

## 密度对大豆农艺性状及产量构成因素空间分布特征的影响

王程<sup>1,2</sup>, 刘兵<sup>2</sup>, 金剑<sup>2</sup>, 刘居东<sup>2</sup>, 张秋英<sup>2</sup>, 刘晓冰<sup>1</sup>, 李文滨<sup>1</sup>, Stephen J. Herbert<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>东北农业大学大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030; <sup>2</sup>中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土生态黑龙江省重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081; <sup>3</sup>University of Massachusetts, Amherst, MA, 01003, USA)

**摘要:**以3个大豆品种(系)为材料,在田间条件下研究了不同种植密度对大豆农艺性状和单株产量构成因素空间分布特征的影响。结果表明:随密度增加,大豆株高逐渐升高,而主茎节数、基部茎粗及单株茎干重则相对减少。密度对大豆单株产量、荚数和粒数有显著的影响,与中密度相比,低密度分别增加海339、黑农35和垦农18单株产量80.3%、55.4%和12.6%,而高密度则降低海339、黑农35和垦农18单株产量57.4%、24.7%和53.6%。密度对节间每荚粒数和单粒重也有一定影响,但品种间存在差异。3个品种大豆的节间荚数、粒数和粒重的空间分布由上至下呈“微弧型”分布,即中部多,上下部少;而节间每荚粒数和单粒重近似呈现“|”直线型分布,随着密度的下降,3个品种大豆主茎全部节位的荚数、粒数和粒重均表现出增加趋势,但这种增加在各品种间的上、中和下部节位上存在一些差异。垦农18大豆节间的每荚粒数和单粒重具有很高的稳定性,黑农35稳定性次之,而海339稳定性最弱。因密度的增加而增加的产量与因密度增加而个体受抑导致的减产的数学表达式为: $Y_{n+1} = Y_n + Y_D - Y_C$ 。此表达式存在平衡点,此平衡点可作为评价大豆高产群体适宜密度的指标。

**关键词:**大豆;密度;农艺性状;产量构成;空间分布

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2008)06-0936-07

## Influences of Planting Density on Agronomic Traits and Spatial Distribution of Yield Components Across Main Stem in Soybean

WANG Cheng<sup>1,2</sup>, LIU Bing<sup>2</sup>, JIN Jian<sup>2</sup>, LIU Ju-dong<sup>2</sup>, ZHANG Qiu-ying<sup>2</sup>, LIU Xiao-bing<sup>2</sup>, LI Wen-bin<sup>1</sup>, S J Herbert<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Soybean Research Institute, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang; <sup>2</sup>Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang, China; <sup>3</sup>University of Massachusetts, Amherst, MA, 01003, USA)

**Abstract:** Effects of planting densities on agronomic traits and spatial distribution of yield components across the main stem in soybean were investigated in field conditions with three soybean genotypes. Plant height increased with the density increased, while main stem node number, basal node diameter and dry weight of individual stem declined. Planting density had notable influence on pod number, seed number and yield of individual plant. Compared with the medium density, the lower density increased the individual plant yield of H339, HN35, and KN18 by 80.3%, 55.4% and 12.6%, separately; while the higher density deduced the individual plant yield of H339; HN35 and KN18 by 57.4%, 24.7% and 53.6%. Planting density had certain influence on seed number per pod and seed weight in each node, and the effect varied among genotypes. The spatial distribution of pod number, seed number and seed weight across the main stem in three genotypes showed the arc shape from top to bottom, i. e. more in middle part and fewer in top or bottom, and the distribution of seed number per pod and single seed weight was almost like “Linear”. With density decreased, pod number, seed number and seed weight in each node all increased in the three genotypes but had some difference in top, medium and bottom layer with different genotypes. The cultivar KN18 had greater stability in the seed number per pod and single seed weight, followed by cultivar HN35, while line H339 was not stable. The mathematics expression with increased yield and inhibited individual yield by increased density was “ $Y_{n+1} = Y_n + Y_D - Y_C$ ”, this expression existed a balance point which could be used as an indicator for estimating suitable density for the high yield population in soybean.

收稿日期:2008-07-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30671315);黑龙江省杰出青年科学基金资助项目(JC200617);哈尔滨市留学回国基金项目(2005AFL-Y-J-003)资助项目。

作者简介:王程(1983-),男,硕士研究生,研究方向为作物生理生态学。E-mail: wangcheng1983@vip.163.com。

通讯作者:刘晓冰,研究员,博士生导师。E-mail:xbxliu@yahoo.com。

**Key words:** Soybean; Planting density; Agronomic traits; Yield components; Spatial distribution

大豆生产是群体生产,不同的群体密度对大豆个体的生长、发育和产量影响不同。我国自 20 世纪 50 年代以来对大豆种植密度开展了广泛的研究。赵荣琛<sup>[1]</sup>和常耀中<sup>[2]</sup>分别研究了大豆行株配置和群体合理摆布与产量的关系,Purcell 和 Board 对大豆群落结构方面的研究也指出合理的种植密度对大豆叶片有效光截获的重要性<sup>[3-5]</sup>,认为单位面积株数多少与合理摆布,是关系到大豆营养面积和通风透光条件改善的重大问题,必须协调好个体生长和群体生长的关系,使大豆生长发育向有利于提高产量的方向发展。张瑞忠等<sup>[6]</sup>、郭午等<sup>[7]</sup>和刘金印等<sup>[8]</sup>对大豆的种植密度分别进行了研究,指出合理种植密度能提高大豆单位面积产量,充分发挥个体生产潜力,最大限度运用群体在增加单位面积产量上的作用,且能统一个体与群体之间的矛盾,增加单位面积荚数、粒数和粒重。

董钻等<sup>[9]</sup>研究了不同密度下大豆产量空间分布,提出大豆产量垂直空间分布可分为上层结荚型、均匀结荚型和中层结荚型,水平分布可分为主茎结荚型和分枝结荚型。游明安等<sup>[10]</sup>报道,大豆产量垂直分布分为三类(上层型、均匀型、中层型),水平分布也分为三类(主茎型、并重型、分枝型),共组合成 9 种类型,并发现产量与空间分布类型密切相关,指出垂直分布的均匀型和水平分布的主茎型和并重型是高产的空间分布类型。单位面积的株数、单株荚数、每荚粒数和每粒重是 4 个产量构成因素。产量构成因素的合理空间分布对影响和发掘大豆产量潜力至关重要。然而,有关密度对大豆产量构成因素空间分布的研究尚无报道。

在探讨密度影响农艺性状及产量的基础上,重点分析了产量构成因素的空间分布特征对不同密度的响应。在大豆理想株型设计及寻求产量突破途径的研究中,探讨产量及产量构成因素在群体植株空间合理分布是其不可忽视的一个方面。可为深化大豆生物学规律,合理调控产量构成因素及其空间分布,也为株型育种、高产栽培及优化大豆群体结构提供一定理论参考。

## 1 材料和方法

试验于 2007 年在中国科学院海伦农业生态实验站(N47°27',E126°56'),该站冬季寒冷漫长,春季多风低温,夏季雨热同季,年平均气温 1.5℃,年平均降水量 530 mm 左右。选取 3 个大豆品种(系),

海 339、黑农 35 和垦农 18,在 14、27、54 株·m<sup>-2</sup> 3 个种植密度下种植,小区试验,随机区组排列,3 次重复。垄作方式,5 条垄小区,垄长 7.5m,垄宽 0.67 m,小区面积为 17.5 m<sup>2</sup>。2007 年 5 月 7 日人工播种,播种前施底肥,尿素 50 kg·hm<sup>-2</sup>(N 46%)、二铵 50 kg·hm<sup>-2</sup>(N 18%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>46%)。其他各项田间管理同大田。子实成熟后,各小区 3 点取样,每点 5 株,计 15 株,带回室内考种测定单株产量,分析产量构成因素及其分布。每小区收取中间 2 行,即 4 m<sup>2</sup>,测定了子实产量。运用 Sigmaplot 2000 软件作图,用 SAS 软件进行统计分析<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 密度对大豆植株节间产量构成因素空间分布的影响

从图 1~3 可看出,3 个品种大豆的节间荚数、粒数和粒重的空间分布由上至下呈“微弧形”分布,即中部多,上下部少。从空间分布上来看,随着密度的下降,3 个品种(系)大豆主茎全部节位的荚数、粒数和粒重均表现出增加趋势,但这种增加在各品种间的上、中和下部节位上存在一些差异,这就使得图 1~3 中的 3 条密度曲线的分离程度产生差异。

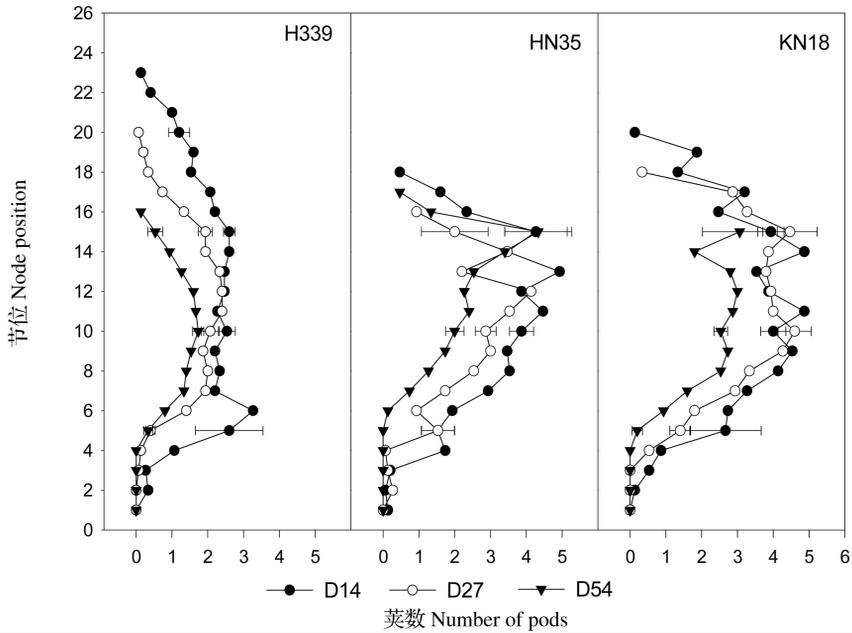
品系海 339 大豆的产量构成的空间分布,在 3 个密度情况下的曲线变化幅度较小,而黑农 35 和垦农 18 大豆品种 3 条密度曲线变化幅度较大。说明海 339 大豆主茎上相邻节位的每节荚数、粒数变化受密度影响较小;而密度对黑农 35 和垦农 18 大豆主茎上相邻节位的每节位荚数、粒数影响较大,说明后两个大豆品种节间产量构成因素对光照沿冠层由上至下的变化的反应更加敏感。

海 339 空间分布的 3 条密度曲线在上、中和下部的分离间距并非一致。上部(13~24 节)分离间距较大且大致相等,中部(7~13 节)分离间距大大缩小,下部(1~7 节)中高密度曲线近似重合,而低密度曲线与中、高密度曲线显著分离。说明低密度能显著增加该品种下部节位的荚数、粒数和粒重。与高密度相比,低密度使得海 339 大豆主茎 1~6 节位的总荚数由 1.1 个增加到 7.5 个。

黑农 35 的空间分布密度曲线在中部区域分离程度较明显,而垦农 18 中、低密度曲线在中部区域近似重合,但均与高密度曲线有较大分离。黑农 35 和垦农 18 的 3 条密度曲线在下部有着相似的分趋势,即密度的降低增加了下部的荚数、粒数和粒

重。与高密度相比,低密度使得黑农 35 和垦农 18 大豆主茎 1~6 节位的总荚数由 0.1 个、1.1 个增加到 6.0 个和 6.9 个。低密度能显著减少低部节位上的花荚败育,最大程度发挥大豆单株的生产潜力,高

密度由于本身群体对下层的遮蔽效应,植株下部遮光严重导致底部花荚全部脱落成为空荚节位(图 1)。



D<sub>14</sub>、D<sub>27</sub> 和 D<sub>54</sub> 分别表示密度为 14 株·m<sup>-2</sup>、27 株·m<sup>-2</sup> 和 54 株·m<sup>-2</sup>, 下同。

D<sub>14</sub>、D<sub>27</sub> 和 D<sub>54</sub> indicate planting densities of 14, 27 and 54 plants · m<sup>-2</sup> respectively, The same as follow.

图 1 种植密度对各品种大豆植株节间荚数的影响

Fig. 1 Effects of planting densities on pod number at each mainstem node of three cultivars

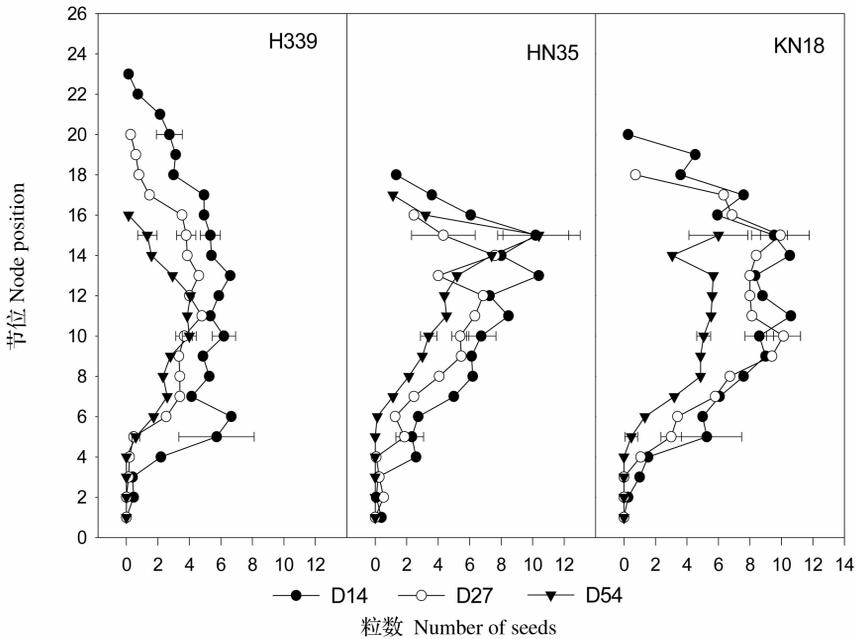


图 2 种植密度对各品种大豆植株节间粒数的影响

Fig. 2 Effects of planting densities on seed number at each mainstem node of three cultivars

从图 4~5 可以看出,各品种沿主茎节间每荚粒数 和单粒重呈现“ | ”的近似直线型分布,不同种植

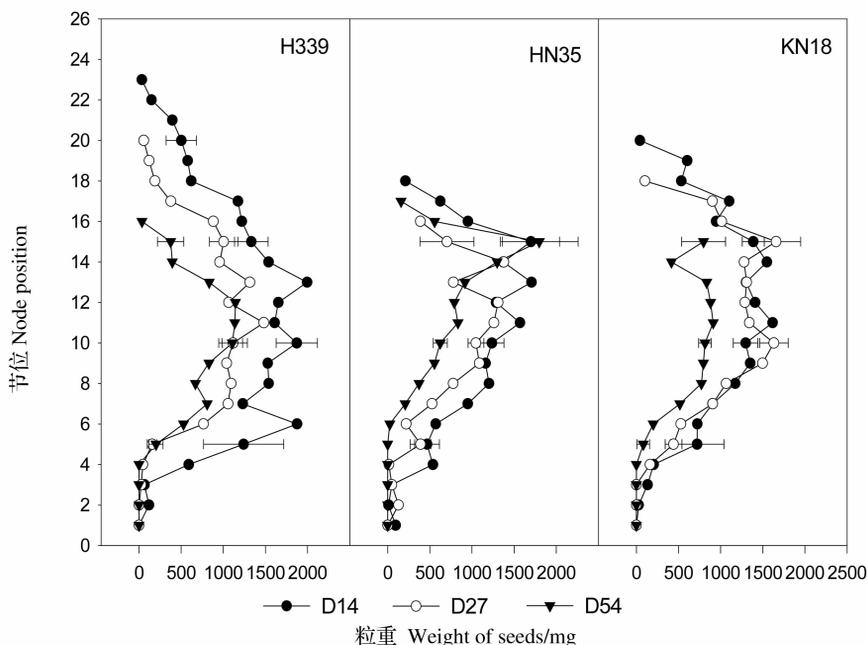


图 3 种植密度对各品种大豆植株节间粒重的影响

Fig. 3 Effects of planting densities on seed weight at each mainstem node of three cultivars

密度对大豆的节间每荚粒数和单粒重影响较弱,但不同品种对种植密度的响应有差异。从 3 个品种的各自密度曲线的离散程度可明显看出,海 339 沿主茎各节位的每荚粒数和单粒重变化程度很大,黑农 35 沿主茎各节位的每荚粒数和单粒重变化程度

较小,而垦农 18 沿主茎各节位的每荚粒数和单粒重变化程度最小。这说明就密度对它们的影响而言,垦农 18 大豆的节间每荚粒数和单粒重具有很高的稳定性,黑农 35 稳定性次之,而海 339 稳定性最弱。

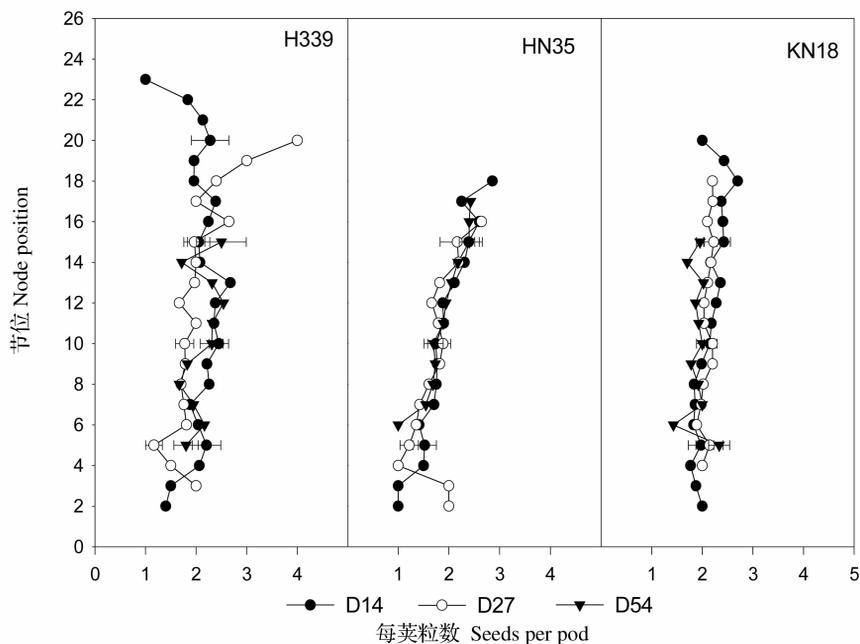


图 4 种植密度对各品种大豆植株节间每荚粒数的影响

Fig. 4 Effects of planting densities on seed number per pod at each mainstem node of three cultivars

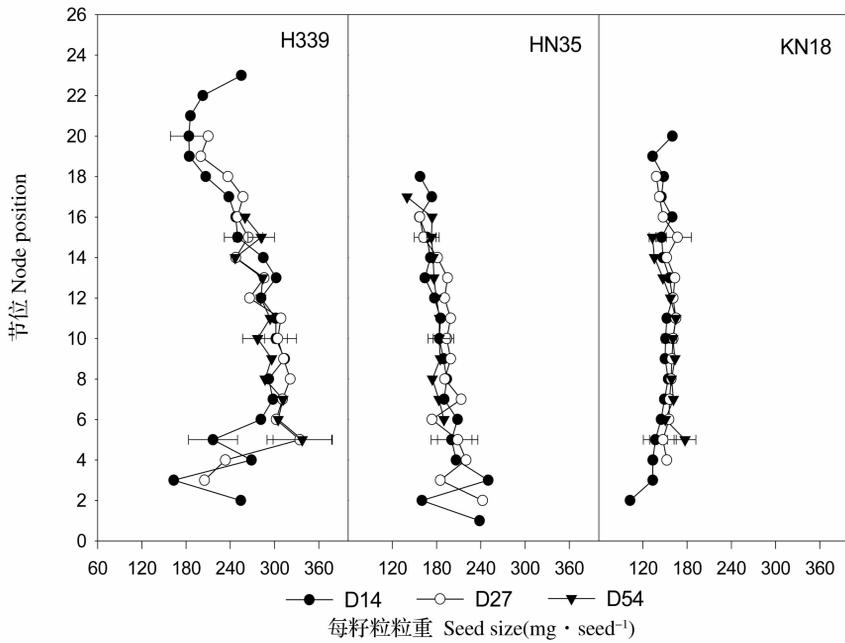


图5 种植密度对各品种大豆植株节间单粒重的影响

Fig. 5 Effects of planting densities on seed size at each mainstem node of three cultivars

2.2 密度对大豆农艺性状和单株产量及产量构成的影响

从表1可以看出,随密度上升,植株株高增加,主

茎平均节数下降,显然随密度增加大豆主茎节间长度相应增加,同时还可以看出,基部茎粗及单株茎干重则减少,说明密度越高,植株越纤细瘦弱,易发生倒伏。

表1 不同种植密度对大豆农艺性状的影响

Table 1 Effect of different densities on soybean agronomic traits

品种 Cultivars	密度 Densities /plants · m <sup>-2</sup>	株高 Plant height/cm	主茎平均节数 Average number of nodes	基部茎粗 Diameter of basal node/mm	单株茎干重 Dry weight of individual stem/g	收获指数 Harvest index
海 339	14	78.8c	20.0a	9.9a	18.5a	0.44a
Hai 339	27	83.3b	16.4b	8.6a	7.7b	0.47a
	54	98.8a	13.9c	6.3b	5.9b	0.45a
黑农 35	14	60.0b	15.0a	8.2a	7.4a	0.54a
Heinong 35	27	62.6b	14.3a	7.9a	6.3b	0.49a
	54	66.6a	14.9a	5.2b	4.0c	0.50a
垦农 18	14	79.8b	16.7a	8.7a	11.3a	0.46a
Kenong 18	27	84.5a	15.9a	7.1b	8.2b	0.50a
	54	88.6a	13.7b	6.1c	4.6c	0.48a

不同字母表示差异达5%显著水平。Different letter mean significant at 5% level.

表2 不同种植密度对大豆单株产量及其构成要素的影响

Table 2 Effect of different densities on soybean individual yield and yield components

品种 Cultivars	密度 Densities/plant · m <sup>-2</sup>	单株产量 Yield per plant/g	单株荚数 Pods per plant	每荚粒数 Seed/pod	单株粒数 Seed No.	百粒重 Seed size/g
海 339	14	22.9a	39.3a	2.17a	86a	27.3b
Hai 339	27	12.7b	23.5b	1.93a	45b	28.7a
	54	8.07c	13.3c	2.14a	28c	29.0a
黑农 35	14	15.7a	44.8a	1.93a	88a	18.4a
Heinong 35	27	10.1b	29.3b	1.78b	53b	19.1a
	54	8.1b	22.6b	2.00a	46c	17.9a
垦农 18	14	17.0a	52.9a	2.17a	114a	14.9a
Kenong 18	27	15.1a	45.4a	2.11a	96a	15.9a
	54	7.0b	24.1b	1.89a	46c	15.4a

不同字母表示差异达5%显著水平。Different letter mean significant at 5% level.

与中密度(27 株·m<sup>-2</sup>)比较,低密度(14 株·m<sup>-2</sup>)增加大豆单株产量、荚数和粒数,分别增加海 339、黑农 35 和垦农 18 单株产量 80.3%、55.4% 和 12.6%,增加单株荚数 67.2%、52.9% 和 16.5%,增加单株粒数 91.1%、66.0% 和 18.8%;而高密度(54 株·m<sup>-2</sup>)降低大豆单株产量、荚数和粒数,分别降低海 339、黑农 35 和垦农 18 大豆单株产量 57.4%、24.7% 和 53.6%,降低海 339、黑农 35 和垦农 18 大豆单株荚数 43.4%、22.9% 和 46.9%,降低海 339、黑农 35 和垦农 18 大豆单株粒数 60.7%、13.2% 和 52.1%(表 2)。密度对大豆每荚粒数和百粒重影响较弱,但表现为中密度情况下,百粒重略高,高密度情况下,每荚粒数增多(垦农 18 除外)。

这种品种间产量变化对密度改变的差异可能与品种自身的遗传特性及群体结构有关。说明不同品种大豆所需的个体生态环境有一定差异,这为确定某种大豆的适宜种植密度提供理论参考。

产量在不同密度情况下,群体产量和个体产量及其构成存在一种补偿机制,或称为单位面积子实产量受群体密度和个体生产力互为互作的制约关系。即不同大豆品种因密度的增加而增加的产量与因密度增加而个体受抑导致的减产是影响单位面积子实产量的两个重要因素。研究发现,受群体增加和个体生产力下降而制约的大豆单位面积(m<sup>2</sup>)子实产量可用下式来表示: $Y_{n+1} = Y_n + Y_D - Y_G$

$Y_{n+1}$ 为某一密度时的子实产量(g·m<sup>-2</sup>), $Y_D$ 为增加密度而增加的产量, $Y_G$ 为因个体生产力下降而减少的产量。由于 $Y_D$ 可以表示为( $D_{n+1} - D_n$ )× $G_{n+1}$ ,其中 $D$ 为基本株数, $G$ 为单株子实产量(g); $Y_G$ 可以表示为 $D_n \times (G_n - G_{n+1})$ 。所以上式也可以表示为: $Y_{n+1} = Y_n + (D_{n+1} - D_n) \times G_{n+1} - D_n \times (G_n - G_{n+1})$ 。结果见表 3。

从表 3 可以看出,不同品种单位面积产量对密度变化有着不同的响应。海 339 和黑农 35 随密度的减小,单位面积产量相应降低,从 54 株·m<sup>-2</sup>到 27 株·m<sup>-2</sup>时, $Y_D/Y_G$ 比值分别为 1.74 和 4.05,显然黑农 35 的单株补偿效应要高于海 339。垦农 18 的 $Y_D/Y_G$ 值在 27 株·m<sup>-2</sup>密度时最大,为 7.38。而 54 株·m<sup>-2</sup>密度时显著下降到 0.86,这表明单株下降的产量要高于因密度上升而增加的产量,显然 54 株·m<sup>-2</sup>密度对垦农 18 是非常不适宜的,也可以看出,垦农 18 的适宜的种植密度是 27 株·m<sup>-2</sup>左右,而其他两品种的适宜种植密度可能略高于此。

表 3 因密度的增加和单株子实产量的下降而制约的单位面积子实产量

Table 3 The unit seed yield restricted by increased density and decline of seed yields per plant

品种 Cultivars	密度 Densities	子实产量 Seed weight /g·m <sup>-2</sup>	$Y_D$ /g·m <sup>-2</sup>	$Y_G$ /g·m <sup>-2</sup>	$Y_D/Y_G$
海 339	14	320.6	-	-	-
	27	342.9	165.1	142.8	1.16
Hai 339	54	435.8	217.9	125.0	1.74
	14	219.8	-	-	-
黑农 35	27	272.7	131.3	78.4	1.67
	54	437.4	218.7	54.0	4.05
垦农 18	14	238.0	-	-	-
	27	407.7	196.3	26.6	7.38
Kennong	54	378.0	189.0	218.7	0.86

### 3 讨论

源库在空间的对应和相互协调是不同产量空间分布类型形成的根本原因。刘士达等<sup>[12]</sup>报道,大豆花荚干重的垂直分布与叶面积的垂直分布相吻合。董钻等<sup>[13]</sup>研究表明:大豆产量空间分布与荚粒形成期间叶片分布有关,即存在叶-粒对应关系。同时,Koller<sup>[14]</sup>和 Willcott 等<sup>[15]</sup>观察到:在籽粒快速灌浆期,主茎中部节位叶片有着最大的叶面积,且具有长的叶柄,能更靠近冠层的外围,因此在中部节位的叶片能够凸显出来,从而获得最大的光截获,导致中部节位荚粒重最大。研究发现,3 个品种大豆的节间荚数、粒数和粒重的空间分布由上至之下呈“微弧形”分布,这与 Koller<sup>[14]</sup>和 Willcott<sup>[15]</sup>等的研究结果一致。但不同品种的“微弧形”分布在不同密度条件下有一定差异,表现为:品系海 339 大豆的产量构成的空间分布的密度曲线变化幅度较小,而黑农 35 和垦农 18 大豆品种三条密度曲线变化幅度较大,说明后两个大豆品种节间产量构成因素对光照沿冠层由上至下的变化的反应更加敏感。

研究发现不同种植密度对大豆各品种沿主茎节间每荚粒数和单粒重影响较弱(呈现“|”直线型分布),不同品种对种植密度的响应有差异。就密度对它们的影响而言,垦农 18 大豆的节间每荚粒数和单粒重具有很高的稳定性,黑农 35 次之,而海 339 稳定性最弱。研究所用大豆是亚有限基因型,当多数较低节位上的籽粒开始灌浆时,大多数高节位上仍在开花。结果发现,尽管高节位和低节位上的籽粒有 15~20 d 的灌浆时间差异,但高、低节位上的

籽粒是同时达到生理成熟且籽粒大小相当一致。这是否表明高节位上籽粒有着更高的灌浆速率,籽粒灌浆速率的基因型差异是由何种机制所决定还有待研究。

密度影响大豆的农艺性状,构建合理的群体结构对于保证大豆群体产量有着重要的意义。随着密度增加,单株大豆产量下降,基部茎粗及单株茎干重则减少,植株纤细瘦弱易倒伏。观察结果与前人的研究结论一致<sup>[16-17]</sup>,同时发现,低密度下大豆单株产量、荚数和粒数均上升,这种增加的效应在单株全部节位上都得到表现。但密度对于大豆单株的每荚粒数和单粒重影响相对较弱。相比而言,对于海339来说,密度对其单株全部节位上的每荚粒数和单粒重有相对较大影响,而对其他2个品种,特别是对垦农18的影响是微乎其微的,表明在相同环境条件变化下,品种间基因型可能对产量性状的控制强弱有一定差异。

3个品种(系)的产量构成因素对密度反应差异较大,这种品种间对密度变化的差异可能与品种自身的生理特性及遗传基础有关。说明不同大豆品种所需个体正常发育的生态条件有一定差异,这为确定某种大豆的适宜种植密度提供了理论基础。

植物群体的自我调节补偿效应是植物固有的特性,以此来提高对环境的适应能力,增加群体的功能和稳定性<sup>[18]</sup>。研究发现,大豆群体补偿效应是通过增加大豆每节位的荚数来实现的,但随着密度的下降,当每节位荚数增加量达到一阈值时,依赖于每节位荚数的调节效应即随之下降,说明由遗传所决定的每节位的结荚潜力是有一定限度的。

单位面积子实产量受群体密度和个体生产力互为负作的制约。因此,一般规律是从低密度到高密度,在一定范围内产量随密度增加而增加,达到一个峰值后,产量随密度的增加而呈缓慢下降的趋势。结果表明,垦农18大豆因密度的增加而增加的产量与因密度增加而个体受抑导致的减产之间存在某个权衡点( $Y_D/Y_C=7.38$ ),此权衡点可以作为垦农18大豆品种高产群体密度的指标。通过研究看出,大豆的适宜种植密度不仅取决于品种基因型以及所处环境的差异,更重要的是我们需要找到使其群体达到最大生命活力的“平衡点”( $Y_D/Y_C$ 的比值)。当群体处于最适宜生长条件下,此平衡点数值处于最大值。过高的密度会提高群体内单株数量,但单株

产量下降,或过低的密度降低群体内单株数量,但单株产量上升,都会导致此平衡点数值降低。可见通过研究此平衡点的变化可以初步的建立不同品种适宜种植密度的范围,结合其他高产措施为提高大豆产量提供有效的理论依据。

## 参考文献

- [1] 赵荣琛. 杭州早大豆行株距试验[J]. 农业学报, 1957, 8(2): 185-195. (Zhao R C. Experiment of soybean row planting in Hangzhou city[J]. Agricultural Journal, 1957, 8(2): 185-195.)
- [2] 常耀中. 大豆群体合理摆布与产量关系的研究[J]. 大豆科学, 1983, 2(2): 132-139. (Chang Y Z. Studies on the relationship between optimum population and yield of soybean[J]. Soybean Science, 1983, 2(2): 132-139.)
- [3] Purcell L C, Ball R A, Reaper J D, et al. Radiation use and biomass production in soybean at different plant population densities[J]. Crop Science, 2002, 42: 172-177.
- [4] Board J E, Harville B G. Growth dynamic during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean[J]. Agronomy Journal, 1996, 88: 575-579.
- [5] Haile F J, Higley L G, Specht J E. Soybean leaf morphology and defoliation tolerance[J]. Agronomy Journal, 1998, 90: 353-362.
- [6] 张瑞忠, 田岚. 大豆植株密度试验研究[J]. 东北农学院学报[J], 1964, (3): 1-13. (Zhang R Z, Tian L. Study on soybean plant densities experiment[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1964, (3): 1-13.)
- [7] 郭午, 张雄久, 牛裕洲. 大豆合理群体结构的探讨[J]. 吉林农业科学. 1964, 1(2): 9-18. (Guo W. Discussion of soybean reasonable population structure[J]. Jilin Agricultural Science, 1964, 1(2): 9-18.)
- [8] 刘金印, 张恒善, 王大秋. 大豆种植密度和群体结构的研究[J]. 大豆科学, 1987, 6(1): 1-10. (Liu J Y, Zhang H S, Wang D Q. Studies on soybean plant density and its index of population structure[J]. Soybean Science, 1987, 6(1): 1-10.)
- [9] 董钻. 大豆株型、群体结构与产量关系的研究, 大豆科学[J]. 1986, 3(2): 110-120. (Dong Z. Studies on relationship of soybean stature, population structure and yield[J]. Soybean Science [J]. 1986, 3(2): 110-120.)
- [10] 游明安, 盖均镒. 大豆产量空间分布特征的初步研究[J]. 大豆科学, 1993, 12(1): 16-21. (You M A, Gai J Y. Preliminary study on soybean yield distribution in space[J]. Soybean Science, 1993, 12(1): 16-21.)
- [11] SAS Institute, SAS/STAT user's guide release 6.09[R]. SAS institute, 1996, Cary, NC, USA.
- [12] 刘士达. 大豆群体发展与田间小气候关系的初步探讨[R]. 农业气象研究报告选编(第二集), 1963. (Liu S D. Preliminary study on relationship of soybean population development and field climate [R]. Report of study on agricultural climate (secondary), 1963.

从表4看出,2006年全国大豆单产逐月预报结果的准确率都比较高,平均准确率在96%左右;对2005年预报准确率较低,主要是因为2004年全国大豆单产为历史第二高水平(仅低于2002年),虽然通过模型找出的与2005年气象条件相似的历史年是增产年,但在实际上很难突破前一年的高产,因此出现较大误差。

#### 4 结论与讨论

利用大豆生育期、气象资料与大豆的生理指标结合作相应的处理,根据相似系数和相似距离方法对大豆生育阶段的气象因子进行综合聚类分析,建立大豆产量气象影响指数,进而产量预测。解决了常规统计方法在短时间内筛选预报因子难的问题,使预报时效明显提前,还通过考虑平均生产力水平对大豆单产变化的影响,克服农业生产技术或作物品种突变给相邻两年气象影响指数带来的误差,进一步提高预报准确率,在大豆播种一个月后每5d动态滚动预报,实现了大豆产量的连续、动态、定量预报,具有重要价值。

但模型未考虑到重大灾害天气对产量的影响,计算有效积温时的折算系数的取值主要是根据大豆各发育期上下限温度和模拟确定的,还有待进一步的探讨。另外,此方法是否适用于区域的大豆产量预报和其它作物产量动态预报,还需进一步研究。

#### 参考文献

[1] 肖伶俐. 中国大豆国际贸易弊端及其对策分析[J]. 大豆通报,

2007(4):41-25. (Xiao L L. Analysis on the disadvantages of Chinese soybean international trade and its counter measures[J]. Soybean Bulletin,2007(4):41-25.)

[2] 钱栓,王建林. 农业气象作物产量预报的特点和思考[J]. 气象科技,2003,31(5):257-261. (Qian S,Wang J L. Special aspects of agrometeorological crop yields forecast and discussion[J]. Meteorological Science and Technology,2003,31(5):257-261.)

[3] 王建林,杨霏云,宋迎波. 西北地区玉米产量动态业务预报方法探讨[J]. 应用气象学报,2004,15(1):51-57. (Wang J L,Yang F Y,Song Y B. Method research for operational dynamic forecasting of maize yield in North-West of China[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2004,15(1):51-57.)

[4] 王建林,宋迎波. 棉花产量动态预测方法研究[J]. 中国棉花,2002,29(9):5-7. (Wang J L,Song Y B. Method research for dynamical predication of cotton yield[J]. Chinese Cotton,2002,29(9):5-7.)

[5] 杨霏云,王建林. 晚稻单产动态预测研究方法[J]. 气象科技,2005,33(5):433-436. (Yang F Y,Wang J L. A study of the method for dynamic prediction of late harvest-rice's unit yield[J]. Meteorological Science and Technology,2005,33(5):433-436.)

[6] 中国农业百科全书(农业气象卷)[M]. 北京:中国农业出版社,1986:277. (Chinese agriculture cyclopaedia (Vol. Agro-meteorology) [M]. Beijing: Agricultural Press,1986:277.)

[7] 王维金. 作物栽培学[M]. 北京:科学技术文献出版社,1998:110-113. (Wang W J. Crop planting [M]. Beijing: Scientific and Technical Press,1998:110-113.)

[8] 王馥堂,李郁竹,王石立. 农业产量气象模拟与模型引论[M]. 北京:科学出版社,1990:5. (Wang F T,Li Y Z,Wang S L. Introduce to meteorological simulation and model of agricultural yield [M]. Beijing: Science Press,1990:5.)

(上接第942页)

[13] 董钻,那桂英. 大豆叶-粒关系的研究[J]. 大豆科学,1993,12(1):26-29. (Dong Z,Na G Y. Study on relationship of soybean Leaf and seed[J]. Soybean Science,1993,12(1):26-29.)

[14] Koller H. R. Analysis of growth within distinct strata of the soybean community[J]. Crop Science,1971,11:400-402.

[15] Willcott J,Herbert S J,Zhi-yi L. Leaf area display and light interception in short season soybeans[J]. Field Crops Research,1984(9):173-182.

[16] 张大勇,姜新华. 对于作物生产的生态学思考[J]. 植物生态学报,2000,24(3):383-384. (Zhang D Y,Jiang X H. Ponder on ecology of crop production[J]. Acta Phytocologica Sinica,2000,24

(3):383-384.)

[17] 杨从党. 作物研究过程中生态场理论的应用[J]. 中国生态农业学报[J]. 2002,10(4):108-109. (Yang C D. Application of ecological field theory to research of crops[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2002,10(4):108-109.)

[18] 何世炜,常生华. 大豆播种密度对子实产量及其构成因素影响的研究[J]. 草业科学,2005,14(5):43-47. (He S W,Chang S H. The effect of *Glycine max* sowing density on seeds yield and plant morphology [J]. Acta Prataculturae Sinica,2005,14(5):43-47.)