

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2013.00885

行数与行距配置对带状条播小麦群体及个体质量的影响

郑 亭 樊高琼* 陈 溢 李金刚 荣晓椒 李国瑞 杨文钰

农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室 / 四川农业大学农学院, 四川成都 611130

摘 要: 为探索四川丘陵区机播带状小麦最优行数与行距配置方式及其播种机开沟器间距设计, 2010—2012 连续两年度, 以紧凑型品种川农 27 和半紧凑型品种绵麦 367 为材料, 在带宽 2 m 和 $150 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ 固定密度下, 以传统“双三零”模式(带宽 2 m, 20 cm 等行距 5 行)为对照, 设置每带 3 行和行距 30 cm + 30 cm (F3-1)、每带 3 行和行距 35 cm + 35 cm (F3-2)、每带 3 行和行距 40 cm + 40 cm (F3-3)、每带 4 行和行距 20 cm + 20 cm + 20 cm (F4-1)、每带 4 行和行距 20 cm + 30 cm + 20 cm (F4-2)以及每带 4 行和行距 20 cm + 40 cm + 20 cm (F4-3)等 6 种配置方式, 研究其对田间通风透光和群体及个体质量的影响。结果表明, 种植行数由 5 行减少到 3 或 4 行, 同时增大行距后, 孕穗期倒三叶位及基部透光率显著提高, 群体内部空气流通加强。通风透光条件的改善显著提升了内行群体及个体质量, 但对边行的影响较小, 边行优势大幅削减, 内行表现为成穗率提高, 有效穗增多, 孕穗到乳熟期叶面积消减速率减缓, 干物质积累量增多, 穗粒数、单穗重及产量提高。F3-3 和 F4-3 处理的产量超过对照, 是该地区带状机条播小麦行数与行距的最佳配置方式; F3-2 和 F4-2 处理的产量与对照相当, 但内行个体质量指标优于对照, 也可替代传统“双三零”模式。

关键词: 行数与行距; 带状条播; 小麦; 群体及个体质量

Effect of Number and Interspace of Planting Rows on Population and Individual Quality of Strip-Drilling Wheat

ZHENG Ting, FAN Gao-Qiong*, CHEN Yi, LI Jin-Gang, RONG Xiao-Jiao, LI Guo-Rui, and YANG Wen-Yu

Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture / College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

Abstract: Winter wheat is widely planted in the hilly regions in southwest China, mainly in strip-relay-intercropping system. Wheat land is traditionally prepared in strips containing five equidistant rows. The objective of this study was to optimize the number and interspace of planting rows for land preparation using machines in the hilly regions in Sichuan Province, China. A two-year field experiment was carried out, using two plant-type cultivars, Chuannong 27 of the compact-short type and Mianmai 367 of the intermediate type. Under fixed strip width (2 m) and planting density ($150 \times 10^4 \text{ ha}^{-1}$), six planting patterns were compared, which were traditional pattern (CK), three-row with 30 cm+30 cm intervals (F3-1), three-row with 35 cm+35 cm intervals (F3-2), three-row with 40 cm+40 cm intervals (F3-3), four-row with 20 cm+20 cm+20 cm intervals (F4-1), four-row with 20 cm+30 cm+20 cm intervals (F4-2), and four-row with 20 cm+40 cm+20 cm intervals (F4-3). The field aeration light transmission condition and quality of population and individual were surveyed at different growth stages. The results indicated that reduction of row number per strip and increase of row spacing resulted in higher light transmission rate at the top and basal parts of plant population at booting stage, and the circulation of air reinforced. With the improved aeration and light transmission condition, quality of population and individual and yield significantly increased, but those of edge row almost remained unchanged, thus the border advantage was cut down. Meanwhile, the related quality index of inner row showed that, spike setting rate and effective spike number increased, furthermore, the decline rate of leaf area greatly decreased from booting to milky stage, besides, the accumulation of dry weight increased, and then, grain per spike, spike weight and yield increased. Finally, higher yields were obtained in treatments F3-3 and F4-3 compared to CK. Therefore, treatments F3-3 or F4-3 had the optimum number and interspace of planting rows for mechanical sowing strip wheat in these regions. In addition, the yield of F3-2 and F4-2 was equivalent to that of CK, but most indexes of individual quality of inner rows were better than those of CK, so F3-2 and F4-2 could replace the tra-

本研究由四川省农作物育种攻关项目(2011NZ0098-15-3), 四川省学术和技术带头人培养资金和四川农业大学优秀硕士论文培育基金(YSPY1203)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 樊高琼, E-mail: fangao20056@126.com, Tel: 028-86290972

第一作者联系方式: E-mail: wujueqi2010@yahoo.cn

Received(收稿日期): 2012-08-01; Accepted(接受日期): 2012-12-07; Published online(网络出版日期): 2013-01-28.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20130128.0919.002.html>

ditional double-three-zero strip planting pattern, too.

Keywords: Number and interspace of planting row; Strip drilling; Wheat; Population and individual quality

小麦是四川第二大口粮作物, 2011 年种植面积约 8.9 万公顷、总产 565.3 万吨, 面积和总产分列全国第 6 和第 7 位^[1]。四川人多地少, 且 57.9% 的耕地分布在丘陵, 80% 以上的粮食亦来自丘陵, 丘陵是名副其实的粮仓^[2]。为解决人口、资源和环境间的矛盾, 长期以来, 四川丘陵旱地大力发展间套多熟种植, 主要以小麦/棉花、小麦/玉米、小麦/玉米/甘薯、小麦/玉米/大豆等一年两熟或一年三熟种植为主^[3]。近年来, “麦/玉/豆”套作模式因其高产、优质、高效等特点, 自示范推广以来, 在南方丘陵区发展十分迅速, 面积逐年增加, 已成为四川丘陵旱地的主推模式, 2008—2012 年被列为全国主推技术。

“麦/玉/豆”模式主要采用“双二零”带型种植, 带宽 2 m, 小麦和玉米各占 1 m。该模式下小麦播种 5 行, 行距 20 cm, 剩余空带翌年种植 2 行玉米, 小麦收后播种 2 行大豆。实践证明, 该模式既能发挥套作优势, 又基本满足微型农机操作要求, 因此丘陵旱地套作小麦机播技术得到了初步发展^[4-6]。然而, 该模式下小麦边行优势表现过强, 群体内部密闭遮光, 通风透光条件差, 次边行和中间行群体及个体素质严重劣化, 易发生倒伏, 产量低^[7]。生产上盲目挖掘边行优势的增产作用, 往往造成内行群体个体素质显著降低, 反而减产^[7-8], 适当扩大行距或实行宽窄行配置可以改善内行群体通风透光条件, 显著提高内行群体质量, 有效削减边行优势及边际效应, 利于抗倒伏、抗早衰及增产^[9-13]。与此同时, 小麦机播技术体系还不够成熟完善, 现行播种机具有 5 个开沟器, 间距均为 20 cm, 四川土壤较北方黏重, 加之小麦播种期间阴雨天气频繁, 土壤含水量较高, 播种阻力大, 相邻开沟器间距小, 时常发生堵塞断垄, 机具通过性和播种质量大大降低^[6]。因此, 减少开沟器个数, 即减少播种行数, 同时增大开沟器间距更适合播种机具作业。另外, 由于是小麦/玉米套作, 适当缩减小麦幅宽可拓宽玉米生长空间, 减弱共生期小麦对玉米的荫蔽作用, 麦玉可协调高产。鉴于此, 本试验在传统“双二零”带宽和种植密度固定的情况下, 研究 6 种行数与行距配置方式对田间通风透光和群体及个体质量的影响, 以期筛选出四川及西南丘陵旱地带状机播小麦最佳种植行数与行距配置方式, 为改革现行“双二零”模式及其播种机开沟器间距的设计提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2010 年 11 月至 2012 年 5 月连续两年度在四川仁寿县珠嘉乡踏水村(29.6°N, 104°E)进行, 该村地处典型丘陵区。该县气候特点见表 1。试验地前茬均为大豆, 土壤为紫色土, 0~20 cm 土层含有机质 1.47%、速效氮 95.61 mg kg⁻¹、速效磷 7.03 mg kg⁻¹、速效钾 55.21 mg kg⁻¹。小麦于 11 月初播种, 1 月中旬拔节, 3 月中旬孕穗, 4 月初开花, 5 月中下旬收获。

两因素裂区设计, 主区因素为品种, 选用麦/玉/豆模式的主推品种, 紧凑中穗型品种川农 27 和半紧凑大穗型品种绵麦 367; 副区因素为处理, 2011—2012 年设传统“双二零”模式(对照, 每带 5 行和 20 cm 等行距, CK)、每带 3 行和行距 30 cm + 30 cm (F3-1)、每带 3 行和行距 35 cm + 35 cm (F3-2)、每带 3 行和行距 40 cm + 40 cm (F3-3)、每带 4 行和行距 20 cm + 20 cm + 20 cm (F4-1)、每带 4 行和行距 20 cm + 30 cm + 20 cm (F4-2)、每带 4 行和行距 20 cm + 40 cm + 20 cm (F4-3), 2010—2011 年仅设 F3-3、F4-1、F4-3 和 CK。各处理带宽均为 2 m, 剩余空带作为预留行翌年种植 2 行玉米。一叶一心期进行人工匀苗控苗, 基本苗严格控制在 150×10⁴ hm⁻² (表 2)。小区(一带)面积 10 m × 2 m = 20 m², 3 次重复。每公顷施用纯 N 135 kg、P₂O₅ 76.5 kg 和 K₂O 78 kg, 70% 氮肥和全部磷钾肥作底肥一次施入, 30% 氮肥于小麦二叶一心期追施。其他管理措施同一般大田生产。

1.2 考察指标与测定方法

每小区标记 1 m 长, 于拔节、孕穗、开花、乳熟和成熟期调查茎蘖数, 按行各选 20 个代表性植株取样, 将主茎和分蘖分开, 分茎鞘、叶、穗装于牛皮纸袋, 105℃ 杀青 1 h, 75℃ 烘干至恒重, 用千分之一天平称量干重。用干重法测定叶面积, 叶面积和干物重均根据各时期各行主茎数和分蘖数加权计算总和。叶面积指数=套作小麦绿叶总面积/套作模式占地面积(包括套种区和预留区土地)。

孕穗期选择晴朗无云无风的天气, 于 10:00—11:00 使用 LI-1400 Datalogger 光量子仪(美国 LI-COR 公司生产)测定顶部无遮挡状态、相邻行间倒三叶位及基部有效光合辐射值。孕穗期选择无风的天气

表 1 小麦生育期间试验点气候情况
Table 1 Meteorological conditions of experimental locations during winter wheat growing period

月份 Month	2010–2011				2011–2012			
	日照 Sunshine (h)	降雨量 Precipitation (mm)	日均温 Average temp. (℃)	日均湿度 Average air humidity (%)	日照 Sunshine (h)	降雨量 Precipitation (mm)	日均温 Average temp. (℃)	日均湿度 Average air humidity (%)
11	77	18.9	12.3	74.7	53	3.2	16.0	75.2
12	100	9.2	9.3	74.9	23	15.1	8.5	72.5
1	19	1.1	9.0	72.2	14	16.8	6.4	77.3
2	69	2.5	9.9	68.2	11	12.0	7.5	74.4
3	84	17.0	14.0	62.9	89	18.4	14.8	64.1
4	135	44.2	16.1	70.9	154	17.8	19.5	58.8
5	138	64.4	21.8	70.7	112	123.8	22.8	70.1

数据由四川省农业气象中心提供。
Data originate from agrometeorological center of Sichuan Meteorological Bureau.

气，提供 220 V 恒定电源带动电风扇向小麦行间吹风，电风扇圆形直径为 80 cm，中心风速为 6.89 m s⁻¹，使用 QDF-6 数字风速仪测定距离电风扇中心 60 cm 行间群体中部风速，读数 3 次取平均值。透光率=某部位值/顶部无遮挡值×100%。

成熟期分行收获，各取 50 穗考察穗粒数和千粒重，另取长势均匀的 4 m 长，分边行、次边行和中间行测定各行产量，并计算总产。

1.3 数据分析

使用 Microsoft Excel 2003 整理数据和绘制图表，用 DPS7.05 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 行数与行距配置对带状条播小麦茎蘖发展动态及分蘖成穗能力的影响

2011—2012 年度，两品种不同配置处理间群体最高苗差异均较小，各行最高苗和单株分蘖数基本无差异，单行最高苗行间差值仅为 21 苗 m⁻¹，不同行间单株分蘖数仅相差 0.3。拔节后配置方式对群体数量发展的影响显著增强，群体总茎蘖数差异变大，各行茎蘖数和单株成穗数差值逐渐增加，边行优势凸显，孕穗期与成熟期群体茎蘖数差异基本一致。种植行数减少到 3 或 4 行后，单行种植密度增大，各行茎蘖数增加；在此基础上增大行距，第 2 行成穗率、单株成穗数、有效茎蘖数随行距加大而显著提高，但第 1 行增值较小，边行优势随之降低，种植 4 行下尤为显著；群体总成穗数和成穗率也随行距加大而提高，总有效穗数 F3-2、F3-3、F4-2、F4-3 与 CK 相当。另外，种植 5 行的 CK，两品种群体总成

穗数均较高，但表现各异；川农 27 边行优势显著，第 2 和第 3 行茎蘖数、成穗率及单株成穗数显著低于第 1 行，群体总成穗率较高；而绵麦 367 边行优势较弱，群体总成穗率最低(表 2)。

2.2 行数与行距配置对带状条播小麦干物质积累的影响

苗期到拔节期配置方式对群体及个体干物质积累量的影响小，无明显边行优势；拔节后，群体逐渐壮大，配置方式影响力显著增强，群体干物质积累总量差异逐步凸显，各行群体及个体差异逐渐增大，边行优势逐渐增强，孕穗期尤为明显(表3)。种植行数减少到 3 行或 4 行后，单行种植密度加大，各行干物质积累量增加，第 1 行单茎干物重随种植行数的减少而降低，但第 2 行单茎干物重以种植 4 行最高，种植 3 行其次，种植 5 行最低，边行优势随之减弱，群体干物质积累总量以种植 4 行最高，种植 3 行与种植 5 行相当。拔节后，种植 3 行或 4 行条件下，不同行距间第 1 行群体干物质积累量和单茎干物重差异较小；但第 2 行随行距增大而增加，行距差值越大差异越显著，孕穗后表现尤为明显；故各行群体和单茎干物质积累差值随行距增加而减小，边行优势有效减弱，群体干物质积累总量随行距增加而增加，干物质积累总量 F3-2、F3-3、F4-2、F4-3 与 CK 相当。两品种干物质积累动态的差异主要体现在干物质积累量低、边行优势强的 F3-1 和 F4-1。另外，种植 5 行的 CK 拔节后，边行优势较大，仅次于最大的 F4-1，其第 2 和第 3 行群体和单茎干物质积累量显著低于第 1 行，且小于 F3-2、F3-3、F4-2 和 F4-3 的第 2 行。

表 2 不同行数与行距配置方式下群体个体茎蘖数变化及其分蘖成穗能力(2011–2012)
Table 2 Stem and tiller numbers of wheat population and individual and the spike setting ability in different planting treatments (2011–2012)

处理 Treatment		基本苗 Seedlings		最高苗 Peak tillers		孕穗期茎蘖数 Tillers at booting		成熟期茎蘖数 Tillers at maturity		成穗率 Spike setting rate (%)		单株分蘖 No. of tillers per plant	单株成穗 No. of spikes per plant
		R	T	R	T	R	T	R	T	R	T		
川农 27 Chuannong 27													
F3-1	1st	100	150	225 a	347 a	160 ab	241 a	153 ab	227 a	67.7 de	65.4 b	1.3 abc	1.5 cdef
	2nd	100		244 a		162 ab		149 bc		61.1 ef		1.4 a	1.5 def
F3-2	1st	100	150	217 ab	318 a	173 a	247 a	169 a	236 a	78.2 ab	74.7 a	1.2 abc	1.7 abc
	2nd	100		203 bc		148 bc		134 cd		67.2 de		1.0 c	1.3 fgh
F3-3	1st	100	150	220 ab	329 a	168 a	247 a	163 ab	238 a	73.2 bcd	72.1 a	1.2 abc	1.6 bcd
	2nd	100		219 ab		159 ab		151 ab		69.8 cd		1.2 abc	1.5 cdef
F4-1	1st	75	150	182 cd	363 a	135 cd	241 a	130 de	218 a	71.3 cd	60.4 c	1.4 a	1.7 ab
	2nd	75		180 cd		106 ef		89 g		49.3 g		1.4 ab	1.2 h
F4-2	1st	75	150	174 d	354 a	119 de	246 a	120 def	230 a	69.3 cd	65.5 b	1.3 ab	1.6 bcd
	2nd	75		180 cd		126 d		111 f		61.8 ef		1.4 ab	1.5 def
F4-3	1st	75	150	163 d	336 a	126 d	255 a	124 def	241 a	75.7 abc	71.7 a	1.2 abc	1.7 bcd
	2nd	75		173 d		129 d		117 ef		67.7 de		1.3 ab	1.6 bcde
CK	1st	60		139 e		118 de		114 ef		82.3 a		1.3 ab	1.9 a
	2nd	60	150	123 e	328 a	92 f	256 a	83 g	235 a	67.5 de	71.5 a	1.0 c	1.4 efg
	3rd	60		134 e		91 f		76 g		57.2 f		1.2 abc	1.3 gh
绵麦 367 Mianmai 367													
F3-1	1st	100	150	185 a	276 b	131 ab	190 b	129 abc	181 b	71.0 bcdef	66.7 c	0.9 de	1.3 cd
	2nd	100		183 a		116 bc		103 de		58.2 hi		0.8 de	1.0 e
F3-2	1st	100	150	183 a	269 b	143 a	208 ab	141 a	204 ab	77.2 ab	76.5 a	0.8 de	1.4 bc
	2nd	100		171 abc		130 ab		127 abc		75.0 abc		0.7 e	1.3 cd
F3-3	1st	100	150	179 ab	269 b	142 a	213 ab	140 a	206 a	78.0 ab	76.5 a	0.8 de	1.4 bc
	2nd	100		180 ab		141 a		132 ab		73.7 abcd		0.8 de	1.3 cd
F4-1	1st	75	150	162 abcd	303 ab	133 ab	222 a	129 abc	208 a	79.6 a	68.7 bc	1.2 abc	1.7 a
	2nd	75		141 de		90 e		79 g		56.0 i		0.9 de	1.1 e
F4-2	1st	75	150	150 cde	280 b	115 bc	208 ab	116 cd	202 ab	77.3 ab	72.2 ab	1.0 abcd	1.5 ab
	2nd	75		131 e		94 de		87 fg		66.5 efg		0.7 de	1.2 de
F4-3	1st	75	150	160 abcd	306 ab	125 abc	235 a	116 bcd	215 a	73.0 abcde	70.8 bc	1.1 abc	1.6 ab
	2nd	75		146 de		110 cd		99 ef		68.3 defg		1.0 bcde	1.3 cd
CK	1st	60		136 e		96 de		94 efg		69.6 cdef		1.3 a	1.6 ab
	2nd	60	150	134 e	337 a	93 de	234 a	85 fg	220 a	64.8 fgh	66.2 c	1.2 ab	1.4 bc
	3rd	60		135 e		91 e		81 g		61.7 ghi		1.3 ab	1.4 bc

F3-1~F3-3 表示种植 3 行, 行距分别为 30 cm + 30 cm、35 cm + 35 cm、40 cm + 40 cm; F4-1~F4-3 表示种植 4 行, 行距分别为 20 cm + 20 cm + 20 cm、20 cm + 30 cm + 20 cm、20 cm + 40 cm + 20 cm; CK 表示种植 5 行, 20 cm 等行距。1st、2nd 和 3rd 指各带从边行向内的不同小麦行; R 和 T 分别指单行(m^{-1})和带内总和($\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$)。同一品种下, 数据后不同小写字母表示不同处理间有显著差异 ($P < 0.05$)。

F3-1 to F3-3 indicate planting three rows per plot with row spacing of 30 cm + 30 cm, 35 cm + 35 cm, and 40 cm + 40 cm, respectively; F4-1 to F4-3 indicate planting four rows per plot with row spacing of 20 cm + 20 cm + 20 cm, 20 cm + 30 cm + 20 cm, 20 cm + 40 cm + 20 cm, respectively; CK denotes traditional planting pattern with five rows and 20 cm spacing between rows. 1st, 2nd, and 3rd represent different lines from the edge to the center in a plot; R and T are for a single row (m^{-1}) and total of a plot ($\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$), respectively. In each wheat cultivar, values followed by different letters are significantly different among treatments ($P < 0.05$).

表 3 不同行数与行距配置方式下群体个体干物质积累动态(2011–2012)

Table 3 Dry matter accumulations of wheat population and individual in different planting treatments (2011–2012)

处理 Treatment		拔节期 Jointing			孕穗期 Booting			开花期 Anthesis			乳熟期 Milking			成熟期 Maturity		
		S	R	T	S	R	T	S	R	T	S	R	T	S	R	T
川农 27 Chuannong 27																
F3-1	1st	0.33 d	74 a	1129 b	1.92 bc	308 abc	4399 b	2.88 b	439 b	6303 ab	4.07 b	620 b	8834 b	4.54 cd	692 ab	9766 ab
	2nd	0.32 d	79 a		1.62 f	264 de		2.56 ef	382 cde		3.52 d	526 def		3.81 g	570 cde	
F3-2	1st	0.34 cd	73 a	1099 b	1.93 bc	333 ab	4561 ab	3.08 a	519 a	7004 ab	4.42 a	743 a	9820 ab	4.63 bc	780 a	10491 ab
	2nd	0.37 abcd	74 a		1.67 def	247 de		2.69 cde	362 de		3.56 d	478 efg		4.01 fg	538 def	
F3-3	1st	0.34 cd	73 a	1083 b	2.09 ab	350 a	4946 ab	3.17 a	516 a	7292 a	4.43 a	717 a	10171 a	4.72 bc	763 a	10852 a
	2nd	0.33 cd	71 ab		1.83 cde	289 cd		2.82 bc	426 bc		3.98 bc	599 bc		4.27 e	644 bc	
F4-1	1st	0.42 a	77 a	1510 a	2.15 a	290 bcd	4642 ab	3.14 a	408 bcd	6307 ab	4.40 a	571 bcd	8789 b	4.67 bc	607 cd	9438 b
	2nd	0.41 ab	74 a		1.65 ef	174 f		2.52 f	223 g		3.52 d	308 h		3.84 g	337 g	
F4-2	1st	0.34 cd	60 bc	1207 b	2.10 ab	251 de	4766 ab	3.08 a	369 de	6636 ab	4.40 a	527 cdef	9567 ab	4.79 ab	574 cde	10370 ab
	2nd	0.33 cd	60 c		1.79 cdef	225 e		2.67 def	295 f		3.88 bc	429 g		4.19 ef	463 f	
F4-3	1st	0.36 bcd	59 c	1203 b	2.06 ab	260 de	4939 ab	3.21 a	399 bcd	7297 a	4.42 a	548 bcde	10173 a	4.79 ab	593 cd	10958 a
	2nd	0.36 cd	61 bc		1.83 cde	233 e		2.83 bc	331 ef		4.02 b	469 fg		4.30 de	503 ef	
CK	1st	0.38 abc	52 cd	1175 b	2.25 a	266 cde	5204 a	3.19 a	364 de	6922 ab	4.48 a	510 def	9477 ab	5.05 a	575 cde	10651 a
	2nd	0.35 cd	43 d		1.87 c	170 f		2.77 bcd	228 g		3.59 d	296 h		4.09 ef	338 g	
	3rd	0.33 d	44 d		1.83 cd	169 f		2.62 def	200 g		3.75 cd	283 h		4.03 fg	304 g	
绵麦 367 Mianmai 367																
F3-1	1st	0.37 bcde	68 ab	987 c	2.49 bcd	331 abc	4601 d	3.76 b	484 abc	6629 bcd	4.99 bcd	644 bcd	8849 b	5.40 c	696 bc	9560 b
	2nd	0.34 cde	62 abcd		2.23 ghi	257 ef		3.49 c	359 f		4.68 ef	481 fg		5.04 de	519 f	
F3-2	1st	0.38 abcde	70 a	1037 bc	2.61 abc	376 a	5224 bc	3.72 b	523 ab	7327 abcd	5.24 abc	738 a	10243 a	5.56 abc	783 ab	10905 a
	2nd	0.39 abc	67 ab		2.26 fghi	292 cde		3.31 def	420 de		4.51 fg	572 de		4.84 ef	614 de	
F3-3	1st	0.34 cde	65 abc	992 c	2.65 ab	376 a	5450 b	3.78 ab	526 a	7539 abc	5.25 abc	731 ab	10463 a	5.71 ab	793 a	11286 a
	2nd	0.39 abcd	68 ab		2.40 defg	339 ab		3.46 c	456 bcd		4.79 de	631 cd		5.09 d	671 cd	
F4-1	1st	0.37 bcde	62 abcd	1174 ab	2.28 efgh	301 bcd	4787 cd	3.65 b	470 abcd	7223 abcd	5.24 abc	676 abc	10133 a	5.49 bc	708 abc	10696 a
	2nd	0.42 ab	55 cde		2.01 j	178 h		3.23 ef	252 h		4.32 g	337 i		4.63 f	362 hi	
F4-2	1st	0.43 ab	64 abcd	1203 ab	2.67 ab	305 bcd	5335 bc	3.77 b	433 cd	7224 abcd	5.29 ab	608 cd	10294 a	5.54 bc	637 cd	10756 a
	2nd	0.44 a	57 bcde		2.44 cdef	228 fg		3.34 cde	290 gh		4.86 de	422 gh		5.05 de	438 gh	
F4-3	1st	0.35 cde	57 bcde	1101 abc	2.83 a	355 a	6233 a	3.68 b	427 d	7622 ab	5.26 ab	610 cd	10740 a	5.72 ab	664 cd	11723 a
	2nd	0.37 bcde	54 de		2.46 cde	268 def		3.40 cd	335 fg		4.71 ef	464 fg		5.16 d	508 fg	
CK	1st	0.42 ab	54 de	1291 a	2.79 a	270 def	5684 ab	3.97 a	371 ef	7906 a	5.43 a	508 ef	10570 a	5.85 a	548 ef	11358 a
	2nd	0.33 e	49 e		2.19 hij	203 gh		3.43 cd	291 gh		4.52 fg	385 hi		4.83 ef	411 hi	
	3rd	0.33 de	51 e		2.09 ij	190 gh		3.16 f	256 h		4.03 h	326 i		4.34 g	352 i	

各处理描述同表 2。S、R、T 分别指单茎(g)、单行(g m⁻¹)和带内总和(kg hm⁻²)。同一品种下, 数据后不同小写字母表示不同处理间有显著差异($P < 0.05$)。

Treatments are the same as described in Table 2. S, R, and T are for a single stem (g), single row (g m⁻¹), and total of a plot (kg hm⁻²), respectively. In each cultivar, values followed by different letters are significantly different among treatments ($P < 0.05$).

2.3 行数与行距配置对带状条播小麦有效叶面积的影响

拔节期群体及个体叶面积差异小,无明显边行优势;而拔节后差异显著,且品种与配置方式间的交互作用随生育期的推进而增强,乳熟期达显著水平;孕穗到乳熟期,各行群体及单茎叶面积差异显著,且第1与第2或第3行间的差值随生育期的推进逐渐增大,边行优势显著(表4)。种植行数减少到3行或4行后,单行种植密度加大,单行群体叶面积增加,第1行单茎叶面积略有下降,但第2行反而增加,第2行的单茎叶面积以种植4行最高,其次为种植3行,种植5行最低,边行优势减弱,群体叶面积指数提高,开花到乳熟期表现尤为显著。种植3行或4行条件下,不同行距间第1行群体叶面积和单茎叶面积基本无差异,但其第2行基本随行距扩大而增加,群体叶面积指数亦随行距加大而提高,到乳熟期F3-2、F3-3和F4-1、F4-2及F4-3群体叶面积指数均高于CK;同时,各行群体及单茎叶面积差值基本随行距增大而减小,边行优势显著削弱。CK行间群体及个体叶面积差异大,边行优势表现力强,第2或第3行群体及单茎叶面积低于F3-2、F3-3、F4-2及F4-3的第2行,开花到乳熟期尤为显著,花后有效叶面积消减较快。

2.4 行数与行距配置对带状条播小麦产量及产量构成的影响

配置方式和品种对总群体及各行有效穗、穗粒数、千粒重、单穗重及产量的影响较大,且交互作用强,但对群体2011—2012年总有效穗数的影响未达显著水平。两年结果基本一致。种植行数减少到4行或3行后,单行种植密度加大,单行产量增加;第1行穗粒数略有减少,千粒重基本不变,单穗重略有下降,但第2行表现刚好与第1行相反,单穗重提高,以种植4行最高,种植3行其次,种植5行最低。2011—2012年,种植3或4行条件下,不同行距间第1行的有效穗、穗粒数、千粒重及单穗重差异较小,而第2行间差异显著;产量三因素两品种表现不一致,川农27第2行的有效穗和穗粒数变化很小,千粒重随行距增加而显著增加,而绵麦367正好相反,第2行的千粒重变化很小,有效穗和穗粒数随行距增加而显著提高;但两年试验两品种最终结果均为单穗重和单行产量均随行距增加而显著提高,总产量亦随行距增加而增加,F4-3和F3-3高于CK;同时,第2行与第1行间的差值随行距增加

而减小,加大行距显著降低了边行优势。CK总产仅与F4-2和F3-2相当,但产量三因素、单穗重、产量的行间差值最大,边行优势显著高于F4-2和F3-2,且两年均与边行优势最大的F4-1相当(表5)。总体来看,两年两品种均以F4-3和F3-3总产最高,各行产量三因素最为协调,F4-2和F3-2其次。

2.5 行数与行距配置对带状条播小麦群体通风透光的影响

配置方式显著影响群体通风透光状况,川农27群体倒三叶位透光率和冠层中部风速显著高于绵麦367;其中透光率基部较倒三叶位显著减少,半紧凑型绵麦367同一种植行数处理间基部透光率基本无差异。种植行数越少,群体行间通风透光条件越优。种植3行条件下,第1与第2行间透光率和冠层中部风速均随行距增大而增加,行距差值越大差异越显著。种植4行条件下,第1与第2行间透光率和冠层中部风速基本无差异,但双侧第2行间透光率和冠层中部风速均随行距增大而显著增加,行距差值越大差异越显著。CK处理下,第1与第2及第2与第3行间透光率和冠层中部风速均最低(图1)。

2.6 带状种植小麦个体质量、产量及其边行优势与群体内部通风透光状况的相关性

两品种结果均表明,产量的边行优势与群体内部通风透光条件极显著负相关,而总产与通风透光条件呈正相关,其中与内部风速相关性最强(表6)。总产与单个边行和内行产量均呈较强的正相关,其中与边行产量相关性达显著或极显著水平;产量的边行优势与单个边行产量间的相关性不强,但与单个内行产量极显著负相关;总产与产量的边行优势间相关性较弱。边行个体素质与群体内部通风透光条件间的相关性不强,但内行个体素质与通风透光条件呈正相关,且基本达显著或极显著水平。总产和产量边行优势与内行个体质量间的相关性大于其与边行,总产与边行和内行个体素质基本呈正相关,产量边行优势与边行个体素质间的相关性较弱,而与内行个体素质基本呈显著或极显著负相关。

3 讨论

3.1 带宽和播种密度固定的基础上边行优势对产量的作用效果

边行优势是带状种植区别于单作最重要的特征^[5,7-8,12,14]。本研究中带状小麦在单株分蘖、单株叶面积、干物质积累、产量及产量构成方面均具有显

表 4 不同行数与行距配置方式下群体个体叶面积变化动态(2011–2012)
Table 4 Leaf areas of wheat population and individual in different planting treatments (2011–2012)

处理 Treatment		拔节期 Jointing			孕穗期 Booting			开花期 Anthesis			乳熟期 Milking		
		S	R	LAI	S	R	LAI	S	R	LAI	S	R	LAI
川农 27 Chuannong 27													
F3-1	1st	66 cd	1.48 a	2.26 b	155 d	2.47 ab	3.59	124 fg	1.89 b	2.70 b	93 d	1.42 b	2.00 cd
	2nd	64 cd	1.56 a		137 g	2.23 bcd		108 j	1.62 cdef		77 g	1.16 de	
F3-2	1st	68 cd	1.47 a	2.18 b	157 d	2.71 a	3.76	135 abc	2.28 a	3.07 a	100 b	1.70 a	2.28 ab
	2nd	71 cd	1.43 a		142 fg	2.10 cd		117 hi	1.57 def		86 ef	1.16 de	
F3-3	1st	67 cd	1.45 a	2.14 b	169 bc	2.84 a	4.05	134 cd	2.16 a	3.07 a	104 ab	1.69 a	2.39 a
	2nd	64 d	1.37 ab		152 def	2.42 abc		120 gh	1.81 bc		94 d	1.41 b	
F4-1	1st	84 a	1.52 a	2.97 a	168 bc	2.27 bcd	3.79	133 cde	1.72 bcde	2.70 b	92 de	1.19 cde	1.81 d
	2nd	81 ab	1.45 a		143 efg	1.52 e		110 ij	0.97 g		70 h	0.62 f	
F4-2	1st	67 cd	1.18 c	2.33 b	177 ab	2.11 cd	4.05	143 a	1.71 bcde	3.10 a	107 a	1.28 bcd	2.32 ab
	2nd	64 d	1.16 c		153 de	1.94 d		126 efg	1.39 f		94 cd	1.04 e	
F4-3	1st	71 cd	1.16 c	2.36 b	171 ab	2.16 bcd	4.22	142 ab	1.76 bcd	3.25 a	109 a	1.34 bc	2.52 a
	2nd	70 cd	1.20 bc		161 cd	2.06 d		128 def	1.50 ef		100 bc	1.17 de	
CK	1st	73 bc	1.01 cd	2.30 b	182 a	2.16 bcd	4.25	143 a	1.63 cde	3.03 ab	102 ab	1.17 de	2.10 bc
	2nd	69 cd	0.85 d		158 d	1.44 e		116 hi	0.96 g		81 fg	0.67 f	
	3rd	64 cd	0.87 d		142 fg	1.30 e		114 hij	0.87 g		69 h	0.52 f	
绵麦 367 Mianmai 367													
F3-1	1st	69 bcd	1.25 ab	1.81 bc	204 ef	2.70 bc	3.75 c	147 d	1.89 cd	2.54 c	107 d	1.36 bc	1.79 b
	2nd	63 d	1.14 abcde		181 h	2.11 efg		125 h	1.29 ef		84 h	0.86 def	
F3-2	1st	70 abcd	1.29 a	1.90 bc	221 bc	3.18 a	4.47 b	157 b	2.21 ab	3.07 ab	114 abc	1.61 a	2.21 a
	2nd	71 abcd	1.22 abc		199 ef	2.59 cd		136 fg	1.73 d		94 ef	1.20 c	
F3-3	1st	67 cd	1.20 abcd	1.83 c	224 bc	3.19 a	4.71 b	167 a	2.33 a	3.32 a	116 ab	1.62 a	2.28 a
	2nd	70 abcd	1.25 ab		215 cd	3.03 ab		149 cd	1.97 bc		99 e	1.31 c	
F4-1	1st	72 abcd	1.16 abcde	2.15 ab	209 de	2.76 abc	4.41 b	147 d	1.90 cd	2.87 bc	116 a	1.50 ab	2.16 a
	2nd	71 abcd	1.00 ef		184 h	1.64 h		125 h	0.98 g		84 h	0.66 gh	
F4-2	1st	79 ab	1.18 abcde	2.22 ab	228 ab	2.60 cd	4.55 b	155 bc	1.78 cd	2.99 ab	109 bcd	1.25 c	2.04 ab
	2nd	80 a	1.04 cdef		209 de	1.95 fgh		139 ef	1.21 fg		92 fg	0.79 efg	
F4-3	1st	66 d	1.05 bcdef	2.04 abc	237 a	2.97 ab	5.39 a	159 ab	1.84 cd	3.29 ab	109 cd	1.25 c	2.20 a
	2nd	68 bcd	0.99 ef		220 bc	2.42 cde		146 de	1.44 e		97 ef	0.95 de	
CK	1st	76 abc	1.01 def	2.40 a	239 a	2.30 def	4.96 ab	155 bc	1.46 e	3.09 ab	108 d	1.01 d	2.04 ab
	2nd	69 abcd	0.91 f		197 fg	1.81 gh		130 gh	1.11 fg		86 gh	0.73 fgh	
	3rd	69 abcd	0.94 f		187 gh	1.70 h		129 h	1.05 g		73 i	0.59 h	

各处理描述同表 2。S、R、LAI 分别指单茎(cm^2)、单行($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$)和叶面积指数。同一品种下，数据后不同小写字母表示不同处理间有显著差异($P < 0.05$)。
Treatments are the same as described in Table 2. S, R, and LAI are for a single stem (cm^2), single row ($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$), leaf area index, respectively. In each cultivar, values followed by different letters are significantly different among treatments ($P < 0.05$).

著的边行优势，行间群体及个体质量差异大。同时，边行优势也是带状种植小麦发挥增产效应的关键，带状种植小麦主要利用边行优势来弥补实播面积减少带来的减产负效应^[5,14-16]；本文研究得出，总产与边行和内行产量均呈正相关，但仅与边行显著正相关，而与内行相关不显著，说明边行产量对带状小

表 5 不同行数与行距配置方式下群体个体产量及产量构成
Table 5 Yield and yield components of wheat population and individual in different planting treatments

处理 Treatment		有效穗 SN		穗粒数 GNP		千粒重 TGW (g)		单穗重 SW (g)		产量 GY	
		R (m ⁻¹)	T (×10 ⁴ hm ⁻²)	R	T	R	T	R	T	R (g m ⁻¹)	T (kg hm ⁻²)
川农 27 Chuannong 27, 2010–2011											
F3-3	1st	177 a	252.2 a	46.7 ab	45.8 a	48.0 a	46.8 a	1.86 a	1.81 a	329.1 a	4564.4 a
	2nd	151 b		43.8 c		44.0 bc		1.69 b		254.7 b	
F4-1	1st	124 d	202.8 b	46.3 ab	43.8 c	48.2 a	46.4 ab	1.85 a	1.70 b	228.4 c	3448.8 c
	2nd	80 e		39.9 e		43.7 c		1.46 d		116.5 e	
F4-3	1st	137 c	255.5 a	46.1 b	44.8 ab	47.8 a	46.3 ab	1.87 a	1.80 a	255.8 b	4592.3 a
	2nd	119 d		43.3 c		44.6 b		1.71 b		203.5 d	
CK	1st	127 d	249.3 a	47.4 a	44.0 bc	48.3 a	46.1 b	1.92 a	1.73 ab	243.9 bc	4327.4 ab
	2nd	80 e		41.1 d		44.5 b		1.57 c		125.0 e	
	3rd	85 e		39.5 e		42.6 d		1.50 cd		127.7 e	
川农 27 Chuannong 27, 2011–2012											
F3-1	1st	153 ab	227.2 a	48.5 cdef	47.7 bc	46.7 bc	45.2 c	2.02 c	1.86 c	307.5 b	4217.0 bc
	2nd	149 bc		46.0 fgh		41.9 f		1.53 e		228.3 d	
F3-2	1st	169 a	235.8 a	50.6 bcd	49.6 ab	49.6 a	48.0 ab	2.11 bc	1.98 ab	354.6 a	4679.3 ab
	2nd	134 cd		47.1 efgh		44.1 de		1.68 de		226.7 d	
F3-3	1st	163 ab	237.7 a	49.4 bcde	48.9 b	49.9 a	48.7 a	2.15 bc	2.03 a	343.3 a	4791.7 a
	2nd	151 ab		48.3 cdef		46.4 bc		1.81 d		271.7 c	
F4-1	1st	130 de	218.3 a	52.1 ab	49.0 b	49.4 a	47.1 b	2.14 bc	1.89 bc	277.7 bc	4118.6 c
	2nd	89 g		44.8 gh		43.7 def		1.53 e		134.2 e	
F4-2	1st	120 def	230.4 a	51.1 bc	49.4 ab	48.0 ab	45.5 c	2.24 ab	2.04 a	269.0 c	4705.6 a
	2nd	111 f		47.5 defg		42.7 ef		1.82 d		201.6 d	
F4-3	1st	124 def	240.9 a	48.5 cdef	46.5 c	49.1 a	47.5 ab	2.21 ab	2.03 a	273.1 bc	4887.8 a
	2nd	117 ef		44.3 h		45.6 cd		1.84 d		215.7 d	
CK	1st	114 ef	234.5 a	55.8 a	51.7 a	48.3 ab	45.6 c	2.40 a	2.01 a	273.3 bc	4706.5 a
	2nd	83 g		48.7 cdef		43.1 ef		1.63 e		134.3 e	
	3rd	76 g		46.3 efgh		42.9 ef		1.68 de		126.3 e	
绵麦 367 Mianmai 367, 2010–2011											
F3-3	1st	164 a	226.3 a	54.8 b	53.7 a	44.9 a	44.0 a	2.21 b	2.15 a	362.1 a	4868.8 a
	2nd	125 b		50.9 d		41.8 c		1.99 d		249.5 b	
F4-1	1st	116 b	197.8 b	53.1 c	50.5 c	45.2 a	43.8 abc	2.14 c	1.99 b	248.4 b	3931.8 b
	2nd	82 d		46.8 f		41.9 c		1.77 f		144.8 d	
F4-3	1st	117 b	223.3 a	55.1 ab	53.5 a	45.0 a	43.9 ab	2.27 b	2.16 a	264.8 b	4819.1 a
	2nd	107 c		51.8 d		42.6 b		2.04 d		217.1 c	
CK	1st	105 c	221.5 a	56.2 a	51.8 b	45.3 a	43.3 bcd	2.40 a	2.09 a	251.5 b	4621.7 a
	2nd	81 d		49.6 e		41.7 c		1.84 e		148.7 d	
	3rd	72 e		44.0 g		41.0 d		1.72 f		123.9 e	
绵麦 367 Mianmai 367, 2011–2012											
F3-1	1st	129 abc	180.7 b	65.4 bcde	63.0 c	42.5 a	41.3 ab	2.33 cd	2.25 bc	298.9 b	4061.6 c
	2nd	103 de		57.4 h		38.3 c		2.08 ef		214.6 ef	
F3-2	1st	141 a	204.1 ab	69.3 a	66.6 a	41.7 ab	40.8 ab	2.52 ab	2.33 ab	356.7 a	4765.5 ab
	2nd	127 abc		60.5 fg		38.7 c		1.89 g		239.7 de	
F3-3	1st	140 a	205.8 a	68.7 ab	66.7 a	43.2 a	41.9 a	2.58 a	2.45 a	357.6 a	5011.1 ab
	2nd	132 ab		62.5 ef		39.2 c		2.17 de		287.0 bc	
F4-1	1st	129 abc	207.5 a	65.6 abcde	63.2 bc	43.4 a	41.8 a	2.40 bc	2.18 c	310.0 b	4516.7 bc
	2nd	79 g		59.2 gh		39.3 c		1.81 g		141.7 h	
F4-2	1st	116 cd	202.0 ab	66.5 abcd	65.2 ab	44.0 a	41.6 a	2.51 ab	2.35 ab	288.3 bc	4733.1 ab
	2nd	87 fg		63.4 def		38.4 c		2.13 e		185.0 fg	
F4-3	1st	116 bcd	215.0 a	69.0 ab	67.0 a	43.1 a	41.6 a	2.63 a	2.42 a	305.8 b	5198.4 a
	2nd	99 ef		64.6 de		40.0 bc		2.17 de		214.0 ef	
CK	1st	94 efg	220.1 a	68.1 abc	62.5 c	43.1 a	40.3 b	2.69 a	2.21 c	253.0 cd	4849.7 ab
	2nd	85 fg		57.1 h		38.5 c		1.95 fg		166.4 gh	
	3rd	81g		61.1 fg		38.3 c		1.61 h		131.2 h	

各处理描述同表 2。R、T 分别指单行和带内总和。同一品种下，数据后不同小写字母表示不同处理间有显著差异 ($P < 0.05$)。

Treatments are the same as described in Table 2. R and T are for a single row and total of a plot, respectively. SN: spike number; GNP: grain number per spike; TGW: thousand-grain weight; SW: spike weight; GY: grain yield. In each cultivar, values followed by different letters are significantly different among treatments ($P < 0.05$).

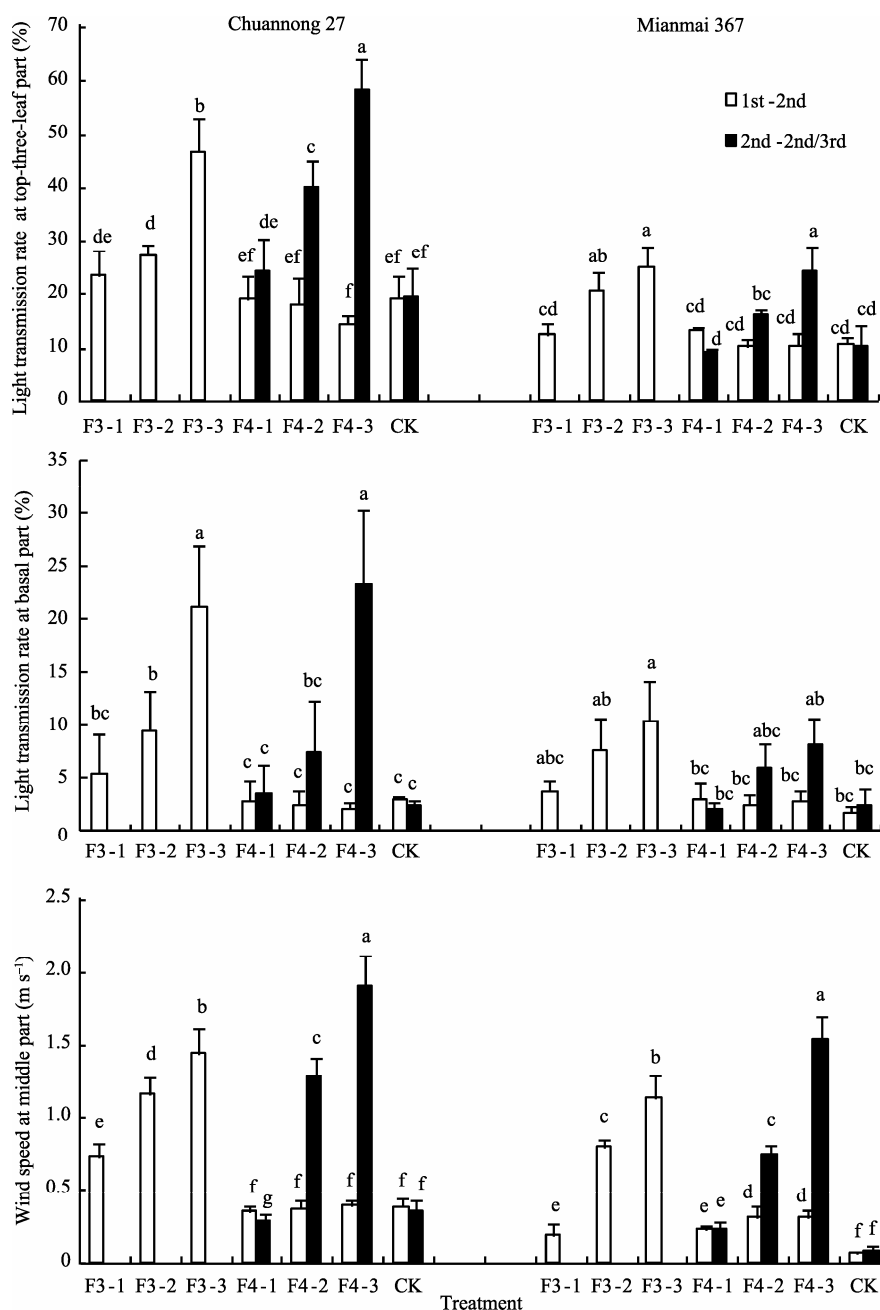


图 1 不同行数与行距配置下群体顶部和基部透光率及中部风速

Fig. 1 Light transmission rates at upper and basal parts of population and wind speed at middle part under different planting treatments

各处理描述同表 2。1st-2nd 表示第 1 与第 2 行间, 2nd-2nd/3rd 表示第 2 行与相邻第 2 或第 3 行间。

Treatments are the same as described in Table 2. 1st-2nd indicates the space between the 1st row and the 2nd row. 2nd-2nd/3rd indicates the space between the adjacent 2nd rows or between the 2nd and 3rd rows.

麦总产的贡献远高于内行, 边行优势乃是带状小麦取得较高产量的关键, 这与人 [5,10,12,14-16] 的结论吻合。另一方面, 在 2 m 带宽种植密度 $150 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ 固定的情况下, 边行优势与内行个体素质及产量显著或极显著负相关, 而与边行相关性不强, 即边行优势越强内行个体素质及产量越低; 但并非边行优势表现越强总产越高, 总产与边行优势相关性较弱; 此

外, 总产与内行个体素质的正相关显著强于其与边行。以上结果表明, 边行凭借充足的资源优势生长良好, 群体及个体素质最优, 产量高, 单个边行对总产的贡献率基本稳定, 而单个内行对总产的贡献率弹性大; 边行优势的大小主要取决于内行, 致使边行优势的大小并不能表征带状小麦增产效果的好坏, 反而适当削弱边行优势更利于增产, 强化内行群体及个体

素质才是带状小麦增产最有效的手段。

3.2 行数与行距配置对带状小麦群体及个体质量、边行优势和产量的生态调控机理

田间通风透光条件的改善可以提高内行群体及个体素质^[9,11,17]。本试验在种植密度 $150 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ 固定的基础上, 依靠增加单行密度, 将传统“双三零”种植模式下的 5 行减少到 3 行或 4 行, 同时保持 2 m 带宽不变, 再适当增大行距或调整行距配比后, 孕穗后群体内部的通风透光状况大为改善, 内行群体及个体素质、产量构成、单穗重及产量均随行距增大而显著提高, 从而削减了边行优势, 有效弥补了减少种植行数可能带来的减产效应, 最终达到增产的效果, 这与前人的结论^[8-13,17]相符。相反, 传统模式的群体内部通风透光条件差, 边行优势表现强, 边行群体及个体素质最优, 但内行群体及个体素质严重劣化, 低于 F3-3、F3-2、F4-3 和 F4-2 处

理下的内行, 加剧了行间群体个体素质的不均衡性, 并且容易发生倒伏, 以致产量较低, 这与赵秉强等^[8]及我们^[7]此前的研究结果吻合。另外, 适当减少播种行数扩大行距更利于提高播种机具的通过性和播种质量。

4 结论

不同行数与行距配置方式引起带状小麦田间通风透光状况的差异, 从而影响拔节后各行群体及个体素质、产量、产量构成及其边行优势的发挥, 两品种表现基本一致。带宽 2 m 和播种密度 $150 \times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ 固定的情况下, 边行优势表现过强会严重劣化内行群体及个体质量, 不利于产量的提高; 强化内行群体及个体素质, 适当削弱边行优势, 均衡群体发展才是增产的关键。减少种植行数至 3 行或 4 行, 再适当扩大行距后, 群体内部通风透光环境大为改

表 6 个体质量、产量及其边行优势与群体内部通风透光条件间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of individual quality, yield, and its border advantage with aeration and light transmission condition inside population

个体质量及产量 Individual quality and yield	川农 27 Chuannong 27					绵麦 367 Mianmai 367				
	TY	BAY	Top LTR	Basal LTR	Middle WS	TY	BAY	Top LTR	Basal LTR	Middle WS
TY	1.00	-0.23	0.19	0.00	0.48*	1.00	0.12	0.16	0.15	0.40
BAY			-0.58**	-0.47*	-0.79**			-0.68**	-0.62**	-0.43*
边行 Edge row										
SNP	0.55**	0.58**	-0.3	-0.3	-0.31	0.62**	0.67**	-0.45*	-0.38	-0.14
DWS	0.28	0.28	-0.08	-0.22	-0.04	0.19	-0.21	0.28	0.19	0.21
BLA	0.33	0.26	0.11	-0.16	-0.01	0.37	-0.12	0.17	0.02	0.35
ALA	0.45*	0.04	0.23	0.02	0.28	0.31	-0.60**	0.74**	0.65**	0.57**
MLA	0.61**	-0.39	0.23	0.05	0.55**	-0.20	0.01	0.35	0.18	0.15
SW	0.17	0.25	-0.01	-0.10	-0.04	0.43*	0.01	0.19	0.13	0.26
YR	0.48*	-0.11	-0.16	-0.06	0.14	0.61**	0.16	0.15	0.22	0.28
内行 Inner row										
SNP	0.62**	-0.73**	0.33	0.10	0.65**	0.82**	-0.23	0.28	0.25	0.30
DWS	0.56**	-0.46*	0.63**	0.48*	0.60**	-0.21	-0.77**	0.70**	0.54**	0.53*
BLA	0.52*	-0.11	0.51*	0.15	0.48*	0.24	-0.44*	0.66**	0.52*	0.75**
ALA	0.56**	-0.52*	0.65**	0.47*	0.72**	0.45*	-0.47*	0.75**	0.72**	0.79**
MLA	0.62**	-0.74**	0.63**	0.37	0.89**	0.11	-0.53*	0.87**	0.79**	0.83**
SW	0.54**	-0.58**	0.62**	0.49*	0.65**	-0.04	-0.80**	0.66**	0.58**	0.59**
YR	0.42	-0.86**	0.40	0.36	0.69**	0.31	-0.70**	0.70**	0.70**	0.55**

TY: 总产; BAY: 产量边行优势; Top LTR: 倒三叶位透光率; Basal LTR: 基部透光率; Middle WS: 中部风速; SNP: 单株穗数; DWS: 单茎干物重; BLA: 孕穗期单茎叶面积; ALA: 开花期单茎叶面积; MLA: 乳熟期单茎叶面积; SW: 单穗重; YR: 单行产量。

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. $r_{0.05(19)} = 0.433$, $r_{0.01(19)} = 0.549$.

TY: total yield; BAY: border advantage in yield; Top LTR: light transmission rate at top-three-leaf part; Basal LTR: light transmission rate at basal part; Middle WS: wind speed at middle part; SNP: spike number per plant; DWS: dry weight per stem; BLA: leaf area per plant at booting stage; ALA: leaf area per plant at anthesis stage; MLA: leaf area per plant at milking stage; SW: spike weight; YR: yield per row.

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. $r_{0.05(19)} = 0.433$, $r_{0.01(19)} = 0.549$.

善, 内行群体及个体素质和产量显著提高, 但边行基本保持不变, 边行优势被有效削弱, 行间群体及个体素质更为均衡。综合来看, 四川丘陵区带状机播小麦最佳行数与行距配置方式为种植3行, 行距40 cm+40 cm和种植4行, 行距20 cm+40 cm+20 cm, 其次为种植3行, 行距35 cm+35 cm和种植4行, 行距20 cm+30 cm+20 cm, 以上均可替代传统的“双二零”模式。

References

- [1] Sichuan Provincial Agricultural Department (四川省农业厅). Sichuan Agricultural Statistical Yearbook (四川农业统计年鉴), 2011. pp 173–176 (in Chinese)
- [2] Wang M-J(王明杰), Fang Y-P(方一平). On fundamental elements and drive capacity of economic development in hilly regions of Sichuan province. *J Mount Sci* (山地学报), 2008, 26(6): 707–713 (in Chinese with English abstract)
- [3] Yong T-W(雍太文), Ren W-J(任万军), Yang W-Y(杨文钰). The connotation characteristic and cultivation technique of the new cropping pattern of wheat/maize/soybean tricropping system on dryland. *Gengzuo yu Zaipei* (耕作与栽培), 2006, (6): 48–50 (in Chinese)
- [4] Tang Y-L(汤永禄), Li Z-S(李朝苏), Yu X-F(余秀芳), Mo T-X(莫太相), Shu Z-G(舒泽刚). The assemble of mechanical sowing trip wheat and demonstration effect in southwest dry land. *Gengzuo yu Zaipei* (耕作与栽培), 2010, (4): 60–61 (in Chinese)
- [5] Fan G-Q(樊高琼), Yang W-Y(杨文钰), Ren W-J(任万军), Zheng T(郑亭), Yong T-W(雍太文), Wang X-C(王小春), Chen M-X(陈明祥), Bai W-J(白文进). Effects of different bandwidth on the yield and border effect of relaying wheat. *J Sichuan Agric Univ* (四川农业大学学报), 2009, 27(2): 133–136 (in Chinese with English abstract)
- [6] Zheng T(郑亭), Fan G-Q(樊高琼), Wang X-F(王秀芳), Wu Z-W(吴中伟), Yang W-Y(杨文钰), Mao S-M(毛树明), Sun W-J(孙万军), Song Z-Q(宋宗奇). Effect of tillage management, sowing depth and soil-covering on the seedlings quality of mechanical sowing wheat under intercropping condition. *Trans CSAE* (农业工程学报), 2011, 27(5): 164–168 (in Chinese with English abstract)
- [7] Fan G-Q(樊高琼), Li J-G(李金刚), Wang X-F(王秀芳), Zheng T(郑亭), Guo X(郭翔), Chen Y(陈溢), Wu Z-W(吴中伟), Yang W-Y(杨文钰). Lodging resistance of winter wheat in response to nitrogen and planting density and border effect under relay intercropping condition. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2012, 38(7): 1307–1317 (in Chinese with English abstract)
- [8] Zhao B-Q(赵秉强), Yu S-L(余松烈), Li F-C(李凤超), Yu Z-W(于振文). Study on the edge effect in winter wheat: II. The correlation of planting density and the edge effect in winter wheat. *Gengzuo yu Zaipei* (耕作与栽培), 1997, (5): 12–16 (in Chinese)
- [9] Wang X-C(王小春), Yang W-Y(杨文钰), Fan G-Q(樊高琼). Effects of wheat different planting density and field arrangement on quality of the seedling of maize and intercropping population yield. *J Southwest China Normal Univ* (西南师范大学学报), 2010, 35(1): 63–27 (in Chinese with English abstract)
- [10] Liu Y-J(刘印杰), Feng L-Z(冯兰芝). The effect of wide and narrow spacing row planting on individual development and yield. *Henan Agric Sci* (河南农业科学), 1997, (10): 8–9 (in Chinese)
- [11] Yang W-P(杨文平), Guo T-C(郭天财), Liu S-B(刘胜波), Wang C-Y(王晨阳), Wang Y-H(王永华), Ma D-Y(马冬云). Effects of row spacing in winter wheat on canopy structure and microclimate in later growth stage. *J Plant Ecol* (植物生态学报), 2008, 32(2): 485–490 (in Chinese with English abstract)
- [12] Ding R-X(丁瑞霞), Jia Z-K(贾志宽), Han Q-F(韩清芳), Ren G-X(任广鑫), Wang J-P(王俊鹏). Border effect and physiological characteristic response of foxtail millet to different micro-catchment strip shapes in semiarid region of south Ningxia. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2006, 39(3): 494–501 (in Chinese with English abstract)
- [13] Rich P A. Influence of cultivar, row spacing, and number of rows on yield of wheat plots. *Agron J*, 1973, 65: 331–333
- [14] Chen Y-H(陈雨海), Yu Y-G(李永庚), Yu S-L(余松烈), Yu Z-W(于振文). Border effect and standardization of cropping patterns of wheat. *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2003, 23(2): 68–71 (in Chinese with English abstract)
- [15] Liu A-N(刘安能), Liu Z-G(刘祖贵), Zhou X-G(周新国), Meng Z-J(孟兆江), Chen J-P(陈金平). Study on edge effect and ecological effect in system of winter wheat intercropping the cotton. *J Mount Agric Biol* (山地农业生物学报), 2005, 24(6): 471–476 (in Chinese with English abstract)
- [16] Zhao B-Q(赵秉强), Yu S-L(余松烈), Li F-C(李凤超), Yu Z-W(于振文). Studies on correlation of strip type population and yield in wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2000, 26(3): 278–284 (in Chinese with English abstract)
- [17] Chen Y-H(陈雨海), Yu S-L(余松烈), Yu Z-W(于振文). Relation between amount or distribution of PAR interception and grain output of wheat communities. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(5): 730–734 (in Chinese with English abstract)