



# 红壤旱地玉米大豆间作模式对大豆农艺性状和产量的影响

封 亮,王淑彬,杨文亭,俞 霞,李淑娟,袁嘉欣,黄国勤

(江西农业大学 农学院/江西农业大学生态科学研究中心,江西 南昌 330045)

**摘 要:**为发展玉米大豆间作产业,提高间作模式的作物产量,筛选适宜于江西红壤旱地玉米间作大豆带宽、行比配置的最佳模式,本研究设置 2.0、2.4 和 2.8 m 不同带宽,2:2、2:3 和 2:4 不同玉米大豆行比配置,以玉米单作、大豆单作分别为对照组,分析不同带宽、行比配置下间作模式对大豆叶面积指数、干物质积累量、干物质相对增长速率及产量的影响。结果表明:带宽 2.4 m 模式下,大豆株高、茎粗、百粒重、单株荚数、单株粒重最佳。带宽相同,增加行比配置,大豆产量增加;行比相同,增加带宽配置,大豆产量降低。单作大豆产量最高,为  $823.11\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;间作模式下带宽 2.4 m、行比 2:4 产量较好,为  $736.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,较大豆单作减产 11.77%,比带宽 2.4 m、行比 2:3 模式增产 17.29%。带宽 2.4 m 模式下,增加行比配置有利于大豆叶面积指数、干物质、相对生长速率和产量的增加。灰色关联度结果表明:单株粒重大豆产量的影响最大,带宽 2.4 m 配置下大豆的单株粒重最大、产量较优。综上,带宽 2.4 m、行比 2:4 模式为最佳田间配置,可为江西省红壤旱地发展玉米间作大豆模式提供理论依据。

**关键词:**间作;红壤旱地;大豆;农艺性状;干物质积累;产量

## Effects of Maize Soybean Intercropping Patterns on Soybean Agronomic Characters and Yield in Upland Red Soil

FENG Liang, WANG Shu-bin, YANG Wen-ting, YU Xia, LI Shu-juan, YUAN Jia-xin, HUANG Guo-qin

(College of Agriculture/Research Center of Ecological Science, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** In order to develop maize-soybean intercropping industry, improve crop yield under intercropping mode and select the optimal configuration mode of soybean bandwidth and row ratio suitable for maize intercropping in upland red soil of Jiangxi Province, this experiment set three different bandwidths of 2.0, 2.4 and 2.8 m, and three different maize-soybean row ratio configurations of 2:2, 2:3 and 2:4, taking maize single cropping, and soybean single cropping respectively as control group. The differences of leaf area index (LAI), dry matter accumulation, relative growth rate of dry matter and yield of intercropping soybean under different belt width and row ratio were studied. The results showed that, under the belt width of 2.4 m, plant height, stem diameter, 100-seed weight, pods number per plant, and seeds weight per plant were the best. With the same bandwidth, when the row ratio increased, the soybean yield increased. And with the same row ratio, when the soybean yield decreased, the bandwidth configuration increased. The yield of monocropping soybean was the highest as  $823.11\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . The yield of intercropping with 2.4 m bandwidth and 2:4 row ratio was  $736.4\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , better than other intercropping treatments. Compared with monoculture soybean, the yield decreased by 11.77%, and was 17.29% higher than that of 2.4 m bandwidth and 2:3 row ratio. Under the bandwidth of 2.4 m, the increase of row ratio was beneficial to the increase of soybean leaf area index, relative growth rate of soybean dry matter and soybean yield. From the result of grey correlation, it could be seen that the correlation of seed weight per plant was the largest. In the configuration with a bandwidth of 2.4 m, the seed weight per plant was the largest and the yield was better, indicating that the seed weight per plant had the greatest impact on soybean yield. To sum up, the best field configuration is 2.4 m width and 2:4 row ratio, which can provide theoretical basis for the development of maize soybean intercropping model in upland red soil of Jiangxi Province.

**Keywords:** Intercropping; Upland red soil; Soybean; Agronomic characters; Dry matter accumulation; Yield

大豆是中国重要的粮食和油料作物,大豆与根瘤菌共生固氮是大豆重要的生物学特性,同时豆科作物与禾本科作物间作种植可改善土壤微生态、提高土壤养分及酶活性、提高下一季作物对养分的吸

收稿日期:2020-04-04

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD030020906);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ180177)。

第一作者简介:封亮(1994-),男,硕士,主要从事耕作与农业生态研究。E-mail:996597837@qq.com。

通讯作者:黄国勤(1962-),男,博士,教授,博导,主要从事农学、生态学、可持续发展理论与实践等研究。E-mail:hgqjxes@sina.com;  
王淑彬(1975-),女,博士,副教授,主要从事耕作学与农业生态研究。E-mail:290598920@qq.com。

收,因此大豆间作具有肥土养地作用<sup>[1]</sup>。在现有的间套作模式种植中,玉米间作大豆模式应用最广,因为玉米大豆间套作在生物学特性、时空搭配、资源利用上是典型的黄金搭档,土地当量比能够达到1.4 以上<sup>[2]</sup>。同时间套作是精耕细作、集约、多熟种植的一种传统技术,它在我国种植模式中一直发挥着重要的作用<sup>[3]</sup>。

有研究表明间作大豆产量显著低于单作,但群体总产量显著高于单作,且行比配置相同时,玉米叶型不同对间作大豆农艺性状也会产生一定的影响<sup>[4]</sup>。曹鹏鹏等<sup>[5]</sup>研究表明带距或行距越小,越有利于增加大豆株高和底荚高度,带距或行距越大,大豆产量越高。不同间作模式下大豆的单株干物质质量之间没有显著差异,玉米大豆行比配置为2:3 时作物群体产量较间作大豆产量具有较大优势<sup>[6]</sup>。范元芳等<sup>[7]</sup>研究了带状模式对大豆生长及产量的影响,结果表明间作模式下的大豆农艺性状与单株产量均不及单作大豆。李淑敏等<sup>[8]</sup>研究表明大豆单株干物质积累量间作模式小于单作模式,在大豆生育期撒施氮、磷、钾肥有利于大豆干物质积累量和产量的增加<sup>[9]</sup>。

江西红壤是中国南方的重要土壤类型,其中红壤旱地是红壤区的重要组成部分,南方红壤区为热带、亚热带气候,无霜期长,水、光、热资源丰富,自然条件优越,生产潜力巨大<sup>[10]</sup>。前人主要对红壤旱地玉米间作大豆玉米品种筛选<sup>[11]</sup>、玉米间作大豆和花生边际效应影响<sup>[12]</sup>、玉米间作大豆减施氮肥等<sup>[13]</sup>方面进行了报道,但对江西红壤旱地不同带

宽、行比配置对大豆农艺性状及干物质积累和产量影响方面研究较少。本文通过比较不同带宽、行比配置下干物质积累、叶面积指数、产量等指标,拟筛选出适宜于江西省红壤旱地种植的最佳带宽、行比配置模式,对提高土地利用率、发展玉米大豆产业、提高农民经济效益,改善土壤环境具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在江西省进贤县红壤研究所(28°15'N, 116°20'E) 进行,中亚热带季风气候,年均降水量1 537 mm,年蒸发量1 100 ~ 1 200 mm,年均气温17.7 ~ 18.5 ℃。海拔高度25 ~ 30 m,坡度5°,为典型的低丘红壤地区。试验前土壤 pH5.72,有机质19.70 mg·kg<sup>-1</sup>,碱解氮102.76 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷12.80 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾174.08 mg·kg<sup>-1</sup>,全氮1.23 g·kg<sup>-1</sup>,全磷0.47 g·kg<sup>-1</sup>,全钾23.46 g·kg<sup>-1</sup>。

1.2 试验设计

春玉米品种为吉祥1 号,春大豆品种为旱豆1 号,分别购于进贤县种子公司。2019 年4 月8 日同时播种玉米和大豆,大豆于7 月11 日收获,玉米于7 月30 日收获。玉米全生育期共施纯氮270 kg·hm<sup>-2</sup>,按底肥:拔节肥:穗肥为3:2:5 比例施用,玉米底肥配施过磷酸钙600 kg·hm<sup>-2</sup>、氯化钾150 kg·hm<sup>-2</sup>,大豆基肥配施尿素75 kg·hm<sup>-2</sup>、过磷酸钙600 kg·hm<sup>-2</sup>、氯化钾60 kg·hm<sup>-2</sup>,初花后追施尿素75 kg·hm<sup>-2</sup>,其它管理同大田。

表 1 不同带宽、行比田间配置试验设计表

Table 1 Design table of field configuration experiment with different bandwidth and row ratio

处理 Treatment	带宽 Band width/cm	玉米-大豆行比 Maize-soybean row ratio	株距(玉米/大豆) Plant spacing (maize/soybean)/cm	玉米-大豆行距 Maize-soybean row spacing/cm
B <sub>2.0</sub> R <sub>2:2</sub>	200	2:2	16.6/6.6	60
B <sub>2.4</sub> R <sub>2:3</sub>	240	2:3	13.8/8.3	60
B <sub>2.4</sub> R <sub>2:4</sub>	240	2:4	13.8/11.0	40
B <sub>2.8</sub> R <sub>2:3</sub>	280	2:3	11.9/7.1	80
B <sub>2.8</sub> R <sub>2:4</sub>	280	2:4	11.9/9.5	60
SM	175	—	23.8	70
SS	125	—	13.3	50

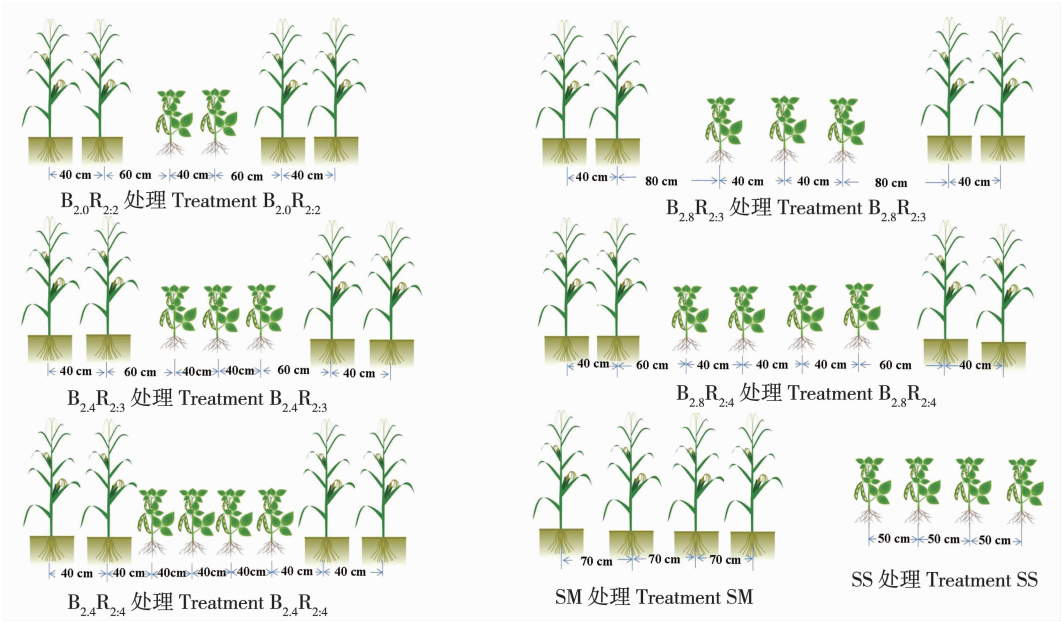


图 1 不同带宽、行比田间配置试验设计图

Fig. 1 Design of field experiment with different bandwidths and row ratios

本研究共设 7 个处理：(1)  $B_{2.0}R_{2.2}$  处理：带宽 2.0 m、行比 2:2；(2)  $B_{2.4}R_{2.3}$  处理：带宽 2.4 m、行比 2:3；(3)  $B_{2.4}R_{2.4}$  处理：带宽 2.4 m、行比 2:4；(4)  $B_{2.8}R_{2.3}$  处理：带宽 2.8 m、行比 2:3；(5)  $B_{2.8}R_{2.4}$  处理：带宽 2.8 m、行比 2:4；(6) SM 处理：单作玉米；(7) SS 处理：单作大豆。各处理的田间配置如图 1 所示。各处理采用单因素随机区组设计，每个处理种植 2 带，带宽 5 m，3 次重复，玉米、大豆种内行距均为 40 cm，玉米密度 6 万株·hm<sup>-2</sup>，大豆 15 万株·hm<sup>-2</sup>，单株定植。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 农艺性状的测定 大豆播种 30 d 后，每 15 d 从每个小区选取 3 株长势一致的大豆样品带回实验室测定叶面积、株高、茎粗等农艺性状测定，整个生育期共测 5 次。

1.3.2 叶面积指数 利用拍照法运用 Image J1.49V 软件求得单株大豆叶面积，并计算叶面积指数。

叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI) = 单株叶面积 × 单位土地面积内的株数 / 单位土地面积。

1.3.3 大豆干物质积累及相对增长速率 取 3 株大豆样品按茎、叶分装于纸袋中，105 ℃ 杀青 30 min，再于 80 ℃ 烘干至恒重，称重测定干物质含量。

大豆干物质相对增长速率： $RGR = (\ln Q_2 - \ln Q_1) / (t_2 - t_1)$ 。

式中： $t_1$ 、 $t_2$  分别为相邻两次测定大豆干物质的时间， $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为  $t_1$ 、 $t_2$  时测定的大豆干物质。

1.3.4 产量的测定 大豆收获前统计各小区的大豆株数，取 20 株长势一致的植株进行考种，测定百粒重、单株粒重、单株粒数、茎粗、空荚、多荚和株高。各小区收获时未取样的一带实打实收测产，最后折合成公顷产量。

1.3.5 灰色关联分析 对不同玉米间作大豆模式下大豆农艺性状单株荚数 ( $X_1$ )、单株粒数 ( $X_2$ )、百粒重 ( $X_3$ )、茎粗 ( $X_4$ )、单荚 ( $X_5$ )、多荚 ( $X_7$ )、株高 ( $X_8$ )、产量 ( $X_0$ ) 进行关联度分析。

首先确定序列并进行无量纲处理，然后采用 Excel 2019 软件进行灰色关联度计算。设大豆产量性状为参考数列  $X_0$ ，农艺性状为比较数列  $X_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$ ，且  $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), X_0(3), \dots, X_0(N)\}$ ， $X_i = \{X_i(1), X_i(2), X_i(3), \dots, X_i(N)\}$ ，则称  $\varepsilon_i(k)$  为  $X_0$  与  $X_i$  在第  $k$  点的关联系数：

$$\varepsilon_i = \frac{\min_k \min_i |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|},$$

式中： $|X_0(k) - X_i(k)|$  表示  $X_0$  数列与  $X_i$  数列在第  $k$  点的绝对差值，记作：

$$\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|,$$

计算出关联度：

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k),$$

式中： $\min_k \min_i |X_0(k) - X_i(k)|$  为二级最小差， $\max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|$  为二级最大差， $\rho$  是分辨系数， $N$  为样本个数，取值范围为 0 ~ 1，取值 0.5。

1.4 数据分析

使用 Excel 2019 统计处理数据,利用 SPSS 20.0 对数据进行单因素方差分析,采用 Duncan 法对各项测定数据进行多重比较和皮尔逊双尾相关性分析,采用 Origin 2018 进行图表制作。

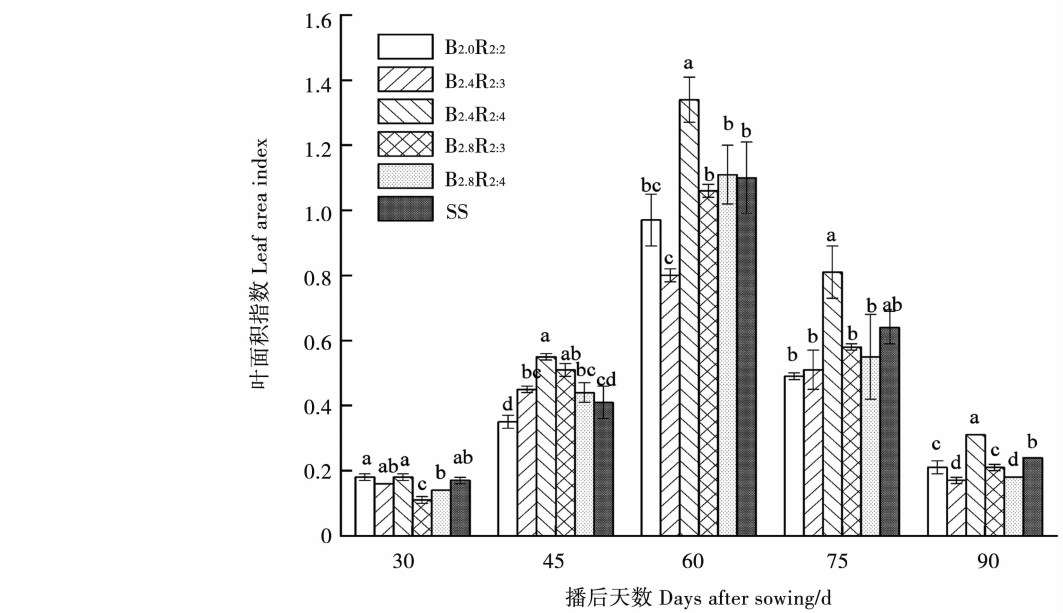
2 结果与分析

2.1 不同带宽行比配置对大豆叶面积指数的影响

由图 2 可知,各间作处理中大豆叶面积指数在整个生育期内呈先增后降趋势,各间作模式下,  $B_{2.4}R_{2:4}$  处理叶面积指数较优,不同时期内叶面积指数与其它间作处理呈显著性差异。播后 30 d,  $B_{2.0}R_{2:2}$  和  $B_{2.4}R_{2:4}$  处理叶面积指数相同,均最高,与  $B_{2.8}R_{2:3}$  和  $B_{2.8}R_{2:4}$  处理呈显著性差异。播后 60 d,各间作处

理的叶面积指数均达到峰值,其中  $B_{2.4}R_{2:4}$  处理最大,为 1.34,  $B_{2.4}R_{2:3}$  处理最小,为 0.8,  $B_{2.4}R_{2:4}$  较  $B_{2.4}R_{2:3}$  处理叶面积指数高 67.5 %,说明带宽 2.4 m 模式下,增加 1 行大豆有利于增加叶面积指数。播后 60 d 之后,  $B_{2.4}R_{2:4}$  处理在所有间作处理中仍表现出生长优势。

带宽 2.8 m 模式下,增加行比配置,在播后 30 和 60 d 时叶面积指数增加,在 75 和 90 d 时叶面积指数减小;由  $B_{2.4}R_{2:3}$  和  $B_{2.8}R_{2:3}$  处理变化差异可知,当行比为 2:3 时,带宽由 2.4 m 增至 2.8 m,叶面积指数在生育后期呈增加趋势,由  $B_{2.4}R_{2:4}$  和  $B_{2.8}R_{2:4}$  处理的变化差异可知,当行比为 2:4 时,带宽由 2.4 m 增至 2.8 m,叶面积指数呈下降趋势。



不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。  
Differet letter mean significant difference between treatments ( $P < 0.05$ ). The same below.

图 2 不同带宽行比配置模式下不同时期大豆叶面积指数  
Fig. 2 Soybean leaf area index in different periods under the mode  
of different bandwidth and row ratio configuration modes

2.2 不同带宽行比配置对大豆干物质积累的影响

由图 3 可知,播后 30 d,大豆均处于生长初期,各间作处理的干物质积累量差异较小。播后 45 d  $B_{2.4}R_{2:4}$  处理干物质积累最大,较 SS 和  $B_{2.4}R_{2:3}$  处理分别增加 24.98% 和 39.74%,且与  $B_{2.4}R_{2:3}$  处理具有显著差异,表明增植 1 行大豆,有利于增加大豆干物质积累量。播后 60 ~ 75 d,  $B_{2.8}R_{2:3}$  处理的干物质积累最大,与  $B_{2.4}R_{2:4}$  无显著性差异;播后 90 d,  $B_{2.8}R_{2:4}$  处理干物质积累量最大,与  $B_{2.4}R_{2:4}$ 、 $B_{2.4}R_{2:3}$  处理无显著性差异,与 SS 处理呈极显著性差异。

3 种带宽处理中,  $B_{2.0}R_{2:2}$  处理大豆干物质积累在各生育期均为最低,说明带宽 2.0 m 相较于 2.4 和 2.8m 模式表现为间作劣势。由  $B_{2.4}R_{2:3}$  和  $B_{2.8}R_{2:3}$  处理的变化差异可知,当行比配置为 2:3 时,带宽由 2.4 m 增至 2.8 m,大豆干物质积累量在播后 45 ~ 75 d 呈增加趋势;由  $B_{2.4}R_{2:4}$  和  $B_{2.8}R_{2:4}$  的变化差异可知,当行比配置为 2:4 时,带宽由 2.4 m 增至 2.8 m,大豆干物质积累量在播后 35 ~ 75 d 呈减小趋势。

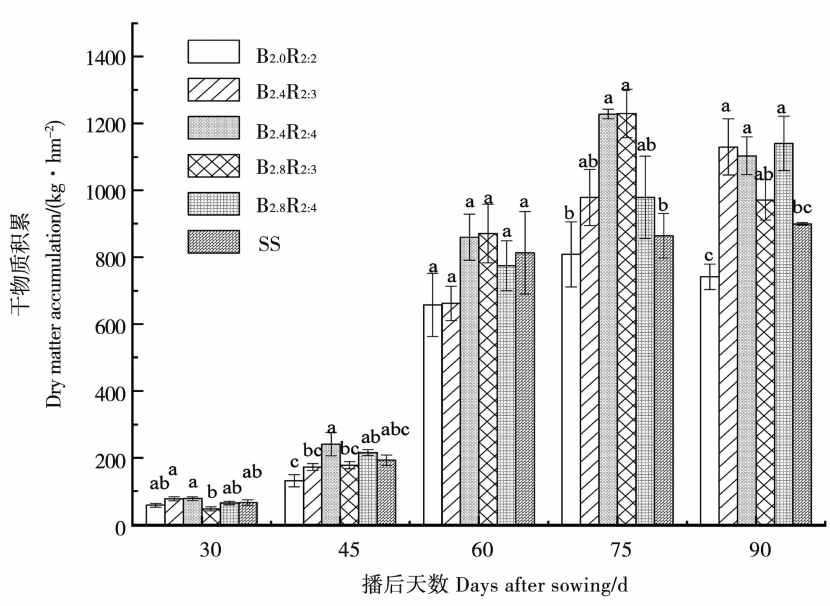


图3 不同带宽行比配置模式下不同时期大豆干物质积累

Fig. 3 Dry matter accumulation of soybean in different periods under the mode of different bandwidth and row ratio configuration modes

2.3 不同带宽行比配置对大豆干物质相对增长速率的影响

由图4可知,大豆生育期间干物质相对增长速率呈先增后减趋势,相对增长速率在播后45~60 d达到峰值。在生育期内 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>处理的干物质相对增长速率相较于其它间作处理表现出优势,播后30~

45 d,为0.34,较最低处理 B<sub>2.0</sub>R<sub>2:2</sub>高6%,且与 B<sub>2.0</sub>R<sub>2:2</sub>处理具有显著性差异。播后45~60 d,各间作处理无显著性差异。播后60~75 d,SS处理的干物质相对增长速率最低,为0.32,与 B<sub>2.0</sub>R<sub>2:2</sub>处理无显著性差异,与 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:3</sub>、B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>和 B<sub>2.8</sub>R<sub>2:3</sub>处理呈极显著性差异。

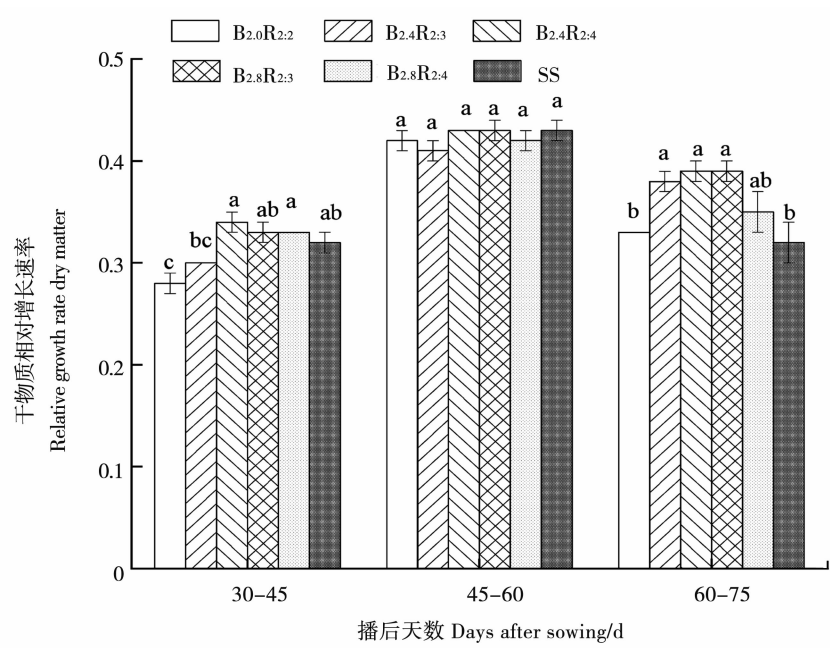


图4 不同带宽行比配置模式下不同时期大豆干物质增长速率

Fig. 4 Growth rate of soybean dry matter in different periods under the different bandwidth and row ratio configuration modes

所有间作处理的干物质相对增长速率整体上表现为带宽2.0 m模式最低。由 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:3</sub>和 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>

处理的变化差异可知,当带宽为2.4 m时,行比增加,干物质相对增长速率增加;由 B<sub>2.8</sub>R<sub>2:3</sub>和 B<sub>2.8</sub>R<sub>2:4</sub>

处理变化差异可知,当带宽为 2.8 m 时,增植 1 行大豆,干物质相对增长速率减小;由 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:3</sub>和 B<sub>2.8</sub>R<sub>2:3</sub>处理的变化差异可知,当行比为 2:3 时,带宽由 2.4 m 增至 2.8 m,大豆干物质相对增长速率增加;由 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>和 B<sub>2.8</sub>R<sub>2:4</sub>处理的变化差异可知,当行比为 2:4 时,带宽由 2.4 m 增至 2.8 m,大豆干物质相对增长速率减小。

2.4 不同带宽行比配置对大豆农艺性状及产量的影响

由表 2 可知,不同间作模式下大豆农艺性状与大豆产量均表现出差异。B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>处理下大豆株高、茎粗、单荚数、多荚数、百粒重、单株粒数、单株荚数和单株粒重均与 SS 处理呈极显著性差异。间作处理中 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:3</sub>处理在株高、茎粗、多荚数、单株粒数、单株荚数和单株粒重方面较其它间作处理表现为

劣势;单粒荚数表现为 B<sub>2.8</sub>R<sub>2:4</sub>最低,与 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>呈显著性差异;百粒重表现为 B<sub>2.0</sub>R<sub>2:2</sub>最低,为 15.52 g,比 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>低 15.4%,且呈显著性差异;各处理在大豆产量方面表现为:SS > B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub> > B<sub>2.8</sub>R<sub>2:4</sub> > B<sub>2.0</sub>R<sub>2:2</sub> > B<sub>2.4</sub>R<sub>2:3</sub> > B<sub>2.8</sub>R<sub>2:3</sub>,单作大豆产量最高,为 823.11 kg·hm<sup>-2</sup>,间作处理 B<sub>2.4</sub>R<sub>2:4</sub>产量高于其它间作处理,表现出间作优势,较 B<sub>2.8</sub>R<sub>2:3</sub>处理增产 20.3%,较大豆单作减产 11.77%。

带宽 2.0 m 增至 2.8 m,株高、茎粗、百粒重、单株荚数、单株粒重及产量呈先增后降趋势;在带宽 2.4 m 或 2.8 m 时,增加 1 行大豆,株高、多荚数、单株粒数、单株粒重和大豆产量均增加,无论行比为 2:3或者是 2:4 模式,增加带宽,均不利于间作大豆产量的增加。

表 2 不同带宽行比配置模式下大豆农艺性状与产量分析

Table 2 Analysis of soybean agronomic characters and yield under different bandwidth and row ratio configuration modes

处理	株高	茎粗	单粒荚数	多粒荚数	百粒重	单株粒数	单株荚数	单株粒重	产量
Treatment	Plant height /cm	Stem diameter /mm	Pod number of single seed	Pod number of multi seeds	100-seed weight/g	Seed number per plant	Pod number per plant	Seed weight per plant /g	Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
B <sub>2.0</sub> R <sub>2:2</sub>	29.87 b	4.84 b	5.07 ab	19.15 a	15.52 d	41.41 ab	24.81 a	12.05 a	672.22 c
B <sub>2.4</sub> R <sub>2:3</sub>	29.61 b	4.68 b	3.78 c	14.87 ab	17.50 ab	36.31 bc	20.22 ab	9.74 b	627.85 d
B <sub>2.4</sub> R <sub>2:4</sub>	33.63 a	5.28 a	5.17 a	18.89 a	17.91 a	46.00 a	24.47 a	14.13 a	736.40 b
B <sub>2.8</sub> R <sub>2:3</sub>	30.19 b	4.93 ab	4.06 bc	18.72 a	17.32 abc	42.17 ab	24.67a	12.64 a	611.91 d
B <sub>2.8</sub> R <sub>2:4</sub>	31.18 ab	4.84 b	3.33 c	18.78 a	16.38 bcd	44.33 ab	23.51 ab	13.35 a	700.27 c
SS	25.47 c	4.14 c	3.37 c	12.72 b	16.04 cd	29.50 c	18.37b	7.53 c	823.11 a
平均带宽 2.0 m Average bandwidth 2.0 m	29.87	4.84	5.07	19.15	15.52	41.41	24.81	12.05	672.22
平均带宽 2.4 m Average bandwidth 2.4 m	31.62	4.98	4.48	16.88	17.71	41.16	22.35	16.81	682.13
平均带宽 2.8 m Average bandwidth 2.8 m	30.69	4.89	3.70	18.75	16.85	43.25	24.09	13.00	656

2.5 不同带宽行比配置下农艺性状与产量灰色关联度分析

根据灰色理论要求,得出农艺性状对产量的关联度及关联度排序如表 3 所示,所有性状对产量的关联度排序为:单株粒重(0.699 0) > 株高(0.692 3) > 单株粒数(0.689 2) > 茎粗(0.684 2) > 单株荚数(0.683 8) > 多粒荚数(0.674 9) > 单粒荚

数(0.654 5) > 百粒重(0.631 3),可见单株粒重、株高、单株粒数对产量的影响最大,单粒荚数与百粒重对产量的影响较小。对大豆产量和农艺性状进行的灰色关联度分析能够探究大豆产量与农艺性状之间的关系,有助于明确影响大豆高产的产量性状因子,为后期玉米间作大豆作物高产理论提供依据。结果说明发展玉米间作大豆产业时加强田间

管理措施有利于大豆单株粒重的增加,选择适宜于红壤旱地玉米间作大豆田间种植模式有助于间作大豆产量的提高。

表3 不同带宽行比配置模式下农艺性状与产量灰色关联分析

Table 3 Grey correlation analysis of agronomic characters and yield under different bandwidth and row ratio configuration modes

性状 Character	关联度 Correlation degree	关联度排序 Relevance ranking
株高 Plant height	0.6923	2
茎粗 Stem diameter	0.6842	4
单粒荚数 Pod number of single seed	0.6545	7
多粒荚数 Pod number of multi seeds	0.6749	6
百粒重 100-seed weight	0.6313	8
单株荚数 Pod number per plant	0.6838	5
单株粒数 Seed number per plant	0.6892	3
单株粒重 Seed weight per plant	0.6990	1

3 讨 论

3.1 带宽行比配置对大豆叶面积指数及干物质相对生长速率的影响

叶面积指数(LAI)是反映植物群体生长状况的一个重要指标,其大小直接决定产量的高低<sup>[14]</sup>,研究结果表明不同田间配置模式下叶面积指数表现出不同的差异性,间作处理下大豆叶面积指数在整个生育期内呈先增后减态势,在适宜带宽行比配置下增加行比配置,大豆叶面积指数增加。王竹等<sup>[15]</sup>、曹金锋等<sup>[16]</sup>研究表明在大豆整个生育期内,大豆叶面积指数呈抛物线型变化、干物质积累量与大豆产量呈正相关趋势。本研究中3个带宽处理中带宽2.4 m模式下的叶面积指数在不同时期均高于其它处理,且带宽2.4 m时,增加1行大豆,叶面积指数增加,说明在适宜带宽配置下增加1行大豆有利于提高叶面积指数,使大豆植株更好地进行光合作用。带宽2.8 m模式下,增加行比配置,在播后30和60 d叶面积指数增加,但在75和90 d叶面积指数减小,与带宽2.4 m模式下叶面积指数变化趋势不一致,可能是在玉米生长初期对大豆的遮荫效果较弱,随着玉米生育期的推迟,对大豆的遮荫作用加强,进而影响大豆植株生长,具体原因在后期研究中还将再做进一步探究。

本研究中带宽2.0 m干物质积累量最小、干物

质相对生长速率最低,可能是因为玉米作为高秆作物对大豆的遮荫效果影响较大,且该模式下大豆光能截获量较少,不利于大豆的生长;带宽2.4 m模式下,行比增加,大豆干物质相对增长速率增加,在生长末期与单作大豆干物质相对增长速率呈显著性差异;带宽2.4和2.8 m模式下,行比增加,干物质相对增长速率分别增加和减小。罗万宇等<sup>[17]</sup>研究表明带宽2.0、2.2和2.4 m处理下干物质积累量随带宽增加而增加,而本研究中行比配置不同带宽增加会导致大豆干物质的增加或减少。冯其虎等<sup>[18]</sup>研究表明大豆生育过程中干物质积累速率越快,最终产量越高。以上研究结果说明带宽过窄或过宽都会对干物质积累以及干物质相对生长速率造成影响,在占地面积一定时,控制合理的带宽、行比配置能使干物质积累量、干物质相对生长速率和产量达到最佳<sup>[19]</sup>。

3.2 带宽行比配置对大豆农艺性状及产量的影响

本研究结果表明带宽2.0 m增至2.8 m时,株高、茎粗、百粒重、单株荚数和单株粒重呈先增后降趋势;带宽2.4 m或2.8 m时,增加一行大豆,株高、多荚、单株粒数和单株粒重均增加,且带宽相同,增加行比配置,大豆产量增加;行比相同时,增加带宽配置,大豆产量降低。曹鹏鹏等<sup>[5]</sup>研究表明带距或行距越大,大豆产量越高,本研究表明在带宽2.0~2.4 m范围内产量随着带宽增加而增加,但当带宽由2.4 m增至2.8 m时产量却降低。可能是因为带宽过度增加,种间距离进一步增大,玉米、大豆地下部相互作用减弱,进而造成产量下降,也有可能是每公顷株数恒定,行比相同,增加带宽,使得大豆株距减小,个体间竞争作用加强,致使产量降低。带宽2.4 m、行比2:4配置下大豆产量最高,较带宽2.4 m、行比2:3配置增产17.29%,比间作大豆最低产量增产20.3%,较大豆单作减产11.77%。朱星陶等<sup>[20]</sup>研究认为在玉米间作大豆行比2:3种植模式下增加大豆行数,有利于提高大豆产量,本研究中带宽2.4 m、行比2:3配置下,增加一行大豆,大豆产量增加,主要原因是增加带宽行比,玉米对大豆荫蔽程度减弱,使大豆群体光截获量增加,大豆的单株粒数和百粒重随之增加,进而提高产量<sup>[17]</sup>。

3.3 不同带宽行比配置下大豆农艺性状与产量灰色关联度分析

汪宝卿等<sup>[21]</sup>研究表明与大豆产量关联度较高的农艺性状由大到小的顺序依次为单株粒重、单株



粒数、每荚粒数、单株荚数和茎粗。苗任重等<sup>[22]</sup>利用灰色关联分析研究表明,对大豆产量影响最大的性状为单株粒重、株高和主茎节数,黄中文等<sup>[23]</sup>研究表明大豆株高及其生长速率与产量密切相关,一般株高为65~80 cm,大豆可以丰产。本研究利用灰色关联度进行大豆农艺性状与产量关系的分析,结果表明不同农艺性状会对大豆产量造成不同的影响,对产量的关联度影响最大的产量性状因子是单株粒重。带宽2.4 m模式下的单株粒重最大,其产量最高,也表明单株粒重对间作大豆产量的影响最大。因此,发展红壤旱地玉米间作大豆种植模式,选择单株粒重较大的品种,再结合适宜的带宽、行比配置模式,可实现增产、增效、增收的目的。

4 结 论

本研究分析了玉米间作大豆模式下不同带宽、行比配置对大豆农艺性状及产量的影响,结果表明带宽过窄、过宽时会通过影响农艺性状等特征影响大豆产量,只有适宜的带宽、行比配置才有利于大豆植株生长,有利于增加间作大豆产量;带宽2.4 m、行比2:4配置下大豆叶面积指数、大豆干物质积累、大豆干物质相对增长速率和产量均较优。影响间作大豆产量的农艺性状因子主要是单株粒重,加强田间管理和选用优良品种将有助于单株粒重的增加,有助于产量的提高。综上,带宽2.4 m、行比2:4模式为最佳田间配置,可为江西省红壤旱地发展玉米间作大豆模式提供理论依据。

参考文献

[1] 姚玉波. 大豆根瘤固氮特性与影响因素的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012. ( Yao Y B. Study on characteristics of nodule nitrogen fixation and influencing factors of soybean [ D ]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012. )

[2] 杨文钰, 杨峰. 发展玉豆带状复合种植, 保障国家粮食安全[J]. 中国农业科学, 2019, 52 ( 21 ): 3748-3750. ( Yang W Y, Yang F. Developing maize-soybean strip intercropping for demand security of national food [ J ]. China Agricultural Science, 2019, 52 ( 21 ): 3748-3750. )

[3] 刘巽浩. 90年代我国耕作制度发展展望[J]. 耕作与栽培, 1992 ( 2 ): 1-9. ( Liu X H. Prospects for the development of China's farming system in the 1990s [ J ]. Farming and Cultivation, 1992 ( 2 ): 1-9. )

[4] 汤复跃, 陈文杰, 韦清源, 等. 不同行比配置和玉米株型对玉米大豆间种产量及效益影响[J]. 大豆科学, 2019, 38 ( 5 ): 726-732. ( Tang F Y, Chen W J, Wei Q Y, et al. Effects of row ratio

and maize plant type on yield and benefit of maize soybean intercropping [ J ]. Soybean Science, 2019, 38 ( 5 ): 726-732. )

[5] 曹鹏鹏, 田艺心, 高凤菊, 等. 玉米-大豆间作不同带距和行距对两作物生长及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50 ( 7 ): 78-81, 87. ( Cao P P, Tian Y X, Gao F J, et al. Effects of different band and row spacing on growth and yield of intercropping maize and soybean [ J ]. Shandong Agricultural Science, 2018, 50 ( 7 ): 78-81, 87. )

[6] 高阳, 段爱旺, 刘祖贵, 等. 间作种植模式对玉米和大豆干物质积累与产量组成的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25 ( 2 ): 214-221. ( Gao Y, Duan A W, Liu Z G, et al. Effect of intercropping patterns on dry matter accumulation and yield components of maize and soybean [ J ]. China Agronomy Bulletin, 2009, 25 ( 2 ): 214-221. )

[7] 范元芳, 刘沁林, 王锐, 等. 玉米-大豆带状间作对大豆生长、光合荧光特性及产量的影响[J]. 核农学报, 2017, 31 ( 5 ): 972-978. ( Fan Y F, Liu Q L, Wang R, et al. Effects of shading on growth, photosynthetic fluorescence characteristics and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems [ J ]. Journal of Nuclear Agriculture, 2017, 31 ( 5 ): 972-978. )

[8] 李淑敏, 乔海涛, 吕娇. 大豆/玉米间作下干物质累积动态变化与产量分析[J]. 天津农业科学, 2011, 17 ( 4 ): 38-41. ( Li S M, Qiao H T, Lyu J. Dynamic changes of dry matter accumulation and yield analysis under the intercropping of soybean and maize [ J ]. Tianjin Agricultural Science, 2011, 17 ( 4 ): 38-41. )

[9] 王乐政, 华方静, 曹鹏鹏, 等. 氮磷钾配施对红小豆干物质积累、产量和效益的影响[J]. 核农学报, 2019, 33 ( 10 ): 2058-2067. ( Wang L Z, Hua F J, Cao P P, et al. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium combined application on dry matter accumulation, yield and economic benefits of Adzuki Bean [ J ]. Journal of Nuclear Agriculture, 2019, 33 ( 10 ): 2058-2067. )

[10] 崔爱花, 周丽华, 杨滨娟, 等. 红壤旱地不同复种方式的生态功能评价[J]. 应用生态学报, 2017, 28 ( 2 ): 456-464. ( Cui A H, Zhou L H, Yang B J, et al. Ecological evaluation of different multiple cropping systems in red soil drylands [ J ]. Journal of Applied Ecology, 2017, 28 ( 2 ): 456-464. )

[11] 王淑彬, 张鹏, 杨文亨, 等. 红壤旱地玉米大豆间作模式适宜玉米品种筛选[J]. 江西农业大学学报, 2020, 42 ( 1 ): 10-19. ( Wang S B, Zhang P, Yang W T, et al. Selection of maize varieties suitable for maize soybean model in red soil [ J ]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2020, 42 ( 1 ): 10-19. )

[12] 张向前, 黄国勤, 卞新民, 等. 红壤旱地玉米对间作大豆和花生边行效应影响的研究[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20 ( 8 ): 1010-1017. ( Zhang X Q, Huang G Q, Bian X M, et al. Marginal effect of soybean and peanut intercropped with maize in upland red soils [ J ]. Chinese Journal of Ecological Agriculture, 2012, 20 ( 8 ): 1010-1017. )

[13] 王晓维, 杨文亨, 缪建群, 等. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响[J]. 生态学报, 2014, 34 ( 18 ): 5275-5282. ( Wang X W, Yang W T, Miao J Q, et al. Effects of maize-



soybean intercropping and nitrogen fertilizer on yield and agronomic traits of maize[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(18): 5275-5282. )

[14] 王强, 魏慧. 不同播期下油菜叶面积指数及干物质积累与产量的关系[J]. 作物研究, 2016, 30(1): 4-7. (Wang Q, Guo H. Relationship between yield and leaf area index and dry matter accumulation of rape seed under different sowing date[J]. Crop Research, 2016, 30(1): 4-7. )

[15] 王竹, 杨文钰. 不同种植密度对套作大豆茎叶形态及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1957-1960. (Wang Z, Yang W Y. Effect of planting density and leaf morphological characteristics and yield of relay-cropping soybean[J]. Anhui Agricultural Science, 2009, 37(5): 1957-1960. )

[16] 曹金锋, 赵双进, 卢思慧, 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]. 河北农业科学, 2009, 13(5): 1-3. (Cao J F, Zhao S J, Lu S H, et al. Studies on the relationship between yield and leaf area index and dry matter accumulation of soybean with different population[J]. Hebei Agricultural Science, 2009, 13(5): 1-3. )

[17] 罗万字, 唐庄峻, 任永福, 等. 带宽、行比对鲜食玉米间作鲜食大豆群体产量效益的影响[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(4): 442-451. (Luo W Y, Tang Z J, Ren Y F, et al. Effect of bandwidth and row ratio on population yield and benefit of fresh maize intercropping with fresh soybean[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2019, 37(4): 442-451. )

[18] 冯其虎, 张复宁, 杨加银. 江苏淮北地区夏大豆品种更替中干物质积累的变化及其与产量的相关性研究[J]. 大豆科学, 1995, 14(3): 197-202. (Feng Q H, Zhang F N, Yang J Y. The study on correlation between yield and change of dry matter accumulation in the varietal replacement of summer soybeans in the Northern Huaihe Region of Jiangsu[J]. Soybean Science, 1995, 14(3): 197-202. )

[19] 符小文, 徐文修, 李亚杰, 等. 施氮量对夏大豆干物质积累、转运规律及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(35): 79-86. (Fu X W, Xu W X, Li Y J, et al. Effect of different nitrogen levels on dry matter accumulation, transfer and yield of summer soybean[J]. China Agronomy Bulletin, 2019, 35(35): 79-86. )

[20] 朱星陶, 谭春燕, 陈佳琴, 等. 玉米-大豆间作行距对大豆生长及品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(6): 22-25, 52. (Zhu X T, Tan C Y, Chen J Q, et al. Effects of intercropping row spacing between maize and soybean on growth and quality of soybean[J]. Guizhou Agricultural Science, 2016, 44(6): 22-25, 52. )

[21] 汪宝卿, 张礼凤, 慈敦伟, 等. 黄淮海地区夏大豆农艺性状与产量的相关性及其灰色关联度分析[J]. 山东农业科学, 2010(3): 20-25. (Wang B Q, Zhang L F, Ci D W, et al. Correlation and grey relation analysis of agronomic traits with yield of summer soybean in Huanghe-Huaihe-Haihe Area[J]. Shandong Agricultural Science, 2010(3): 20-25. )

[22] 苗任重, 邵根成. 大豆产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 农业科技通讯, 2014(7): 142-145. (Miao R Z, Shao G C. Grey correlation analysis of soybean yield and main agronomic characters[J]. Agricultural Science and Technology Communication, 2014(7): 142-145. )

[23] 黄中文, 王伟, 徐新娟, 等. 大豆动态株高及其生长速率与产量的相关分析[J]. 河南科技学院学报, 2010, 38(2): 16-19. (Huang Z W, Wang W, Xu X J, et al. Analysis of correlation for plant height and its relative growth rate at different development stages with yield in soybean[J]. Journal of Henan University of Science and Technology, 2010, 38(2): 16-19. )

《大豆科学》正式加入 OSID 开放科学计划

《大豆科学》于 2019 年 8 月 1 日起正式加入 OSID(Open Science Identity)开放科学标识计划。将通过在文章上添加开放科学二维标识码(OSID 码),为读者和作者提供一个与业界同行和专家学术交流的平台,同时提供一系列增值服务,提升论文的科研诚信。

读者可以通过微信扫描论文的 OSID 码,在手机上听论文作者的语音介绍,可以看到论文的重点彩图和实验视频,也可直接与作者进行一对一的交流、关注作者的研究动向等。这些功能有助于读者深入了解该研究的实际状况与实现过程。

作者可以通过专属的 OSID 码对所著论文添加语音,介绍写作背景、动机、趣事以及研究灵感。添加无法在传统印刷出版展示的附加说明,以便更好地展现研究成果,拓展论文的传播方式。同时,通过 OSID 平台每位作者都能拥有所著论文的学术圈和问答,与读者进行交流互动。此外,作者还可以在学术圈发布感兴趣的话题、最新的研究观点、问题征集、学术推荐等,扩大作者自身的影响力,增强与读者的联系。