

# 正方形栽培单株营养面积对大豆生长发育和产量的影响

林蔚刚,董德健,吴俊江,钟 鹏,郭玉红,李铭峰

(黑龙江省农业科学院大豆研究所,哈尔滨 150086)

**摘要** 对合丰43和绥农10这两个熟期接近、不同结荚习性的品种在正方形栽培条件下大豆单株营养面积和群体产量、产量构成因素、单株和根系生长发育的关系进行了探讨。结果表明,这两个品种的最高产量单株营养面积均为 $442.60\text{ cm}^2$ [(21.03 cm×21.03 cm)、22.59株/ $\text{m}^2$ ],合丰43和绥农10的有效单株营养面积分别为 $850\text{ cm}^2$ [(29.15 cm×29.15 cm)、11.76株/ $\text{m}^2$ ]、 $733.87\text{ cm}^2$ [(27.82 cm×27.82 cm)、13.63株/ $\text{m}^2$ ],叶面积指数、单株干物重、总根长、根总表面积、根体积均随单株营养面积的增加而增加。单株营养面积和单株荚数、单株粒数、单株粒重呈显著正相关性。

**关键词** 大豆;单株营养面积;密度

中图分类号 S 565.110.417 文献标识码 A 文章编号 1000-9841(2007)02-0167-04

## EFFECT OF NUTRIENT AREA PER PLANT UNDER SQUARE PLANTING ON DEVELOPMENT AND YIELD OF SOYBEAN

LIN Wei-gang, DONG De-jian, WU Jun-jiang, ZHONG Peng, GUO Yu-hong, LI Ming-feng

(Soybean Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, 150086)

**Abstract** The relation between soybean nutrient area per plant and yield, its yield components, development of plant and root under square planting on Hefeng 43 and Suinong 10 with close growing period but different pod habit was discussed. The nutrient area per plant with the maximum yield on both of Hefeng 43 and Suinong 10 was  $442.60\text{ cm}^2$ [(21.03 cm×21.03 cm), 22.59 plant/ $\text{m}^2$ ] and effective nutrient area per plant were  $850\text{ cm}^2$ [(29.15 cm×29.15 cm), 11.76 plant/ $\text{m}^2$ ] and  $733.85\text{ cm}^2$ [(27.82 cm×27.82 cm), 13.63 plant/ $\text{m}^2$ ]. Leaf area index, dry weight per plant, length of roots, surface area of roots, and volume of roots went up with increasing of nutrient area per plant. The linear correlation coefficients between nutrient area per plant and pod number per plant, grain number per plant, grain weight per plant were significant.

**Key words** Soybean; Nutrient area per plant; Plant density

关于大豆种植密度调控,群体结构优化问题,有许多人进行了研究。胡立成<sup>[1]</sup>于20世纪80年代提出“大豆两垄一平台”栽培法的研究,目的在于增加田间绿色面积,充分利用光能。刘忠堂<sup>[2]</sup>于上世

90年代从美国引进 R. L. Cooper 密植半矮秆种植体系,通过增加密度、增加株距、缩小行距,形成了三种大豆窄行密植种植模式。为了进一步优化群体结构,使大豆群体内单株营养空间趋于更加合理,韩秉

进<sup>[3,4]</sup>对大豆正方形栽培条件下的单株营养面积进行了研究,提出了大豆最佳营养面积和大豆单株有效营养面积的概念。这一试验结果对于实现更加合理的大豆植株田间群体配置和种植密度,进一步促进大豆高产栽培具有积极的意义。生育期间大豆单株营养面积的变化引起单株个体与群体的关系的变化。在群体内,单株个体产量随着单株营养面积的增加而增加,当单株个体产量增加到某一临界值时,群体产量则不再增加。以上试验是通过中早熟、亚有限类型合丰 25、黑农 35 进行研究的,其结果反映了亚有限类型中早熟大豆品种的相关特性,本研究以合丰 43 作为亚有限中熟品种类型代表、以绥农 10 作为无限结荚类型中熟品种代表,进行正方形栽培条件下不同单株营养面积对大豆生长和产量的影响的研究,寻求在方形栽培条件下的最优单株营养面积,为进一步优化相同熟期类型大豆品种田间配置提供参考。

## 1 材料和方法

供试品种为合丰 43(亚有限类型)、绥农 10(无限类型),试验地点为黑龙江省农科院大豆所,株行距均按单株营养面积为(13 cm × 13 cm),(15 cm × 15 cm),(17 cm × 17 cm),(19 cm × 19 cm),(21 cm × 21 cm),(23 cm × 23 cm),(25 cm × 25 cm)设置,对应的群体密度为 59.2 株/m<sup>2</sup>,44.4 株/m<sup>2</sup>,34.6 株/m<sup>2</sup>,27.7 株/m<sup>2</sup>,22.7 株/m<sup>2</sup>,18.9 株/m<sup>2</sup>,16.0 株/m<sup>2</sup>。小区面积为 21 m<sup>2</sup>,随机区组,四次重复,按平播方式实施。施肥量按照磷酸二铵 10 kg/667 m<sup>2</sup>、尿素 2 kg/667 m<sup>2</sup>、硫酸钾 7.0 kg/667 m<sup>2</sup>在耕层中均匀混拌施入。在生育期内测定叶面积指数、单株和根干重/株、根系的各项发育指标(根长/株、根表面积/株、根体积/株等),生育期间每次取样 5 株进行测定。使用 LP-80AccuPAR 冠层仪测定叶面积指数,LC4800 SCANNER 进行根系扫描分析。收获时小区测产面积 8.0 m<sup>2</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 大豆单株营养面积与群体产量的关系

合丰 43 属亚有限结荚习型品种,随单株营养面积的增大,其群体产量亦随之增加,单株营养面积增加到

一定值时,其产量达到最高,其后产量随单株营养面积的增加而下降。群体产量优化结果表明,当单株营养面积为  $X = 442.6 \text{ cm}^2$  即 22.59 株/m<sup>2</sup>时,理论最高产量为  $Y = 254.48 \text{ kg}/667\text{m}^2$ ,单株营养面积和群体产量关系为  $Y = -9.71 + 1.21X - 0.00138X^2$ ,相关系数  $R = 0.9909$ ,显著水平  $P < 0.01$ 。绥农 10 为无限类型结荚习性品种,亦表现出与合丰 43 类似的结果。群体优化结果表明, $X = 442.6 \text{ cm}^2$  即 22.59 株/m<sup>2</sup>时  $Y = 250.24 \text{ kg}/667\text{m}^2$  为理论最大值。

表 1 大豆单株营养面积与群体产量  
Table1 soybean yield under different effective nutrient area per plant

单株营养面积 (cm <sup>2</sup> ) Effective nutrient area per plant	合丰 43 Hefeng 43		绥农 10 Suinong 10	
	密度(株/m <sup>2</sup> ) Plant density	产量 (kg/667m <sup>2</sup> ) Yield	密度(株/m <sup>2</sup> ) Plant density	产量 (kg/667m <sup>2</sup> ) Yield
169	59.17	151.38	59.17	148.33
225	44.44	200.03	44.44	153.97
289	34.60	223.73	34.60	218.80
361	27.70	239.63	27.70	230.28
441	22.67	255.84	22.67	262.33
529	18.90	246.55	18.90	243.82
625	16.00	204.00	16.00	183.32

单株营养面积和群体产量关系为  $Y = -65.52 + 1.45X - 0.0017X^2$ ,相关系数  $R = 0.9495$ ,显著水平  $P < 0.01$ ,达到了 0.01 以上的显著水平(见表 1)。

以上对于合丰 43 和绥农 10 的分析结果表明,这两个品种在田间群体内单株均匀分布状态下,均表现出类似的规律,即单株营养面积接近于 441 cm<sup>2</sup>、23 株/m<sup>2</sup>的田间群体密度下,大豆的群体产量最高,均达到极显著水平。

### 2.2 大豆单株营养面积与单株粒重的关系

分析结果表明,合丰 43 大豆单株粒重随大豆单株营养面积增加而增加,单株营养面积和单株粒重的关系为  $Y = -9.53 + 0.085X - 0.00005X^2$ ,相关系数  $R = 0.9881$ ,显著水平  $P < 0.01$ 。在试验范围内未出现单株粒重最大值,从方程求得最大值,当单株营养面积为  $X = 850 \text{ cm}^2$ (密度 = 11.8 株/m<sup>2</sup>)时, $Y = 26.60 \text{ g}$  为单株粒重最大值。合丰 43 类似,绥农 10 单株粒重随单株营养面积增加而增加,单株营养面积和单株产量间关系  $Y = -10.15 + 0.091X - 0.000062X^2$ ,相关系数  $R = 0.9934$ ,显著水平  $P < 0.01$ 。在试验范围内单株粒重未出现最大值,通过方程式求出最大值,当单株营养面积为  $X = 733.87 \text{ cm}^2$ (密度 = 13.6 株/m<sup>2</sup>)时,单株粒重最

大值  $Y = 23.24 \text{ g}$ 。

关于单株营养面积和单株粒重的关系,这两个品种均表现出相同的规律,随着单株营养面积的增加,群体内单株产量呈增加趋势,出现单株粒重最大值时的单株营养面积被认为是单株有效营养面积<sup>[3]</sup>,当单株营养面积超过这个临界值时,单株粒重不再增加。

### 2.3 大豆单株营养面积与产量构成因素关系

2.3.1 大豆单株营养面积与产量构成因素相关性 分析结果表明(见表2),合丰43、绥农10单株营养面积和单株荚数、单株营养面积和单株有效荚数、单株营养面积和单株粒数、单株营养面积和单株粒重均呈极显著正相关关系;合丰43单株营养面积和平均株高呈极显著正相关,而绥农10不显著,这可能和绥农10的无限结荚习性有关;单株营养面积和百粒重均未达显著相关;田间调查结果表明当单株营养面积超过  $441 \text{ cm}^2$  后,这两个品种均出现了分枝,但是由于二者属于主茎型品种,所以平均单株分枝数均未超过 0.3 个,对于单株的产量贡献相对较小。

表2 单株营养面积和产量构成因素线性相关性

Table 2 Linear correlation coefficients between nutrient area per plant and its yield constituent factors

项目 Item	品 种 Variety	
	合丰43 Hefeng43	绥农10 Suinong10
单株营养面积和单株荚数 (NA & PN)	$R = 0.9773^{**}$	$R = 0.98723^{**}$
单株营养面积和单株有效荚数 (NA & EPN)	$R = 0.9777^{**}$	$R = 0.9909^{**}$
单株营养面积和单株粒数 (NA & GN)	$R = 0.9608^{**}$	$R = 0.9779^{**}$
单株营养面积和单株粒重 (NA & GW)	$R = 0.9638^{**}$	$R = 0.9753^{**}$
单株营养面积和百粒重 (NA & SW)	$R = 0.5597$	$R = 0.6593$
单株营养面积和平均株高 (NA & APH)	$R = 0.8767^{**}$	$R = 0.4695$

Note: NA; Nutrient area per plant; PN; Pod number per plant; EPN; Effective pool number per plant; GN; Grain weight per plant; GW; Grain weight per plant; SW; 100 seed weight; APH; Average plant height; R in the table means linear correlation coefficients.

2.3.2 大豆单株营养面积和叶面积指数关系 合丰43在六片复叶期(V6期)、盛花期、盛荚期叶面积指数均随单株营养面积增加(群体密度下降)而呈明显下降趋势,鼓粒期变化趋势平缓(图1)。绥农10表现为,在V6期、盛花期叶面积指数均随单

株营养面积增加(群体密度下降)而呈明显下降趋势,盛荚期、鼓粒期变化趋于平缓(图2)。

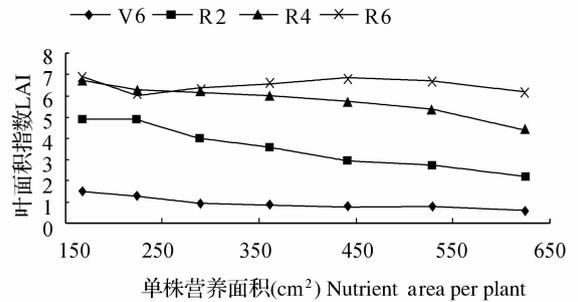


图1 合丰43叶面积指数变化动态

Fig. 1 Dynamic of LAI of Hefeng 43

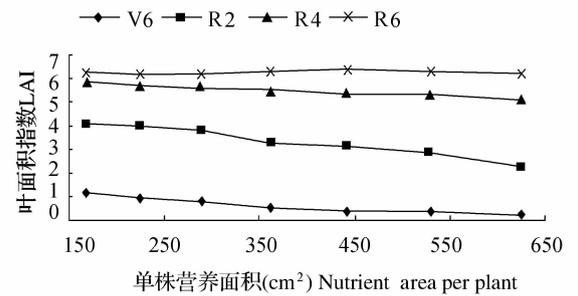


图2 绥农10叶面积指数变化动态

Fig. 2 Dynamic of LAI of Suinong 10

### 2.3.3 单株(不包括地下根系)干物重增长趋势

合丰43和绥农10干物重增长(图3、4)表现出相近的结果,在营养生长期(V6期)和盛花期不同的单株营养面积干物重差异不大;在盛荚期和鼓粒期,随单株营养面积的增加,单株干物重呈增长态势,不同单株营养面积间干物重差异很大,但是这两个品种在整个生育期间  $169 \text{ cm}^2$ 、 $225 \text{ cm}^2$  处理的单株干重十分接近。

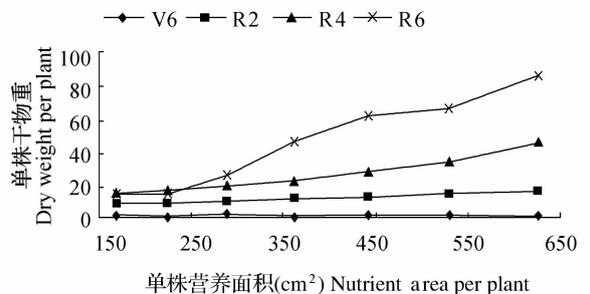


图3 合丰43单株干重变化动态

Fig. 3 Dynamic of dry weight per plant of Hefeng 43

2.3.4 根系发育动态 根系的发育和单株营养面积关系密切。合丰43和绥农10试验结果均表明(表3、4),随单株营养面积的增加,这两个品种(单

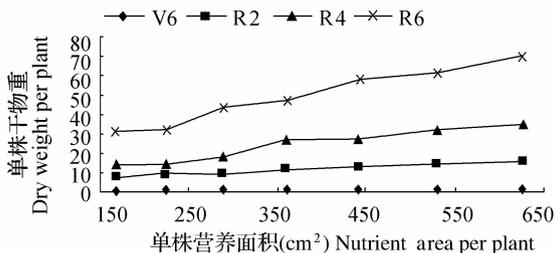


图4 绥农10单株干重变化动态

Fig.4 Dynamic of dry weight per plant of Suinong 10

株)的总根长、根总表面积、根体积均呈增加趋势;单株营养面积和根长、单株营养面积和根总表面积、单株营养面积和根体积间存在显著的正相关。这说明,单株营养面积的增加使单株个体的根系的营养空间扩大,对单株个体的根系发育十分有利。

表3 根系发育动态(结荚期~鼓粒期)

Table 3 Trend of the roots developing

单株营养面积(cm <sup>2</sup> ) Nutrient area per plant	合丰43 Hefeng43			绥农10 Suinong10		
	根长 (cm) Root length	根总表面积 (cm <sup>2</sup> ) Surface area of root	根体积 (cm <sup>3</sup> ) Root volume	根长 (cm) Root length	根总表面积 (cm <sup>2</sup> ) Surface area of root	根体积 (cm <sup>3</sup> ) Root volume
169	390.90	69.63	1.00	347.08	69.90	1.02
225	409.60	71.56	0.93	361.00	67.73	1.01
289	363.47	74.23	1.21	395.02	72.88	1.10
361	397.99	83.93	1.48	458.78	98.82	1.71
441	447.07	102.56	1.88	475.33	103.81	1.83
529	413.65	118.29	2.70	450.19	126.23	2.83
625	510.02	122.18	2.37	486.90	127.70	2.70

表4 单株营养面积和根系线性相关性

Table 4 Linear correlation coefficients between nutrient area per plant and root characters

项 目 Item	品 种 Variety	
	合丰43 Hefeng 43	绥农10 Suinong 10
单株营养面积和根长 Nutrient area per plant and root length	R=0.7683*	R=0.9012**
单株营养面积和根总表面积 Nutrient area per plant and root surface area	R=0.9750**	R=0.9661**
单株营养面积和根体积 Nutrient area per plant and root volume	R=0.9394**	R=0.9516**

### 3 讨论

本试验对正方形栽培<sup>[4]</sup>条件下,合丰43和绥农10作为相同熟期的亚有限结荚习性和无限结荚习

性大豆品种进行了分析,其单株营养面积和大豆籽粒产量、产量相关要素、植株和根系生长发育的关系十分密切,二者试验结果十分接近。

合丰43和绥农10的最佳产量分别254.48 kg/667m<sup>2</sup>和250.24 kg/667m<sup>2</sup>,对应的单株营养面积和密度均为442.6cm<sup>2</sup>、22.59株/m<sup>2</sup>。在正方形栽培条件下单株营养面积和密度为442.6cm<sup>2</sup>、22.59株/m<sup>2</sup>,其单株营养面积为21.04cm×21.04cm的正方形几何面积,在不同方向上植株地上部分和根系发育的空间大小较为均衡,但是在这一密度之下中耕作业较为困难,植株较为高大繁茂的品种类型容易在肥水充沛条件下出现倒伏;作为对比,如果在65cm双条播垄作及相同密度和相同单株营养面积条件下,其平均单株营养面积应为13.62cm×32.50cm的长方形几何面积,有两个方向生长空间相对狭小,不利于这两个方向上的地上部分和根系生长发育,如果按照生产广泛应用的65cm垄作、28株/m<sup>2</sup>的群体密度,其平均单株营养面积为357.14cm<sup>2</sup>的32.5cm×10.98cm的长方形几何面积,有两个方向生长空间更为狭小。由此看来,如何调整大豆垄作规模,兼顾并协调不同方向大豆单株生长发育,仍是一个值得探讨的问题。

作为产量构成因素,单株粒重和单株营养面积关系密切,合丰43和绥农10表现出相近的结果。随单株营养面积的增加,单株粒重均呈增加趋势,合丰43在单株营养面积达到X=850cm<sup>2</sup>(密度=11.8株/m<sup>2</sup>)时,单株粒重最大值Y=26.60g;绥农10在单株营养面积达到X=733.87cm<sup>2</sup>(密度=13.63株/m<sup>2</sup>)时,单株粒重最大值Y=23.24g。这两个类型品种单株粒重最大值对应的单株有效营养面积较为接近,当单株营养面积超过这个临界值时单株籽粒产量并不随之继续增加,因此,单株有效营养面积代表了单株粒重增长的潜力。

叶面积指数和地上部分植株干物重在各生育期均表现为随单株营养面积的增加而增加,但是合丰43鼓粒期叶面积指数增长趋势较为平缓,而绥农10则是在盛荚期和鼓粒期增长趋势较为平缓,这表明绥农10因较为繁茂比合丰43提前封垄导致冠层封闭。这两个品种根系的性状如总根长、总表面积、根体积和单株营养面积间均表现了显著的正相关关系。这表明,较大的单株营养面积可以为植株地上部分和地下部分提供充分的生长发育所需的营养空

种相比,耐冷品种在萌发期间的 SOD、POD、CAT 活性对低温反应灵敏,活性上升较快而且活性较高或较稳定。这说明冷敏感品种对低温反应迟缓,不能及时做出酶活性调整,而且酶活性的稳定性差,例如,在本试验中,冷敏感的东农 46 号和沈农 8 号的 SOD 活性都表现出明显下降的趋势。在本研究中,耐冷品种和冷敏感品种的 CAT 活性变化在低温(6℃)下的差异最大,这表明 CAT 或 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>在大豆种子萌发过程中的活性氧代谢中具有较关键的作用。有报道过 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>处理促进种子的萌发<sup>[15]</sup>,但是在大豆低温萌发中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>有何作用还有待于进一步研究。

## 参 考 文 献

- [1] 王宝山. 生物自由基与植物膜伤害[J]. 植物生理通讯,1988, 33:73-96.
- [2] 杨柏云,熊冬金,黄亚萍,等. 适度低温对棉花细胞保护酶系统的影响[J]. 南昌大学学报,1996,12(4):320-323.
- [3] 陈善娜,梁斌,张蜀君等. 云南高原水稻幼苗的抗冷性与其活性氧清除系统的关系[J]. 中国水稻科学,1995, 17(14):452-458.
- [4] 吴建慧,杨玲,孙国荣. 低温胁迫下玉米幼苗叶片活性氧的产生及保护酶活性的变化[J]. 植物研究,2004,24,(4)456-459.
- [5] G. Sknudlik, R. Baczek Kwinta, J. Koscieliak. The effect of short warm breaks during chilling on photosynthesis and the activity of antioxidant enzymes in plants sensitive to chilling[J]. Journal of

Agronomy,2000,184:233.

- [6] 张思河,王萍,马淑英,等. 三个早熟类型大豆种子萌发进程中耐冷性的比较[J]. 大豆科学,2000, 19(3):218-222.
- [7] 马淑英,尹田夫. 低温对不同耐冷大豆萌发种子游离脯氨酸变化的影响[J]. 吉林农业科学 1998,4:88-90.
- [8] 傅爱根,王爱国,罗广华. 大豆萌发过程中的活性氧代谢[J]. 热带与亚热带学报,1997,5(4):32-38
- [9] 王爱国,罗广华,邵从本,等. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. 植物生理学报,1983,9(1):77-84.
- [10] Kochba J, Lavee S, Spiegel Roy P. Differences in peroxidase activity and isoenzymes in embryogenic and non embryogenic 'Shamouti' organe ovular callus lines[J]. Plant Cell Physiology, 1977,18:463-467.
- [11] Trevor E, Kraus R, Austin Fletcher. Paclobutrazol preprotects wheat seedlings from heat and paraquat injury is detoxification of active oxygen involed[J]. Plant Cell Physiology, 1994, 35(1):45-52.
- [12] Christine H. Foyer, Maud Lelandais, Karl J. Kunert Photooxidation stress in plants[J]. Physiology Plant, 1994, 92:696-717.
- [13] D. Mark Hodges, Christopher J. Andrews, Douglas A. Johnson. et al. Antioxidant enzyme responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines [J]. J. Exp. Bot, 1997, 48(310):1105-1113.
- [14] Prasad T K. Mechanism of chilling induced oxidative stress injury and tolerance, changes in antioxidant system, oxidation of proteion and lipids and protease activities [J]. Plant Journal, 1996, 10:1017-1026.
- [15] 张东向. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>对水稻和玉米种子萌发的影响[J]. 植物生理学通讯,1996,32(2):115-117.

(上接 170 页)

间,但是大豆产量是通过群体产量实现的,单株营养面积过大则易造成群体密度过小影响群体产量,单株营养面积过小则易造成群体内单株生长空间狭小,叶片过早脱落甚至倒伏影响群体产量。

本研究从正方形试验设计探讨不同品种类型品种单株营养面积和产量及产量相关性状的关系。为进一步优化群体结构和单株田间分布的关系,应结合生产上广泛应用的 65~70 cm 垄作栽培条件下的平均单株营养面积和产量及产量相关因素进行对比研究,从而寻求最佳的田间群体结构和单株配置关系。

## 参 考 文 献

- [1] 胡立成. 大豆“两垄一平台”栽培法研究[J]. 大豆科学, 1985,4(1):51-60.
- [2] 刘忠堂. 大豆窄行密植高产栽培技术的研究[J]. 大豆科学, 2002,21(2):117-121.
- [3] 韩秉进,陈渊,金剑. 大豆有效营养面积研究[J]. 中国油料作物学报,2002,24(4):33-37.
- [4] 韩秉进,金剑,中嶋博. “黑农 35”大豆有效营养面积的研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):78-81.