响[J]. 园艺与种苗,2013(1):15-18.
- [18] 王桂梅,邢宝龙,张旭丽,等. 不同群体密度对绿豆农艺性状和产量的影响研究[J]. 安徽农学通报,2015,21(11):23-24.
- [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: 1731-1737.
- [22] 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.
- [23] VanRoekel R J,Coulter J A. Agronomic responses of corn to planting date and plant density[J]. Agron J,2011,103: 1414-1422.
- [24] 高小丽,孙健敏,高金锋,等. 不同绿豆品种花后干物质积累与转运特性[J]. 作物学报,2009,35(9):1715-1721.

Effects of Seeding Date and Planting Density on Growth, Dry Matter Accumulation and Yield Component of Mung Bean

ZHANG Yi-fei, YU Song, ZHANG Wen-chao, WU Qiong, PANG Chen, WANG Yu-feng, YANG Ke-jun

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Germplasm Improvement and Cultivation in Cold Regions of Heilongjiang Province, Education Department, Daqing, Heilongjiang 163319)

Abstract: In order to promote the high yield, good quality and top efficiency of mung bean cultivation, based on the actual production problem of sowing date which always delayed in arid and semi-arid region of Western Songnen Plain, a two-year field experiment was conducted with three sowing times (May 15, May 25 and June 04, denoted as I, II and III) and four planting densities (12×10^4 , 15×10^4 , 18×10^4 and 21×10^4 plant \cdot hm $^{-2}$, denoted as D1, D2, D3 and D4), the effects of sowing time and planting density on agronomic traits, dry accumulation and yield of mung bean were investigated. The results showed that compared to sowing time I (May 15), plant height, stem diameter, node number and branch number on main stem were decreased, but growth rate increased under II (May 25) and III (June 04) sowing time condition. Moreover, with the delay of sowing time, post-anthesis dry matter accumulation in single plant and population, pods per plant, seeds per plant and weight of 1 000 seeds of mung bean were first increased and then decreased. Under the three different sowing date conditions, reasonable planting density resulted in higher growth rate, post-anthesis dry matter accumulation in mung bean population and excellent canopy structure, especially with late sowing date (III) on June 04 and moderate high planting density (D3). It was more obvious in increasing and stabilizing seed yield. Overall, for the average yield of two years, II-D2 was the highest, followed by III-D3, and they were 6.38% and 3.08% higher than I-D2, respectively.

Keywords: mung bean; seeding date; planting density; accumulation of dry matter; yield component

(该文作者还有陈天宇、张鹏飞、张春雨,单位同第一作者)