江西农业大学学报　2020,42(3)　　http://xuebao.jxau.edu.cn
Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis　　DOI:10.13836/j.jjau.2020050

封亮,王淑彬,杨文亭,等.带宽、行比配置对玉米农艺性状及干物质积累影响[J].江西农业大学学报,2020,42(3):429-437.

带宽、行比配置对玉米农艺性状及干物质积累影响

封　亮,王淑彬*,杨文亭,杨滨娟,周　泉,黄国勤*

(江西农业大学 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/生态科学研究中心,江西 南昌 330045)

摘要:【目的】为探究适宜于南方丘陵红壤旱地玉米间作大豆合理的带宽、行比田间配置种植模式。【方法】试验共设7个处理,分别为:(1)玉米间作大豆带宽2 m,行比2∶2;(2)带宽2.4 m,行比2∶3;(3)带宽2.4 m,行比2∶4;(4)带宽2.8 m,行比2∶3;(5)带宽2.8 m,行比2∶4;(6)玉米净作(等行距栽培,行距70 cm);(7)大豆净作(等行距栽培,行距50 cm),每个处理种2带,重复3次。【结果】试验结果表明:随着生育期的推进,不同带宽、不同行比处理的玉米株高均呈先增长后下降趋势,玉米播种第75天时带宽2.4 m、行比2∶4的株高最高,为198.33 cm;玉米叶面积指数随生育期的推进呈先增加后降低的趋势,在生长后期带宽2.8 m、行比2∶3的玉米叶面积指数相比于其它处理均表现为最大;玉米干物质积累量随玉米生育期的推进呈不断增长趋势且变化大致相同,播种后90 d时,带宽2.4 m、行比2∶4的玉米干物质积累量最大,为11 568.61 kg/hm^2,带宽2.4 m、行比2∶4的玉米产量最高,为6 977.78 kg/hm^2。【结论】带宽2.4 m,行比2∶4田间配置协调了个体与群体的矛盾,使得植株的株高最高、秃尖长最小、干物质积累量最大、产量最高,为玉米间作大豆较好的田间配置种植模式,可为江西红壤旱地玉米间作大豆种植田间配置提供参考。

关键词:不同带宽;不同行比;玉米农艺性状;干物质积累;玉米产量

中图分类号:S513　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1000-2286(2020)03-0429-09

Effects of Bandwidth and Row Ratio on the Agronomic Characters and Dry Matter Accumulation of Corn

FENG Liang, WANG Shu-bin*, YANG Wen-ting, YANG Bin-juan, ZHOU Quan, HUANG Guo-qin*

(Jiangxi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Research Center of Ecological Sciences, Nanchang 330045, China)

Abstract: [**Objective**] To explore the reasonable planting pattern of soybean-corn intercropping in upland red soil in the Southern hills. [**Method**] 7 treatments were set in this experiment, which were (1) corn intercropping soybean, bandwidth of 2 meters, row ratio of 2∶2; (2) bandwidth of 2.4 meters, row ratio of 2∶3; (3) bandwidth of 2.4 meters, row ratio of 2∶4; (4) bandwidth of 2.8 meters, row ratio of 2∶3; (5) bandwidth of 2.8 meters,

收稿日期:2019-11-17　　**修回日期:**2020-01-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300209)和国家自然科学基金项目(31360108)
Project supported by the National Key Research and Development Project of China (2016YFD0300209) and National Natural Science Foundation of China (31360108)

作者简介:封亮,orcid.org/0000-0003-2513-2977,996597837@qq.com;*共同第一作者;*通信作者:黄国勤,教授,博士,主要从事耕作学与农业生态学研究,orcid.org/0000-0003-1551-8083,hgqjxes@sina.com。

row ratio of 2∶4;(6)corn cropping only(equal row spacing cultivation,row spacing of 70 cm);(7)soybean cropping only(equal row spacing cultivation,row spacing of 50 cm),each treatment had 2 bands,repeated 3 times. [**Result**]The results showed that the plant height of corn with different bandwidths and row ratios increased first and then decreased during the process of growth period.The plant height with bandwidth of 2.4 m and row ratio of 2∶4 was the largest on the 75th day of sowing,which was 198.33 cm.The leaf area index of corn increased first and then decreased during the process of growth period,and the leaf area index with bandwidth of 2.8 m and row ratio of 2∶3 was the largest at the later growth period compared with that of other treatments,the accumulation of dry matter in corn was the largest;the accumulation of dry matter in corn increased with the development of its growth period,and the change was almost the same.During the 90 days after sowing,the accumulation of dry matter in corn with the bandwidth of 2.4 m and row ratio of 2∶4 was the largest,11 568.61 kg/hm^2,and the yield of corn with the bandwidth of 2.4 m and row ratio of 2∶4 was the highest,6 977.78 kg/hm^2.[**Conclusion**]The 2.4 m bandwidth and 2∶4 row ratio field configuration coordinated the contradiction between individuals and groups,making the plant with the highest plant height,the smallest bald tip length,the largest dry matter accumulation and the highest yield,which provided a better field configuration and planting mode for corn intercropping soybean,and provided a reference for the field configuration of corn-soybean intercropping in upland red soilof Jiangxi Province.

Keywords:Different bandwidth;different row ratio;agronomic characters of corn;dry matter accumulation;corn yield

【研究意义】间套作是农业生产中一种重要的种植制度,是在时间和空间上实现种植集约化的一种栽培方式,在作物病虫害生物防治[1]、杂草抑制[2]、作物品质改善[3]以及减少对栽培环境负面影响等方面都表现出单作系统无法比拟的优势[4]。玉米-大豆带状复合种植模式是禾本科/豆科间套作种植的主要模式之一,具有明显增产节肥优势,可实现土地用养结合和养分互补[5],且具有充分利用空间资源、光能资源、土壤养分、水分资源及培肥地力的作用[6]。此外豆科与禾本科间套作体系有共生固氮、氮转移和更优的边际效益,且具有省工、节本、高产高效和利于产业化等优点[7],因此在生物学特性、时空搭配、资源利用上是典型的黄金搭档[8]。【前人研究进展】由于玉米株型较高,大豆株型较矮,如何调整田间作物布局方式,使其最大限度地利用光、温、水、肥资源,实现强势作物玉米在发挥最大边际效应的同时减少对弱势作物大豆的影响,提高复合作物群体的产值和效益,是玉米-大豆间作模式中迫切解决的问题[9-11]。罗万宇等[12]研究表明间作鲜食玉米产量随带宽行比的增加呈逐渐降低的趋势,其穗粒数和百粒质量变化趋势与产量一致;代旭峰等[13]研究表明当玉米每667 m^{2}种植密度超过3 500株时,随着行距配置的增大,群体与个体之间的矛盾加剧,光合产物主要用于促进营养生长,抑制生殖生长;娄莹[14]认为玉米行距扩大,玉豆间距小于0.6 m时,套作遮荫加重,大豆植株生长受到抑制,作物群体生物量及产量生产效率降低,汤复跃等[15]结果表明“玉米‖大豆”不同行比及玉米株型配置处理下玉米竞争力强于大豆,群体玉米和大豆产量都显著低于单作,群体总产量显著高于单作,因此宽窄行种植更有利于大豆的生长发育。所以合理的行距配置可以建造良好的群体结构,协调作物群体与个体的发展[16],可以改善作物群体内部的通风透光条件充分利用不同层次的光资源,提高作物的光能利用率[17-21],有利于作物干物质的积累、养分的吸收利用以及经济效益的提高[22-24]。【本研究切入点】当前我国在玉米间作大豆栽培方面已有一些研究,主要集中在作物产量[25-26]、生理[27-30]、品质[31-32],且主要集中在西南地区。但是玉米间作大豆不同带宽、不同行比配置种植模式在南方丘陵红壤旱地干物质积累、农艺性状、产量等方面的研究较少。【拟解决的关键问题】本试验保证种植密度不变,通过调整植株的带宽、行比,探究出适宜的株行距配置模式,以此来增加玉米、大豆产量,提高农民收益。以期为江西省丘陵红壤旱地提供适宜的玉米间作大豆种植模式和理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

玉米品种为吉祥1号,大豆品种为旱豆1号。本试验设在江西省红壤所内(116°20′E,28°15′N),该点属于中亚热带季风气候,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 ℃,最冷月(1月)平均气温为4.6 ℃,最热月(7月)平均气温为28.0~29.8 ℃。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pH 5.72,有机质19.70 mg/kg,碱解氮102.76 mg/kg,有效磷12.80 mg/kg,速效钾174.08 mg/kg,全氮1.23 g/kg,全磷0.47 g/kg,全钾23.46 g/kg。

1.2　试验设计

本试验采用单因素随机区组设计,7个处理,每个处理种2带,带长5 m,重复3次,窄行玉米、大豆均40 cm,玉米每666.7 m^2密度4 000株,大豆每666.7 m^2 10 000株,单株定植。春玉米和春大豆播种时间为4月8日,春大豆于7月11日收获,春玉米于7月30日收获。玉米全生育期共施纯氮270 kg/hm^2,按底肥:拔节肥:穗肥3:2:5比例施用,玉米底肥每公顷配施过磷酸钙600 kg(含P_2O_5 12%),氯化钾150 kg(含K_2O 60%),大豆基肥配施尿素75 kg/hm^2、过磷酸钙600 kg/hm^2、氯化钾60 kg/hm^2、追肥为初花后施尿素75 kg/hm^2,其它管理同大田。

表1　不同带宽、行比田间配置试验设计

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

处理 Treatment	带宽/m Bandwidth	玉米-大豆行比 Corn soybean row ratio
M	2.0	2:2
N	2.4	2:3
P	2.4	2:4
Q	2.8	2:3
R	2.8	2:4
S	玉米等行距栽培,行距70 cm	
T	大豆等行距栽培,行距50 cm	

1.3　测定项目与方法

1.3.1　*农艺性状的测定*　从玉米播种30 d开始,每个小区选取3株长势一致的玉米,每隔15 d测定株高、叶面积,整个生育期共测5次,同时取3株长势一致的玉米带回实验室进行干物质的测定。

1.3.2　*叶面积指数*　叶面积指数(leafareaindex,*LAI*)=单株叶面积×单位土地面积内的株数/单位土地面积　(1)

玉米单叶叶面积=长×宽×0.75　(2)

单株叶面积为每株单叶叶面积之和。

1.3.3　*玉米干物质积累*　将取回来的3株玉米样品分茎、叶、穗分别装于纸袋中。在105 ℃下杀青30 min,再于80 ℃烘干至恒质量,称量。

玉米干物质相对生长速率:

$$RGR=(\ln Q_2-\ln Q_1)/(t_2-t_1) \quad (3)$$

式(3)中t_1、t_2分别为相邻两次测定玉米干物质的时间,Q_1、Q_2分别为t_1、t_2时测定的玉米干物质;ln为自然对数。

1.3.4　*产量的测定*　玉米收获前统计各个小区的株数、有效穗数,成熟时取10穗进行考种,测定千粒质量、每穗粒质量、穗粗、穗长、秃尖长、行粒数、穗行数、株高、茎粗、穗位高。各小区收获时未取样的一带实打实收测产。

1.4　数据处理

数据处理采用Excel 2019软件统计处理数据,利用SPSS Statistics20对数据进行单因素方差分析,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Origin2018进行图形制作。

2 结果与分析

2.1 不同带宽、不同行比种植模式对玉米株高变化的影响

由表2可知，随着生育期的推进，不同带宽、不同行比处理的玉米株高呈先增后降趋势。玉米播种第75天时达到最大值，处理P=处理Q>处理N>处理M>处理S>处理R，株高范围为183.67~198.33 cm，且处理N、处理P、处理Q与其他各处理都呈显著差异，由处理M、处理N、处理R得出带宽越大，行比越大、株高呈先增后减态势，有利于植株抗倒伏；玉米播种第75天时，除过处理R，其它各处理的株高均大于净作，表明净作玉米在生长过程中由于玉米叶片的遮荫作用，对玉米生长过程产生了抑制作用，也由此说明间作玉米能充分利用光、热资源使得玉米株高优于单作；从播种后第60天至第90天时，处理P的株高最大，可说明带宽2.4 m，行比2:4的田间配置种植模式在玉米生殖生长阶优于其它田间配置；在玉米播种第75天时，处理P、处理Q株高为198.33 cm，分别比处理M、处理N、处理R高出6.25%、3.12%、7.98%；在播种后第90天时，处理P、处理Q与其它处理相比较呈极显著差异，本试验还可得出带宽为2.4 m时、随行比增加、株高增大；带宽为2.8 m时，随行比增加、株高减小，越有利于抗倒伏。

表2 不同时期玉米株高性状分析

Tab.2 Analysis of plant height characters of Maize in different period

处理 Treatment	第30天 30th days	第45天 45th days	第60天 60th days	第75天 75th days	第90天 90th days
M	41.33±0.69^{b}	63.33±2.19^{ab}	179.33±4.63^{bc}	186.67±2.19^{b}	185.67±2.19^{b}
N	45.11±0.59^{a}	68.33±2.33^{a}	185.33±2.91^{abc}	192.33±5.61^{ab}	185.67±1.76^{b}
P	40.22±0.59^{b}	64.33±1.45^{ab}	191.00±3.21^{ab}c	198.33±1.2^{ab}	197.33±1.20^{a}
Q	40.33±0.51^{b}	66.00±3.21^{ab}	189.67±2.73^{ab}	198.33±4.63^{a}b	193.00±2.30^{a}
R	39.67±0.33^{b}	63.33±1.45^{ab}	179.67±2.19^{bc}	183.67±2.19b	182.00±1.53^{b}
S	41.22±0.87^{b}	59.00±3.06^{b}	177.67±3.76^{c}	185.00±1.73^{b}	184.00±1.73^{b}

表中同列数据后小写字母表示在0.05水平差异性显著，下同

The lower case letters after the same column of data in the table indicate significant difference at the level of 0.05, the same below

2.2 不同带宽、不同行比种植模式下对玉米叶面积指数的影响

叶面积指数（*LAI*）的大小是衡量群体光合生产能力的一个重要指标。从图1可以看出，各处理对玉米叶面积指数的影响均表现为随生育期的推进呈先增加后降低的趋势。在播种后第30天时各处理间的叶面积指数基本相同，差异性较小，在玉米播种后第45天到第60天时叶面积指数迅速增加，植株正处于营养生长旺盛阶段；在播种后第75天时各处理的*LAI*值达到最大，在播种后第75天至第90天叶面积指数呈下降趋势；在第60天至第90天期间，带宽2.8 m *LAI*值高于带宽2.4 m的*LAI*值，在第75天到第90天时带宽2.8 m下降的*LAI*值也比其它处理缓慢，说明带宽2.8 m的田间配置模式使*LAI*值能增加得更快，后期叶面积的降值也相对较小，维持较长时期的光合作用，延缓了叶片的衰老，有利于制造更多的光合产物；第75天时处理Q的*LAI*值最大，为2.14，顺序表现由大到小依次为处理Q、处理R、处理N、处理P、处理M和处理S，分别比处理M、处理N、处理P、处理R和处理S提高了19.55%、16.94%、18.23%、3.38%和25.15%；在第45天、第75天、第90天，不同带宽、不同行比处理的间作玉米*LAI*值都高于净作玉米，说明净作玉米中可能是玉米叶的遮荫作用影响了叶面积指数，从侧面也说明间作有利于*LAI*值的增加。

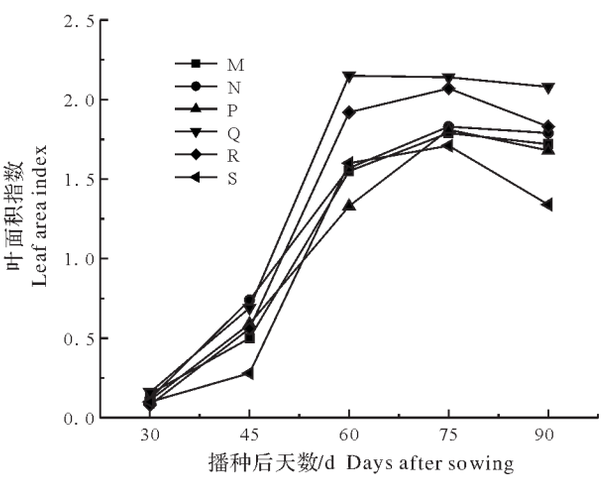

图1 不同间作模式对玉米叶面积指数的影响

Fig.1 Effect of different intercropping modes on leaf area index of Maize

2.3　不同带宽、不同行比种植模式下对不同时期玉米干物质积累的影响

从图2可以看出,玉米干物质积累量随着玉米生育期的推进呈不断增长趋势且变化大致相同,在播种后90 d时达到最大值。在播种后30 d时,因为玉米在初期生长阶段,干物质积累少,也由于植株矮小,群体内个体间的竞争较小所致。在播种后60 d时,处理M的干物质积累量最大,处理R的田间配置的干物质积累量最小,说明行比相同,增加带宽不利于玉米干物质的积累。

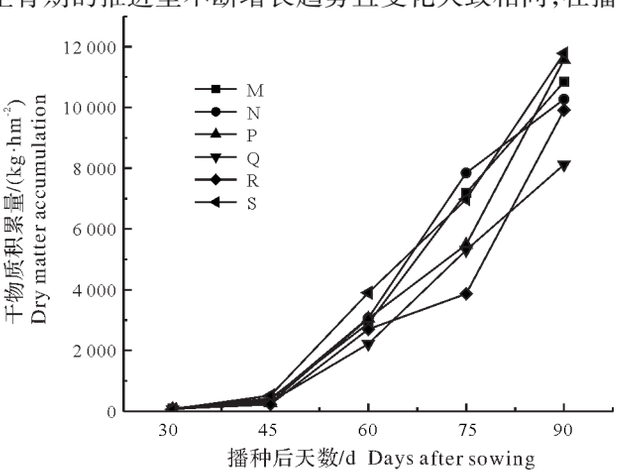

图2　不同植株模式对干物质积累量的影响

Fig.2　Effect of different plant models on dry matter accumulation

从播种后60~75 d时,玉米处于生殖生长阶段,植株的光合作用加强,“源”中的营养物质不断地运输到“库”,因此这一时期的干物质积累速率增大。在播种后75 d时,玉米干物质积累量由大到小依次为处理N、处理M、处理P、处理Q和处理R,处理N的干物质积累量最大,为7 843.57 kg/hm^2,与其它处理呈极显著差异,分别比处理M、处理P、处理Q、处理R高出了9.13%、43%、47.86%、102.91%。

播种后90 d时,各处理干物质积累量达到最大,其中处理P的玉米干物质积累量最大,为11 568.39 kg/hm^2,比处理N的干物质积累量高出1 299.16 kg/hm^2,带宽2.4 m比带宽2 m、带宽2.8 m平均干物质积累量分别高出0.69%、21.14%,随着带宽的增加,玉米干物质积累量先增加后降低,说明2.4 m带宽的干物质积累量优于带宽2 m、带宽2.8 m,因此带宽2.4 m在光温水资源调配、行间通风方面比带宽2 m、带宽2.8 m更具有优势。

2.4　不同带宽、不同行比种植模式下对不同时期玉米干物质相对生长速率的影响

由图3可看出,在玉米整个生育期内干物质相对生长速率呈先快后慢趋势,在玉米播种后30~45 d期间,干物质相对生长速率表现由大到小依次为:M、N、Q、P和R,处理M、N和处理P、Q两处理间无显著性差异,因为植株处于营养生长阶段,所以此阶段干物质相对生长速率最低,在45~60 d生长阶段,处理P的干物质相对生长速率最大,为0.53,比处理Q高出6%,处理M、N、R处理间无显著性差异,说明玉米播种后45~60 d生长阶段,处理M、N、R种植模式在干物质相对生长速率一致,在播种60~75 d期间,处理R干物质相对生长速率最小,为0.47,相比较播种后45~60 d减小10.6%,原因可能是试验误差所致,处理M、N两处理间无显著性差异,在播种后75~90 d期间,处理P、R的相对增长速率相同,均为0.58,与处理M有显著性差异,与处理N、Q有极显著性差异,处理P在播种后75~90 d期间比60~75 d相对生长速率增加11.54%,较其它处理仍保持较高的增长速率,说明处理P在生长末期有利于干物质的积累。

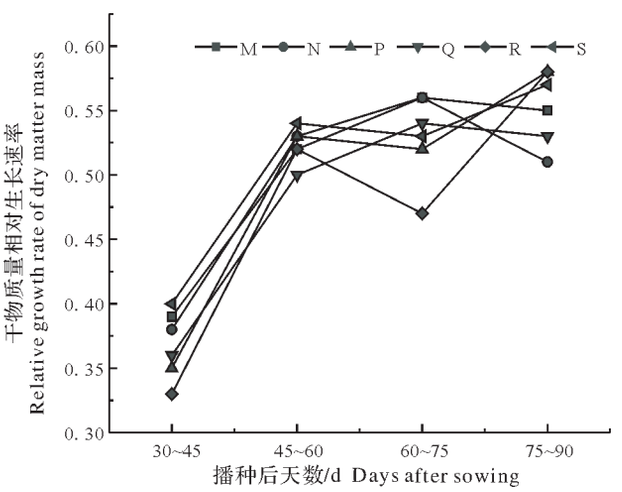

图3　不同时期玉米干物质相对生长速率

Fig.3　Relative growth rate of corn dry matter in different periods

2.5　不同带宽、不同行比种植模式下产量构成要素对玉米产量影响

由表3处理M、处理N、处理P可得出带宽2 m,带宽2.4 m对玉米产量无显著性差异,处理M、处理N、处理P与处理Q、处理R、处理S在产量中呈极显著差异,说明随带宽的增加,不利于间作玉米增产。不同处理间穗粗、穗行数、行粒数和千粒质量之间没有显著差异,不同带宽、行比田间配置对穗长、秃尖长的影响较大,处理M、处理N、处理S 3个处理间穗长无显著差异,净作玉米的秃尖长最大,处理P的秃尖长最小,说明间作玉米可以减少秃尖长度,从而提高产量。带宽相同,随行比增加,玉米产量增加,处理P

玉米的产量最高，为 6 977.78 kg/hm^2，比处理 N 的玉米产量高出 427.78 kg/hm^2，可能是处理 P 的秃尖长最小等原因所致。从表 3 中还可得出带宽相同，随行比增加，穗粗减小，穗长减小、行粒数减小、千粒质量减小、产量增加。

表 3 行距配置方式对玉米产量及产量构成因素的影响

Tab.3 Effect of row spacing on corn Yield and yield components

处理 Treatment	穗粗/cm Spike diameter	穗长/cm Panicle length	秃尖长/cm Bald tip length	穗行数 Kernel row number	行粒数 Row grain number	千粒质量/g 1 000-grain weight	产量/(kg·hm^{-2}) Yield
M	47.95a	18.52ab	0.30b	13.80a	36.50a	294.56a	6 666.67b
N	48.24a	18.63ab	0.47ab	13.07a	36.80a	298.59a	6 550.00b
P	46.90a	17.43abc	0.27b	12.80a	35.07a	294.49a	6 977.78b
Q	48.22a	16.90bc	0.83ab	13.07a	32.93a	291.36a	5 595.24c
R	46.70a	16.50c	1.03ab	13.20a	32.67a	292.65a	5 780.95c
S	47.51a	18.23ab	1.13a	13.20a	34.80a	296.51a	7 992.38a

3 结论与讨论

不同的带宽、行比配置对玉米株高、叶面积指数、干物质积累、产量构成等因素影响各不相同，通过合理的田间配置，协调各要素间的均衡关系，获得群体高产。试验结果表明，玉米每 666.7 m^{2}种植密度为 4 000 株，带宽 2.4 m 行比 2∶4 的田间配置种植模式下，改善了田间通风状况，个体与群体更加协调，株高最高，干物质积累量最大、玉米产量最高。

试验中不同带宽、行比田间配置对玉米的农艺性状表现不同。代旭峰等[13]的研究结果表明随着行距配置的增大，株高、穗位高、光合速率、穗位叶叶面积呈先上升后下降的趋势，茎粗呈下降趋势。试验表明在密度一定时，随着带宽增加，株高和茎粗呈先上升后下降趋势，这与代旭峰等[13]的研究结果一致。不同处理间穗粗、穗行数、行粒数、千粒质量之间没有显著差异，说明不同带宽、行比配置对其影响不大，带宽为 2.4 m 时株高最高、穗长最长、秃尖长最小、千粒质量最大，说明带宽 2.4 m 相较于其它处理更益于植株生长。株高越高、秃尖长越小、干物质积累量越大，产量越高，原因可能是在玉米生长后期玉米植株各个器官中，苞叶、茎秆、鞘、植株叶片中积累的干物质向穗、籽粒中大量转移；间作模式下玉米品种的株高高于净作玉米，这和孟凡凡等[33]的实验结果不一致，原因可能为试验设计不同、施肥情况不同、生长环境等因素不同所致，在后期的试验中还需进一步验证。

在整个生育期内叶面积指数表现出“慢—快—慢”增长趋势，变化情况和张海军[34]、蒲甜[35]、佟屏亚[36]等人的研究结果一致，带宽 2.8 m，行比 2∶3 在播种后 60 d 至 90 d 中，叶面积指数一直处于最高态势，说明带宽 2.8 m，行比 2∶3 的种植模式在植株生长后期有利于延缓叶片的衰老。在玉米播种后 75 d 到 90 d 期间内，不同处理间作玉米叶面积指数均高于净作玉米，原因可能是在净作玉米生长后期由于玉米叶的遮蔽作用，下层叶片不能进行正常的光呼吸，致使玉米植株先于间作玉米衰老。

试验结果表明玉米产量与干物质积累呈正相关，干物质积累越多，产量越高。该试验结果与齐尚红[37]、战秀梅等[38]的结果吻合，在试验中带宽 2.4 m、行比 2∶4 的干物质积累最大，产量最高，且随着带宽的增大干物质积累量呈先增后减的趋势，这与蒲甜等[35]的结果一致，原因可能是带宽 2.4 m、行比 2∶4 在成熟期玉米植株还保持着较高的干物质积累速率，光合同化器官保持较高的活力，保证了生长后期有较高的光合生产能力，延缓了植株的衰老，使得叶片、茎秆中的营养物质积累有益于向籽粒中转移。在试验中带宽增大，叶面积指数增大，干物质积累减小，原因可能是玉米成熟期带宽 2.8 m 的田间配置模式使植株器官内营养物质向籽粒中的运输速率不及带宽 2.4 m，致使带宽 2.8 m 的玉米产量减小，所以合理带宽田间配置能促进干物质积累，为产量的提高奠定基础。

试验中间作玉米处理带宽 2.4 m、行比 2∶4 的玉米产量最高。白杰等[39]研究表明通过合理的栽培措施，提高玉米的干物质积累量，促进光合产物向籽粒分配，最终提高玉米的经济产量。试验中不同的田间配置种植模式收获期玉米产量也不相同，因此玉米产量与带宽、行比配置有密切相关性。本试验中间

作玉米模式下带宽2.4 m、行比2∶4的玉米产量最高,相比于带宽2.4 m、行比2∶3在成熟期有充足的干物质积累量,使得有充足的养分由源运输到库,从而保证了穗部尖端籽粒的灌浆效果,减少了秃尖长度,最终提高了籽粒产量。试验表明带距相同、产量增加,原因可能是随行比的增加,大豆植株给玉米提供充足的氮素、秃尖长减小等原因所致;行比相同、带宽增加,产量降低,原因可能是植株个体竞争光、温、水等资源、土地利用率低导致秃尖长增加、穗粒质量减小、干物质积累量减小等原因才使得产量降低。

参考文献:

[1] 刘朝茂,李成云.玉米与大豆、马铃薯间作对玉米叶片衰老、产量及病害控制的影响[J].江苏农业科学,2017,45(6):75-78.
Liu C M,Li C Y.Effect of intercropping of corn,soybean and potato on leaf senescence,yield and disease control of corn[J].Jiangsu Agricultural Science,2017,45(6):75-78.

[2] 苏艳红,黄国勤,刘秀英,等.红壤旱地玉米大豆间作系统的增产增收效应及其机理研究[J].江西农业大学学报,2005(2):210-213.
Su Y H,Huang G Q,Liu X Y,et al.Study on the effect and mechanism of increasing yield and income of corn soybean intercropping system in upland red soil[J].Journal of Jiangxi Agricultural University,2005(2):210-213.

[3] 方萍,刘卫国,刘孝德,等.玉-豆间作对菜用大豆品质的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2016,42(5):556-564.
Fang P,Liu W G,Liu X D,et al.The effect of corn- soybean intercropping on the quality of vegetable soybean[J].Journal of Zhejiang University(Agricultural and Life Sciences Edition),2016,42(5):556-564.

[4] 雍太文,杨文钰,王小春,等.两种三熟套作体系中的氮素吸收利用及种间相互作用[J].四川农业大学学报,2009,27(2):167-172.
Yong T W,Yang W Y,Wang X C,et al.Nitrogen uptake and utilization and interspecific interaction in two kinds of triple cropping systems[J].Journal of Sichuan Agricultural University,2009,27(2):167-172.

[5] 刘闯,胡庭兴,李强,等.巨桉林草间作模式中牧草光合生理生态适应性研究[J].草业学报,2008(1):58-65.
Liu C,Hu T X,Li Q,et al.Study on photosynthetic physiological and ecological adaptability of herbage in eucalyptus grandis forest intercropping model[J].Acta Prataculturae Sinica,2008(1):58-65.

[6] 李治强.紫花苜蓿与垂穗披碱草混播防治褐斑病试验[J].草业科学,2009,26(10):177-180.
Li Z Q.Experiment on the control of melasma by the mixture of alfalfa and *Elymus verticillatum*[J].Grassland Science,2009,26(10):177-180.

[7] 陈国鹏,王小春,蒲甜,等.玉米-大豆带状套作中田间小气候与群体产量的关系[J].浙江农业学报,2016,28(11):1812-1821.
Chen G P,Wang X C,Pu T,et al.Relationship between field microclimate and population yield in corn soybean strip intercropping[J].Journal of Zhejiang Agriculture,2016,28(11):1812-1821.

[8] 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.Development of banded composite planting of corn soybean to ensure national food security[J].China Agricultural Science,2019,52(21):3748-3750.

[9] 程玉柱,李龙,周琴,等.玉米/大豆不同配置下的玉米生长和产量形成研究[J].南京农业大学学报,2016,39(1):34-39.
Cheng Y Z,Li L,Zhou Q,et al.Study on corn growth and yield formation under different corn / soybean configurations[J].Journal of Nanjing Agricultural University,2016,39(1):34-39.

[10] 刘伟明,叶安民.春玉米+春大豆间作复合群体结构的优化[J].浙江农业学报,2004(3):19-23.
Liu W M,Ye A M.Optimization of the compound population structure of spring maize and spring soybean intercropping[J].Journal of Zhejiang Agriculture,2004(3):19-23.

[11] 张亦涛.华北典型城郊夏玉米大豆间作模式经济与环境效应研究[D].北京:中国农业科学院,2012.
Zhang Y T.Study on economic and environmental effects of summer maize soybean intercropping model in typical suburbs of North China[D].Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2012.

[12] 罗万宇,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.The effect of bandwidth and row ratio on the yield and benefit of fresh soybeans intercropped with fresh corn[J].Journal of Sichuan Agricultural University,2019,37(4):442-451.
[13] 代旭峰,王国强,刘志斋,等.不同密度下不同行距对玉米光合及产量的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(3):15-21.
Dai X F, Wang G Q, Liu Z Z, et al.Effect of different row spacing on maize photosynthesis and yield under different densities [J].Journal of Southwest University(Natural Science Edition),2013,35(3):15-21.
[14] 娄莹.带状套作行距配置对大豆、玉米根系特性的影响[D].雅安:四川农业大学,2014.
Lou Y.Effect of row spacing on root characteristics of soybean and maize in strip intercropping[D].Ya'an:Sichuan Agricultural University,2014.
[15] 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.Effect of different row ratio and corn plant type on Yield and benefit of maize soybean intercropping[J].Soybean Science,2019,38(5):726-732.
[16] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,等.种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J].作物学报,2010,36(7):1226-1233.
Yang J S, Gao H Y, Liu P, et al.Effects of planting density and row spacing on photosynthetic characteristics of ultra-high yield summer maize population[J].Acta Agronomica Sinica,2010,36(7):1226-1233.
[17] 李洪,王斌,李爱军,等.玉米株行距配置的密植增产效果研究[J].中国农学通报,2011,27(9):309-313.
Li H, Wang B, Li A J, et al.Study on the effect of close planting in row spacing of corn[J].China Agronomy Bulletin,2011,27(9):309-313.
[18] 沈秀瑛,戴俊英,胡安畅,等.玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究[J].作物学报,1993,19(3):246-252.
Shen X Y, Dai J Y, Hu A C, et al.Study on the relationship between canopy characteristics, light interception and yield of maize population[J].Acta Crop,1993,19(3):246-252.
[19] 高阳,段爱旺,刘祖贵,等.玉米和大豆条带间作模式下的光环境特性[J].应用生态学报,2008,19(6):1248-1254.
Gao Y, Duan A Y, Liu Z G, et al.Characteristics of light environment under the intercropping mode of corn and Soybean[J].Journal of Applied Ecology,2008,19(6):1248-1254.
[20] 武志海,张治安,陈展宇,等.大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J].玉米科学,2005(4):62-65.
Wu Z H, Zhang J A, Chen Z Y, et al.Analysis of canopy structure and photosynthetic characteristics of double row planting maize in big ridge[J].Maize Science,2005(4):62-65.
[21] 田咏梅,许可,周浩亮,等.不同种植方式玉米冠层光利用情况的比较研究[J].山东农业科学,2013,45(5):68-70.
Tian Y M, Xu X, Zhou H L, et al.Comparative study on the light utilization of corn canopy in different planting ways[J].Shandong Agricultural Science,2013,45(5):68-70.
[22] 宁硕瀛.种植密度和行距配置对夏玉米群体光合特性及产量的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
Ning S Y.Effects of planting density and row spacing on photosynthetic characteristics and yield of summer maize population [D].Yangling:Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology,2012.
[23] 魏珊珊,王祥宇,董树亭.株行距配置对高产夏玉米冠层结构及籽粒灌浆特性的影响[J].应用生态学报,2014,25(2):441-450.
Wei S S, Wang X Y, Dong S T.Effects of row spacing on canopy structure and grain filling characteristics of high yield summer maize[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2014,25(2):441-450.
[24] Zhang Y, Liu J, Zhang J, et al.Row ratios of intercropping maize and soybean can affect agronomic efficiency of the system and subsequent wheat[J].Plos One,2015,10(6):1-16.
[25] 李立坤,左传宝,于福兰,等.肥料减施下玉米-大豆间作对作物产量和昆虫群落组成及多样性的影响[J].植物保护学报,2019,46(5):980-988.
Li L K, Zuo C B, Yu F L, et al.Effects of maize soybean intercropping on crop yield, insect community composition and diversity under reduced fertilizer application[J].Journal of Plant Protection,2019,46(5):980-988.
[26] 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.
Cao P P, Tian Y X, Gao F J, et al.Effects of different belt spacing and row spacing of corn soybean intercropping on the

growth and yield of two crops[J].Shandong Agricultural Science,2018,50(7):78-81.

[27] 刘朝茂,李成云.玉米与大豆间作对玉米叶片衰老的影响[J].江苏农业学报,2017,33(2):322-326.
Liu Z M,Li C Y.The effect of intercropping corn and soybean on the senescence of corn leaves[J].Journal of Jiangsu Agriculture,2017,33(2):322-326.

[28] 孙成凡,张志亮,郑彩霞,等.间作模式下玉米干旱胁迫响应研究[J].灌溉排水学报,2019,38(S1):32-35.
Sun C F,Zhang Z L,Zheng C X,et al.Response of maize to drought stress under intercropping mode[J].Journal of Irrigation and Drainage,2019,38(S1):32-35.

[29] 白录顺,范茂攀,王自林,等.间作模式下玉米/大豆的根系特征及其与团聚体稳定性的关系[J].水土保持研究,2019,26(1):124-129.
Bai L S,Fan M P,Wang Z L,et al.Root characteristics of maize / soybean under intercropping mode and its relationship with aggregate stability[J].Soil and Water Conservation Research,2019,26(1):124-129.

[30] 张雷昌,汤利,董艳,等.根系互作对间作玉米大豆氮和磷吸收利用的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(4):611-618.
Zhang L C,Tang L,Dong Y,et al.Effect of root interaction on nitrogen and phosphorus uptake and utilization of intercropping maize and Soybean[J].Journal of Nanjing Agricultural University,2016,39(4):611-618.

[31] 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.
Zhu X T,Tan C Y,Chen J Q,et al.Effect of corn soybean intercropping on soybean growth and quality[J].Guizhou Agricultural Science,2016,44(6):22-25.

[32] Yang F,Lou Y,Liu Q L,et al.Effect of maize row spacing on biomass,root bleeding sap and nutrient of soybean in relay strip intercropping systems[J].Scientia Agricultura Sinica,2016.

[33] 孟凡凡,王博,刘宝泉,等.玉米-大豆带状间作下玉米品种产量和主要农艺性状比较分析[J].作物杂志,2014(3):101-105.
Meng F F,Wang B,Liu B Q,et al.Comparative analysis of yield and main agronomic characters of maize varieties under corn soybean intercropping[J].Crop Journal,2014(3):101-105.

[34] 张海军.不同行株距配置对夏玉米生长发育及产量影响的研究[J].农业科技通讯,2018(3):76-79.
Zhang H J.Study on the effect of different row spacing on the growth and yield of summer maize[J].Agricultural Science and Technology Communication,2018(3):76-79.

[35] 蒲甜,张群,陈国鹏,等.行距对玉米-大豆套作体系中玉米产量及干物质积累与分配的影响[J].浙江农业学报,2016,28(8):1277-1286.
Pu T,Zhang Q,Chen G P,et al.Effect of row spacing on corn yield and dry matter accumulation and distribution in corn soybean intercropping system[J].Journal of Zhejiang Agriculture,2016,28(8):1277-1286.

[36] 佟屏亚.20世纪中国玉米品种改良的历程和成就[J].中国科技史料,2001(2):18-32.
Tong P Y.The course and achievement of corn variety improvement in China in the 20th century[J].Historical Materials of Chinese Science and Technology,2001(2):18-32.

[37] 齐尚红,何桂花,孙志勇,等.几种耕作方式对夏玉米干物质积累的影响[J].河南科技学院学报(自然科学版),2010,38(1):18-21.
Qi S H,He G H,Sun Z Y,et al.Effects of several cultivation methods on dry matter accumulation of summer maize[J].Journal of Henan University of science and Technology(Natural Science Edition),2010,38(1):18-21.

[38] 战秀梅,韩晓日,杨劲峰,等.不同氮、磷、钾肥用量对玉米源、库干物质积累动态变化的影响[J].土壤通报,2007(3):495-499.
Zhan X M,Han X R,Yang J F,et al.Effects of different N,P,K application on dynamic changes of dry matter accumulation in maize source and sink[J].Soil Bulletin,2007(3):495-499.

[39] 白杰,廖树华.高产春玉米干物质积累与分配特点的研究[J].现代农业科学,2008(5):6.
Bai J,Liao S H.Study on dry matter accumulation and distribution characteristics of high yield spring maize[J].Modern Agricultural Science,2008(5):6.