

基因型肥料互作下大豆群体的时空分布特征

闫春娟, 宋书宏, 孙旭刚, 王文斌

(辽宁省农业科学院 作物研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:田间条件下,探讨 NPK 肥对不同基因型大豆群体时空分布特征及产量的影响。结果表明:随着生育进程的推进,植株叶面积指数、地上部生物产量呈单峰曲线变化规律,叶面积指数峰值出现在出苗后的第 8 周;而辽豆 14 和辽豆 21 地上部生物产量峰值分别出现在出苗后的第 12 周和第 14 周。NPK 肥提高了叶面积指数平均值。随着植株的不断生长,相对生长速率值变小。大豆茎主要分布于植株下部,叶片主要分布于中上部,叶柄、荚皮和籽粒主要分布于中间部位。植株冠层中部的叶绿素值高于上层和下层,辽豆 21 叶绿素平均值优于辽豆 14,但叶绿素总和却低于辽豆 14,NPK 肥提高了叶绿素平均值及总和。叶面积累计指数 LAI_F 与透光率倒数的对数 $\ln(I_0/I_F)$ 间呈显著正相关。基因型和肥料显著影响大豆产量,NPK 肥提高了两品种的产量,但辽豆 21 产量提高得更多。NPK 肥也提高了植株的株高、主茎节数、节间长度。无论何种供肥水平,辽豆 14 的产量显著高于辽豆 21,且辽豆 14 的株高更低、节数更多、节间长度更短。

关键词:时空分布特征;大豆;基因型;肥料

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.03.0340

Temporal-spatial Distribution Characteristics of Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Under Genotype-fertilizer Interaction Condition

YAN Chun-juan, SONG Shu-hong, SUN Xu-gang, WANG Wen-bin

(Crop Institute of Liaoning Academy of Agricultural Science, Shenyang 110161, China)

Abstract: Applying NPK fertilizer in different varieties to affect the physiology and structure of plant and influence the capacity of agroecosystem to capture light and convert that light energy into biomass, ultimately affecting productivity and yield in soybean (*Glycine max* L. Merr.). The objective of this study was to determine if fertilizers and genotypes had direct and interactive effects on temporal-spatial distribution characteristics of soybean growing under field conditions. The results showed that LAI and shoot biomass gradually increased and then declined as a single-peak curve with the growth and development of soybean. The maximum value of LAI appeared in the eighth weeks after emergence; Peak points of shoot biomass in Liaodou14 and Liaodou21 occurred at the 12th and the 14th weeks after emergence, respectively. NPK enhanced the average value of LAI for two varieties. Relative growth rate of all treatments started to decrease with the growth and development of soybean. Stem and leaf was mainly distributed in the lower part of plant and the middle and upper part of plant, respectively; petiole, pod and seed of soybean are mainly distributed in the middle part of plant. Chlorophyll meter values of the upper canopy and lower canopy were lower than that of the middle canopy. Although mean value of leaves SPAD in Liaodou21 was higher than that of Liaodou14, the sum of all leaves SPAD in Liaodou21 was lower than that of Liaodou14. NPK increased the mean value and the sum of leaves SPAD for both varieties. There were significant positive linear dependence between leaf area accumulation index LAI_F and $\ln(I_0/I_F)$ for all treatments. Genotype and fertilizer had significant effects on yield in soybean. Compared with no fertilizer, NPK enhanced yield for two soybean cultivars, but Liaodou21 enhanced more than that of Liaodou14. NPK also increased plant height, main stem nodes and internode length. But Liaodou14 had significant higher yield than that of Liaodou21 regardless of fertilization application. Liaodou14 also showed consistently lower plant height, more main stem nodes, shorter internode length than that of Liaodou21, which may be contributed to reasonable plant type with high yield in soybean.

Key words: Temporal-spatial distribution characteristics; Soybean; Genotype; Fertilizer

大豆产量的形成,是大豆本身的遗传特性和生理机能的内在因素与水、肥、气、热、光等外在环境因素综合作用的结果。而在这些环境因素中,肥料应用是一种有效且切实可行的方法,NPK 肥能够有效提高大豆产量^[1-2]。当前,NPK 肥在我国大豆生产上的施用比例和施用量的研究已日趋成熟,且在

生产上得到广泛应用。然而肥料应用的效果存在基因型差异^[3-4],采用优良大豆品种配合合理栽培措施以提高产量仍是我国大豆生产中所面临的关键问题。

基因型与肥料引起大豆产量的差异往往是其形态和生理性状综合作用的结果,优化株型结构是

收稿日期:2013-09-13

基金项目:转基因生物新品种培育重大专项(2013ZX08004-005);国家“十二五”科技支持计划(2011BAD35B06-2-3)。

第一作者简介:闫春娟(1983-),女,硕士,助理研究员,主要从事大豆育种与栽培研究。E-mail:yanchunjuan1983@163.com。

通讯作者:王文斌(1968-),男,硕士,研究员,主要从事大豆育种与栽培研究。E-mail:wbwang@163.com。

实现高产群体的首要任务,合理的群体结构可改善大豆植株群体的透光性和叶面积的空间分布,是提高产量的重要因素^[5,6]。作物的生物产量是籽粒产量的基础,植物干物质的积累有 90%~95% 来自光合作用,而叶片是植株光合作用的主要器官,叶绿素是叶片中吸收光能的重要色素^[7]。因此许多研究都指出叶面积指数^[8,9]、生物产量^[10]和叶绿素含量^[7]与作物产量关系密切,然而这并不意味着三者值越高,产量越大,有时三者合理的时空分配在产量形成方面扮演着更为重要的角色。当前有关大豆群体时空分布特征的研究多集中于密度或品种这两个因素,而有关施肥方面的研究相对较少,因此本文探讨基因型肥料互作下大豆群体结构的时空分布特征及其对产量的影响,以期为建立辽宁省高产大豆栽培技术体系的建立提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年在辽宁省半干旱地区朝阳市孙家湾乡(北纬 41°30',东经 120°29',海拔 170 m)进行。试验区属北温带大陆性季风气候区,年均日照时数 2 850~2 950 h,≥10℃活动积温 1 364.5℃,年降水量 450 mm,无霜期 135 d。

供试土壤为棕壤,该土壤有机质含量为 21.2 g·kg⁻¹,全氮 1.13 g·kg⁻¹,碱解氮 58.0 mg·kg⁻¹,全磷 1.57 g·kg⁻¹,有效磷 22.8 mg·kg⁻¹,全钾 27.80 g·kg⁻¹,有效钾 164 mg·kg⁻¹,pH6.90。

1.2 试验设计

试验包括 2 个基因型,分别为辽豆 14 和辽豆 21,2 个肥料水平,分别为无肥和 NPK 肥,无肥即不施肥;NPK:N 45 kg·hm⁻²,P₂O₅ 70 kg·hm⁻²,K₂O 60 kg·hm⁻²。共 4 个处理,随机区组设计,3 次重复。小区为 5 行区,行长 6 m,垄距 0.6 m,小区面积 18 m²。密度设 16.67 万株·hm⁻²,2011 年 5 月 9 日播种。

1.3 测定项目与方法

大豆出苗后每隔 2 周取样,测定植株地上部生物产量、株高、叶面积。计算生物产量相对生长速率。相对生长速率 RGR = (lnW₂ - lnW₁)/(t₂ - t₁),式中,t₁、t₂分别为相邻两次地上部生物产量测定的时间;W₁、W₂分别为 t₁和 t₂时的生物产量;ln 为自然对数。叶面积的测定采用称重法,叶面积指数为单位土地上作物叶片的总面积与占地面积的比值。

鼓粒期采用 LI-250A 照度计植物冠层分析仪测定不同冠层光照强度,测定群体顶部的自然光强 I₀

和群体内的光强 I_F,群体内光强从地面开始,每隔 10 cm 测定一次,测定与此冠层高度相应的叶面积指数 LAI_F,即群体顶部至测定高度之间的叶面积指数。用各冠层(不同高度)透光率倒数的对数 ln(I₀/I_F)和相应的 LAI_F值绘制群体消光曲线图。鼓粒期在各小区取 10 株样本进行大田切片,即将各处理从子叶节开始一直到植株最高生长点,每隔 20 cm 截断,测定不同冠层植株各器官的生物产量,计算各器官在不同冠层的分割指数,即该器官冠层生物产量与该器官整个冠层生物产量的比值;采用 SPAD-502 叶绿素仪测定不同节位叶片的叶绿素 SPAD 值。

成熟后每小区取 10 株样,测定株高、主茎节数、节间长度。小区取 4.8 m²测定产量后折算为公顷产量。

1.4 数据分析

用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 统计软件进行作图 and 数据分析。

2 结果与分析

2.1 基因型肥料互作下大豆群体的时间分布特征

2.1.1 叶面积指数 随着生育进程的推进,所有处理植株叶面积指数先逐渐增高后又降低,在出苗后的第 8 周,叶面积指数达最高值,在出苗后的第 12~14 周,叶面积指数维持一段相对稳定时期,此时期为鼓粒期(图 1A)。在出苗后的第 14~16 周,辽豆 21 叶面积指数急剧下降,在出苗后的第 16 周,辽豆 14 的叶面积指数优于辽豆 21。平均各时期叶面积指数,无论何种供肥水平,辽豆 14 均高于辽豆 21;而同一品种时,NPK 肥的平均值优于无肥。

2.1.2 生物产量 随着生育进程的推进,植株地上部生物量呈单峰曲线变化趋势,辽豆 14 各处理峰值出现在出苗后的第 12 周,而辽豆 21 各处理峰值出现在出苗后的第 14 周(图 1B)。当对整个生育期间各处理生物产量进行平均,处理间平均值差异极小。NPK 肥提高了两品种的生物产量平均值,而品种对生物产量平均值的影响因施肥的不同而各异。

2.1.3 株高 随着生育进程的推进,株高逐渐增加,出苗后的第 12 周其值开始趋于平缓(图 1C)。在出苗的第 2~4 周,处理间的株高并未表现出明显的差异,一般而言,从出苗后的第 6 周开始一直到成熟,辽豆 21 的株高均高于辽豆 14。而肥料对株高的影响因生育时期和施肥的不同而各异。

2.1.4 相对生长速率 由图 2 可以看出,随着生育进程的推进,相对生长速率值降低,在生长后期甚至出现了负增长。在出苗的第 2~4、4~6 周,植株

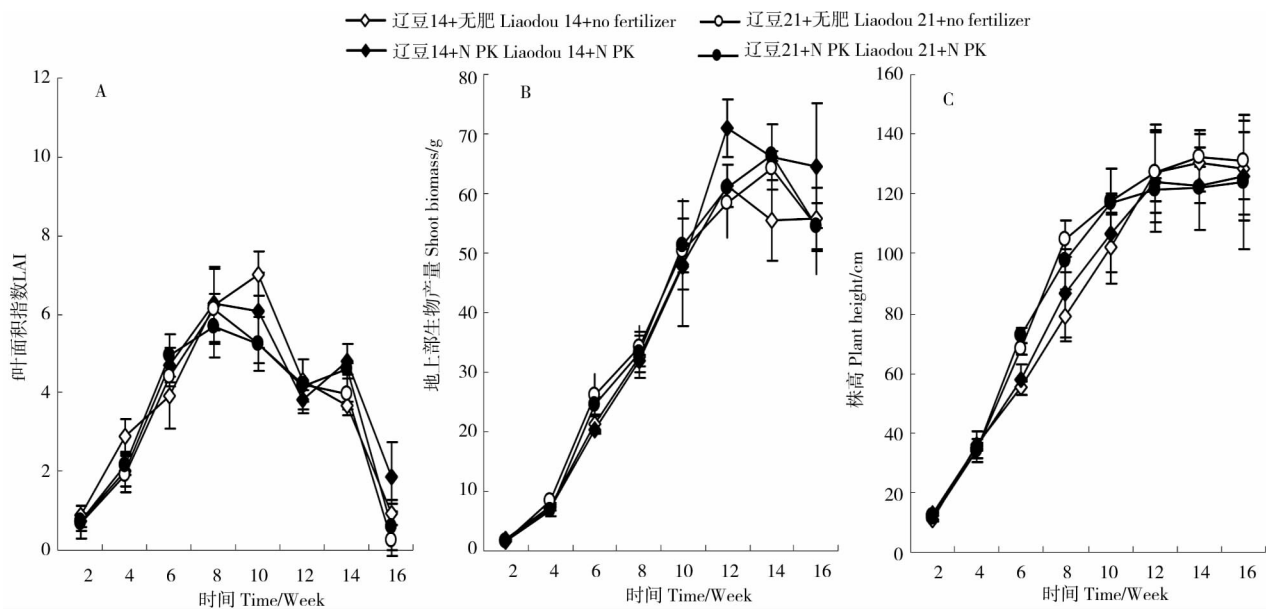


图1 基因型肥料互作下大豆叶面积指数、地上部生物产量和株高的时间变化特征

Fig. 1 Temporal changes in green leaf area index (LAI) of soybean on genotype-fertilizer interaction condition

的生长速率较快,从出苗的第6~8周开始,相对生长速率变慢,一直到第12周,维持一段相对稳定的生长时期,而在出苗后的第12~14周和14~16周,植株出现了负增长。在出苗的第2~4和第4~6周,即生长前期,辽豆21的生长速率优于辽豆14,而在出苗的第6~8和第10~12周,辽豆14的生物产量相对生长速率高于辽豆21,说明尽管2品种最终的生物产量接近,但相对生长速率在不同生长期存在差异。

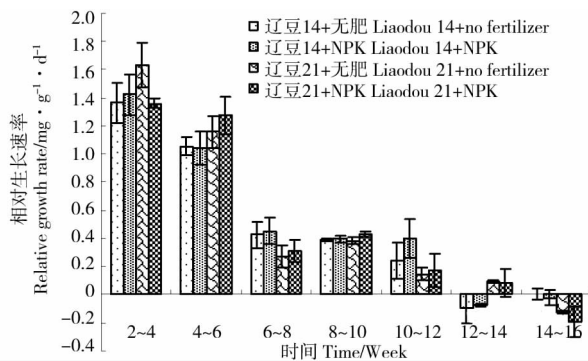


图2 基因型肥料互作下大豆相对生长速率的时间变化特征

Fig. 2 Temporal changes in relative growth rate of soybean on genotype-fertilizer interaction condition

2.2 基因型肥料互作下大豆空间分布特征

2.2.1 大豆器官的垂直分布 由表1可以看出,植株自下而上,茎的器官分割指数逐渐降低,即茎主要分布于植株下部。叶片主要分布于植株的中上层,在植株底部的10~20 cm叶片的分配比例均为0,叶片一般均匀分布于顶部开始的5~6个20 cm冠层中,从顶部开始的第7个20 cm冠层中叶片分布极少或者没有叶片的分布。叶柄主要分布于植株中间部位,只有少数叶柄分布于底部和顶部冠层。荚皮和籽粒也主要分布于植株中间部位,底部和顶部分布较少。

2.2.2 叶绿素含量 由表2可以看出,植株叶绿素含量的垂直分布表现为中层叶片 SPAD 平均值高于上层和下层的平均值。辽豆21各个冠层叶片的叶绿素平均值优于辽豆14,一般情况下,NPK肥增加了同一品种的叶绿素平均值。鉴于辽豆14有更多节数的叶片,所以对所有叶片的叶绿素值进行求和发现,施肥提高了2品种的叶绿素总和。与叶绿素平均值不同的是,同一肥料条件下,辽豆14的的叶绿素总和高于辽豆21。

表1 基因型肥料互作下大豆各器官分割指数的垂直分布

Table 1 Spatial changes in organ segmentation index of soybean on genotype-fertilizer interaction condition

基因型 Genotype	冠层 Canopy/cm	无肥 No fertilizer					NPK				
		茎 Stem	叶 Leaf	叶柄 petiole	荚皮 Pod	籽粒 Seed	茎 Stem	叶 Leaf	叶柄 Petiole	荚皮 Pod	籽粒 Seed
辽豆 14 Liaodou 14	0~20	0.35	0.00	0.02	0.00	0.00	0.30	0.00	0.02	0.00	0.00
	20~40	0.32	0.14	0.26	0.22	0.33	0.23	0.06	0.14	0.11	0.12
	40~60	0.22	0.27	0.31	0.34	0.44	0.22	0.17	0.21	0.26	0.36

续表 1

基因型 Genotype	冠层 Canopy/cm	无肥 No fertilizer					NPK				
		茎 Stem	叶 Leaf	叶柄 petiole	荚皮 Pod	籽粒 Seed	茎 Stem	叶 Leaf	叶柄 Petiole	荚皮 Pod	籽粒 Seed
	60 ~ 80	0.09	0.17	0.24	0.31	0.19	0.12	0.21	0.18	0.15	0.20
	80 ~ 100	0.02	0.21	0.12	0.13	0.03	0.09	0.15	0.21	0.15	0.07
	100 ~ 120	0.00	0.21	0.04	0.00	0.00	0.04	0.17	0.17	0.30	0.25
	120 ~ 140	-	-	-	-	-	0.00	0.24	0.07	0.03	0.00
辽豆 21	0 ~ 20	0.26	0.00	0.00	0.01	0.00	0.36	0.00	0.04	0.00	0.00
Liaodou 21	20 ~ 40	0.20	0.03	0.09	0.06	0.02	0.24	0.16	0.18	0.09	0.13
	40 ~ 60	0.17	0.06	0.17	0.19	0.18	0.18	0.12	0.20	0.20	0.26
	60 ~ 80	0.15	0.14	0.19	0.23	0.36	0.13	0.21	0.24	0.25	0.24
	80 ~ 100	0.13	0.11	0.21	0.19	0.23	0.07	0.17	0.17	0.22	0.22
	100 ~ 120	0.07	0.23	0.21	0.20	0.16	0.02	0.22	0.15	0.24	0.15
	120 ~ 140	0.02	0.28	0.11	0.13	0.04	0.00	0.13	0.01	0.00	0.00
	140 ~ 160	0.00	0.14	0.03	0.01	0.00	-	-	-	-	-

表 2 基因型肥料互作下大豆叶绿素含量的垂直分布

Table 2 Spatial changes in SPAD value of soybean on genotype-fertilizer interaction condition (SPAD)

冠层 Canopy	辽豆 14 Liaodou 14		辽豆 21 Liaodou 21	
	无肥 No fertilizer	NPK	无肥 No fertilizer	NPK
上层 Upper canopy	36.64 ± 0.83 [*]	47.61 ± 0.66	53.78 ± 1.08	49.58 ± 1.03
中层 Middle canopy	43.31 ± 0.72	53.36 ± 1.15	56.75 ± 1.26	56.45 ± 3.41
下层 Lower canopy	38.95 ± 3.00	42.59 ± 2.12	47.80 ± 1.53	56.19 ± 1.58
平均值 Average	39.67 ± 0.97 dC	48.16 ± 1.17 cB	51.41 ± 0.92 bA	53.92 ± 1.17 aA
总和 Sum	674.45 ± 16.41 cC	818.73 ± 19.96 aA	666.56 ± 47.67 cC	754.88 ± 16.39 bB
叶数 Number of leaves	17	17	13	14

^{*} 平均值 ± 标准差;不同大小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。

^{*} Means ± SD; Different letter mean significant at 1% and 5% level, respectively.

2.3 基因型肥料互作下大豆的群体消光曲线

所有处理不同冠层叶面积累积指数 LAI_F 与透光率倒数的对数 $\ln(I_0/I_F)$ 间呈显著正相关(图 3)。 $\ln(I_0/I_F)$ 为冠层透光率 I_F/I_0 倒数的对数,其值越高,表明群体的透光率越低,也就是说叶面积累积指数越多,透光率越低。由图 3,比较各处理间消光曲线的差异,发现辽豆 14 消光曲线的斜率值更低,这也就意味着同样 LAI_F 下,辽豆 14 的 $\ln(I_0/I_F)$ 值较低,而透光率值越高,即在叶面积累积指数一样的前提下,辽豆 14 的透光率优于辽豆 21。

2.4 基因型肥料互作对大豆产量及主要农艺性状的影响

由表 3 可以看出,基因型和二者互作对株高的

影响达到了显著差异,而肥料对其影响未达到显著差异。NPK 肥提高了两品种的株高,但辽豆 14 株高值提高得更多。基因型和二者互作均显著影响了植株的主茎节数,辽豆 14 的主茎节数显著高于辽豆 21, NPK 肥提高了植株的主茎节数。基因型显著影响了植株的节间长度,辽豆 21 的节间长度显著高于辽豆 14; NPK 肥提高了两品种的节间长度,但均未达到显著差异水平。基因型和肥料对大豆产量的影响均达到显著差异水平,无论何种供肥水平,辽豆 14 的产量均高于辽豆 21,表现出优于肥料作用的基因型优势。施肥提高了辽豆 14 和辽豆 21 的产量,但辽豆 21 产量提高得更多。

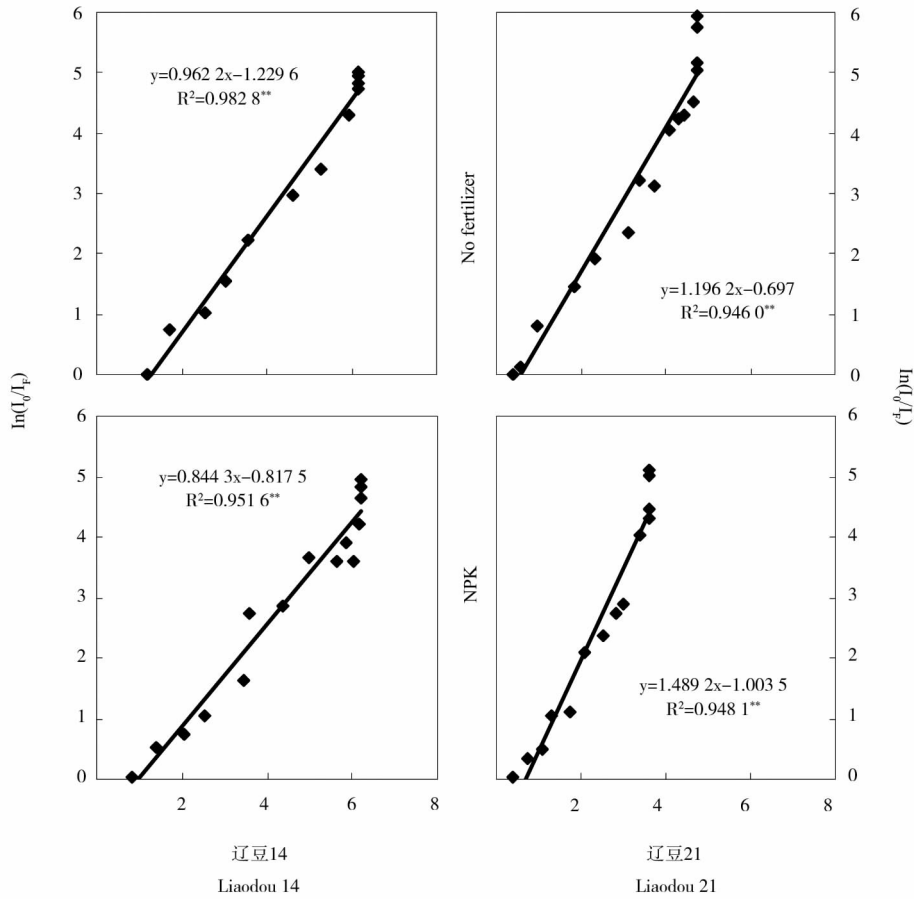


图3 基因型肥料互作对大豆的群体消光曲线的影响

Fig. 3 Effect of genotype-fertilizer interaction on light extinction curve in soybean

表3 基因型肥料互作对大豆农艺性状及产量的影响

Table 3 Effect of genotype-fertilizer interaction on agronomic characters and yield in soybean

基因型 Genotypes	肥料 Fertilizer	株高 Plant height/cm	主茎节数 Main stem node number	节间长度 Internode length/cm	产量 Yield/kg·hm ⁻²
辽豆 14 Liaodou 14	No fertilizer	98.50 cB	21.00 bAB	4.72 bB	3159.72 aA
	NPK	112.80 bA	22.60 aA	5.00 bB	3263.89 aA
辽豆 21 Liaodou 21	No fertilizer	123.30 aA	19.40 cBC	6.34 aA	2361.11 cB
	NPK	120.60 abA	18.20 cC	6.51 aA	2743.06 bAB
平均值 Mean					
辽豆 14 Liaodou 14		105.65 bB	21.80 aA	4.86 bB	3211.81 aA
辽豆 21 Liaodou 21		120.34 aA	18.77 bB	6.43 aA	2552.08 bB
无肥 No fertilizer		110.54 aA	20.17 aA	5.76 aA	2760.42 bA
NPK		115.45 aA	20.40 aA	5.53 aA	3003.47 aA
方差分析 ANOVA					
基因型 Genotype		***	***	***	***
肥料 Fertilizer		ns	ns	ns	*
G × F		**	**	ns	ns

ns 表示无显著性差异;不同大小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平;*, ** 和 *** 分别表示差异达 0.05, 0.01 和 0.001 水平。

ns = Non-significant; Different letter mean significant at 1% and 5% level, respectively; *, ** and *** Significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

3 结论与讨论

3.1 基因型肥料互作下大豆群体的时间分布特征

叶面积指数(LAI)是群体结构的重要量化指标,是群体的属性之一。本研究中随着生育进程的推进,LAI先逐渐增高,在出苗后的第8周达最高值后又开始降低,但是在出苗后的第12~14周,叶面积指数维持一段相对稳定时期。前人的一些研究中表明,叶面积指数达到最大值后开始降低,未出现一段相对稳定的时期^[11-12];然而也有研究指出LAI在达到最大值后会出现一段相对稳定的时期^[13],与本试验结果一致,差异产生的原因可能源于品种自身的生长特性。

有些研究指出NPK肥能够提高植株生物产量,但却未能改变其时间过程^[14],与本试验结果相吻合。随着生育进程的推进,所有处理地上部生物量均呈单峰曲线变化趋势,但辽豆14各处理峰值出现在出苗后的第12周,而辽豆21各处理峰值出现在出苗后的第14周,说明辽豆14的衰老是逐步缓慢的,而辽豆21衰老死亡的速度可能更快。

植株的相对生长速率存在基因型差异^[15]。有研究指出玉米生长发育过程中,群体相对生长率主要由遗传特性控制,但环境条件对其影响也较大。一般作物生长初期群体相对生产率较大,生长后期下降^[16],与本试验结果相近。本研究中发现在生长前期(出苗的2~6周),辽豆21的相对生长速率优于辽豆14,而在生长中后期的一段时间(出苗的第6~8和10~12周)辽豆14的相对生长速率优于辽豆21,说明在大豆生长的中后期辽豆14更具生长优势。

3.2 基因型肥料互作下大豆群体的空间分布特征

大豆各器官的垂直分布特征表现为,茎主要分布于下部,这有利于茎支撑整个植株。叶片主要分布于中上层,张晓艳等^[17]的研究也曾指出叶面积指数主要集中在冠层中上部。本试验中发现,叶柄、荚皮和籽粒主要分布于植株中间部位。植株叶绿素的垂直分布表现为顶部和底部叶片的叶绿素SPAD值低,而中间叶片的叶绿素SPAD值高,这可能是由于顶部叶片正处于生长阶段,比较稚嫩,而底部叶片也开始衰老,故二者叶绿素含量低。已有研究表明随着氮、钾肥料用量的增加,烤烟中部叶片的叶绿素含量呈上升趋势^[18],本研究中也发现NPK肥的应用增加了叶绿素的总和与平均值。植

株的叶绿素含量间存在基因型差异^[19],本试验中发现叶绿素的平均值辽豆21优于辽豆14,但是与辽豆21相比辽豆14多了3~4层叶片,因此辽豆14的叶绿素总和反而高于辽豆21。

良好的冠层结构可改善大豆植株群体的透光性和叶面积的空间分布,提高群体光能利用率。本试验中比较处理间消光曲线的差异,发现辽豆14消光曲线的斜率值更低,这也就意味着同样LAI_F下,辽豆14的 $\ln(I_0/I_F)$ 值更低,因此在叶面积相同的条件下,辽豆14透光率更高。

3.3 基因型肥料互作对大豆产量及主要农艺性状的影响

本试验中基因型和肥料对大豆产量的影响均达到显著差异水平,前人研究已表明无机肥的应用能够提高大豆产量^[20],然而肥料的吸收利用效果与基因型密切相关^[21],本研究中NPK肥均提高两品种的产量,但辽豆21产量提高的幅度更大。然而无论何种供肥水平,辽豆14的产量均显著高于辽豆21,表现出优于肥料作用的基因型优势。本研究中辽豆14的株高低于辽豆21,但节数却高于辽豆21,从而表现更短的节间长度,但却表现出更高的产量优势,说明在实际生产上,株高适中,节间短,节数多的植株更利于提高大豆单产。

尽管基因型和肥料对叶面积指数的影响因取样时期的不同而各异,但是在生长末期,辽豆14的叶面积指数明显优于辽豆21,即辽豆14叶片衰老死亡的更慢。尽管辽豆21叶片的叶绿素平均值优于辽豆14,但其总和却低于辽豆14,即辽豆14有更多的叶片进行光合作用。辽豆14消光曲线的斜率值更低,即透光性更好。综上,本研究中辽豆14表现出更高的产量优势,即有赖于其在时间上延长了叶片的寿命,利于光合产物在时间上的累积;也有赖于其在空间上增加了植株的有效叶数,利于光合作用在空间上的延伸;还有赖于其提高群体的透光率,以利于增强下部叶片的光合能力。

参考文献

- [1] 刘鹏,杨玉爱.氮、磷、钾配施及其与钼硼配施对大豆产量的影响[J].安徽农业大学学报,2003,30(2):117-122. (Liu P, Yang Y A. Effect of N, P, K combined application and N, P, K, B or Mo combined application on yield of soybean[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2003, 30(2): 117-122.)
- [2] 闫春娟,王文斌,孙旭刚,等.水肥互作对大豆根瘤固氮及产量的影响[J].大豆科学,2011,30(2):229-233. (Yan C J, Wang

- W B, Sun X G, et al. Effect of water-fertilizer interaction on physiological characteristics, nitrogen fixation and yield of soybean [J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 229-233.)
- [3] Gan Y B, Stulen I, Keulen H V, et al. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N₂ fixation and yield of three soybean (*Glycine max* L. Merr.) genotypes [J]. Field Crops Research, 2003, 80: 147-155.
- [4] Brenda L, Gambín Lucas Borrús, María E Otegui. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids [J]. Field Crops Research, 2006, 95(2-3): 316-326.
- [5] 林蔚刚, 胡立成, 董丽华, 等. 大豆不同群体叶面积与光强垂直分布初步分析 [J]. 大豆科学, 1996, 15(1): 56-60. (Lin W G, Hu L C, Dong L H, et al. Preliminary analysis on vertical distribution of canopy leaf area and light intensity in different soybean population [J]. Soybean Science, 1996, 15(1): 56-60.)
- [6] 王景文, 尹田夫. 大豆株型数学模型与冠层中光的垂直分布 [J]. 东北农学院学报, 1982(3): 24-28. (Wang J W, Yin T F. The vertical distribution of light in the canopy and mathematical model of plant type in soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural College, 1982(3): 24-28.)
- [7] 王忠. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 121-126. (Wang Z. Plant physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 121-126.)
- [8] Jin J, Liu X B, Wang G H, et al. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China [J]. Field Crops Research, 2010, 115: 116-123.
- [9] Monreal J A, Jiménez E T, Remesal E, et al. Proline content of sugar beet storage roots: Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions [J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 60: 257-267.
- [10] Wahbi A, Shaaban A S A. Relationship between carbon isotope discrimination (Δ), yield and water use efficiency of durum wheat in Northern Syria [J]. Agricultural Water Manage, 2011, 98: 1856-1866.
- [11] Kolar J S, Grewal H S. Effect of split application of potassium on growth, yield and potassium accumulation by soybean [J]. Fertilizer Research, 1994, 39: 217-222.
- [12] Sasaki H, Hara T, Ito S, et al. Seasonal changes in canopy photosynthesis and respiration, and partitioning of photosynthate, in rice (*Oryza sativa* L.) grown under free-air CO₂ enrichment [J]. Plant Cell Physiology, 2005, 46: 1704-1712.
- [13] 周勋波, 孙淑娟, 陈雨海, 等. 株行距配置对夏大豆光利用特性、干物质积累和产量的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(3): 322-326. (Zhou X B, Sun S J, Chen Y H, et al. Effect of plant-row spacings on solar utilization, dry matter weight and yield in summer soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30(3): 322-326.)
- [14] Mandal K G, Hati K M, Misra A K. Biomass yield and energy analysis of soybean production in relation to fertilizer-NPK and organic manure [J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33: 1670-1679.
- [15] 李发院, 田芳, 张晓可, 等. 栽培大豆和野生大豆及其回交后代苗期耐盐性分析 [J]. 大豆科学, 2012, 31(4): 593-597. (Li F Y, Tian F, Zhang X K, et al. Analysis of seedlings salt tolerance of backcross hybrids of *Glycine max* and *Glycine soja* [J]. Soybean Science, 2012, 31(4): 593-597.)
- [16] 宋桂云, 李宏伟, 侯迷红, 等. 氮肥对粮饲兼用型玉米生长的影响 [J]. 内蒙古民族大学学报 (自然科学版), 2013, 28(1): 34-37. (Song G Y, Li H W, Hou M H, et al. Influence of nitrogen fertilizer on growth of foodstuff maize [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences), 2013, 28(1): 34-37.)
- [17] 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.)
- [18] 赵平, 林克惠, 郑毅. 氮钾营养对烟叶衰老过程中内源激素与叶绿素含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 379-384. (Zhao P, Lin K H, Zheng Y. Effect of N and K nutrition on chlorophyll content and endogenous hormones in the process of tobacco senescence [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2005, 11(3): 379-384.)
- [19] 卫晓轶, 李国清, 王艳朋, 等. 不同基因型玉米某些氮代谢生理指标的差异研究 [J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(3): 264-268. (Wei X Y, Li G Q, Wang Y P, et al. Study on difference of some physiological indexes of nitrogen metabolism in maize of different genotypes [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2007, 41(3): 264-268.)
- [20] Salvagiotti F, Cassman K G, Specht J E, et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybean [J]. Field Crops Research, 2008, 108: 1-13.
- [21] Xie F T, Zhang H J, Wang H Y, et al. Effect of preplant fertilizer on agronomic and physiological traits of soybean cultivars from different breeding programs [J]. Agricultural Science of China, 2010, 11: 1602-1611.