

关中灌区间作套种的带型研究*

杨春峰 成升魁

(西北农业大学农学系)

摘 要

在陕西关中平原较高水肥条件下, 间作套种的产量、产值和产能分别比单作复种增加10—15%、14%和10%。

间作套种, 带型是关键。宽带型中有的无间套优势, 有的优势甚小。模糊综合评判表明, 窄带型中, 小麦玉米两茬套种, 2.5尺带较佳, 小麦玉米和大豆三茬间套, 3.5尺带最优。

本文还讨论了影响小麦产量的边际效应、实播面积和玉米对带型反应的敏感性, 以及间作大豆的光竞争等问题。

关键词 间作套种; 带型; 边际效应; 光竞争

前 言

关中是中国农业的发祥地, 也是后稷“教民稼穡”的地方, 历史上早有间作套种的记载。清代兴平人杨岫在其《修齐直指》中明确谈到大蓝、小蓝、谷子一年三熟和粮菜的套种技术, 并且赞道“乃人多地少、救贫济急之要法也”。

关中灌区自然条件比较优越, 常年降雨量600—700毫米, 年平均气温12℃, >10℃积温4000—4300℃, 土壤为褐色土, 土层深厚, 适于栽培小麦、玉米、棉花、果树、蔬菜等多种作物。农作物种植模式主要为小麦—玉米, 一年两熟, 但农事农时非常紧张, 且随着新品种推广与地力水平不断提高, 常易导致迟种迟收、恶性循环。西安以西一带尤为突出, 以致冬小麦播期往往推迟, 三类苗增多, 玉米生育后期, 常遇阴雨低温, 严重影响产量。实践证明, 发展间作套种, 以小麦/玉米或小麦/玉米/大豆代替小麦—玉米, 是解决恶性循环的最有效途径。

我们自1976年起至1984年的九年中, 主要围绕间套带型问题, 对不同带型中的作物结构、田间配置、种间关系、技术措施等一系列问题进行了研究。试验区面积为10亩。后期边试验、边在校外两个试验基点上进行生产示范, 结果表明, 带型是关键, 只要带型合适, 技术措施得当, 一般都能得到明显的增产效果。

*本文根据历年试验资料整理而成。对先后部分参加试验工作的同志, 在此顺致谢意。

本文于1985年10月7日收到。

一、不同带型的小麦产量保证率

小麦是陕西关中第一位粮食作物,在间套系统中必须尽可能保证小麦产量。由表1可知,窄带型的小麦产量一般都能得到保证,其中以3.5尺带保证的最佳(保证率为107.6%);宽带型中除7尺带小麦产量可得到保证外,其他带型都不能保证。究其原因,关键是小麦总边际效应值的有限性和空带较宽、实播面积相对降低。宽带型预留空

表1 不同带型的小麦产量保证率

带型(尺) 项目	窄 带 型				宽 带 型			
	2.0	2.5	3.0	3.5	7.0	8.0	9.0	12.0
空带宽度(尺)	1	1	1	1	2	2	3	3
实播面积(%)	75	80	83	85.7	73.6	81.3	72.2	79.2
试验年次数	5	5	5	5	6	6	6	6
平均产量(斤/亩)	780	789	774	834	729	680	616	679
对照产量(斤/亩)	775	775	775	775	727	727	727	727
保证率(%)	100.6	101.8	99.9	107.6	100.3	93.5	84.7	83.4

带相对较宽,其少种的小麦产量损失大于边际效应的补偿值,导致产量减少和保证率下降。相反,窄带型预留空带较窄,边际效应值足够补偿空带少种的产量损失,表现不减产或略有增产(表2)。另外,宽带型实播面积一般皆低于80%,也是不能保证小麦产量的重要原因。由表2亦可看出,小麦边际效应值一般变动在100—200%之间,宽带型平均为165.4%,窄带型为129%,即分别相当于对照1.7行和1.3行的产量。宽带型空带内少种小麦3—5行,边际效应补偿率仅48%,自然很难弥补少种小麦产量损失;窄带型空带仅少种1行,边际效应补偿率为130%,容易做到小麦不减产或略有增产。所以,我们认为,要保证间套小麦产量,边际效应值必须能补偿空带少种的产量损失和实播面积达80%以上;带型宜窄不宜宽,空带宜小不宜大。

根据我们3—5年测定结果,小麦边际效应的涉猎范围为3—4行,以边一行最明显,向内依次递减(图1)。据对边际效应值统计分析得出:窄带型的模式为: $y = 81.64 - 45.0x + 69x^2$ (图2),据此所推论的边际效应值及其涉及的边际范围,与实测结果基本相符。

还需指出,空带宽度是边际效应和实播面积的制约因素,由图3可见,带型一定,空带愈宽,带内小麦行数减少,实播面积相应降低,虽然边际效应值较大,但因空带内小麦行数减少较多,最终导致小麦产量上不去。

表2 不同带型小麦边际效应值补偿率 (3—4年平均)

带型(尺)	项目	空带宽度(尺)	边际效应值(%)	边际效应值折对照产量行数	空带少种的小麦行数	边际效应值补偿率
宽 带 型	7.0	2.0	114.1	1.14	3	57.0
	8.0	2.0	194.4	1.94	3	65.0
	9.0	3.0	201.6	2.0	5	40.0
	2.0	3.0	148.6	1.50	5	30.0
平均			165.4	1.65		48.0
窄 带 型	2.0	1	123.7	1.24	1	124
	2.5	1	109.9	1.10	1	110
	3.0	1	127.2	1.27	1	127
	3.5	1	136.6	1.37	1	137
	4.0	1	145.6	1.5	1	146
平均			128.6	1.3		130

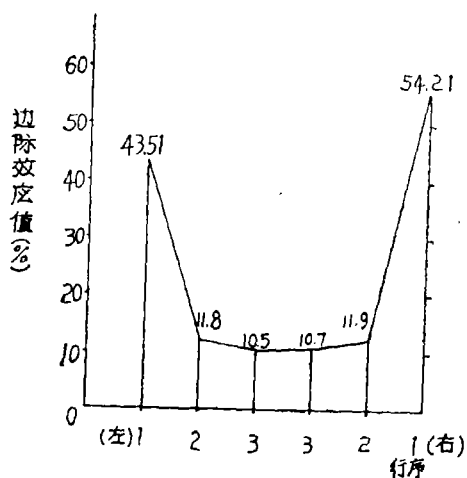


图1 窄带型边际效应值

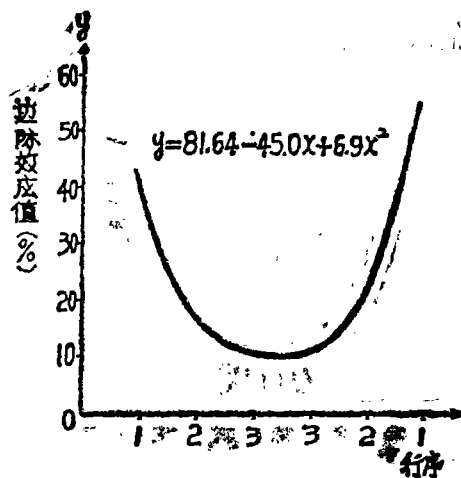


图2 窄带型边际效应值拟合曲线

二、玉米对带型反应的敏感性

玉米是陕西关中第二位的粮食作物,在保证小麦产量的基础上力争套种玉米高产,不仅需要,也有可能,并已为研究和生产实践所证实。

套种玉米由于前期有效地利用了光热资源,后期又避开低温影响,既提前成熟15—

20天，有利于小麦适时播种，而且籽粒饱满，增产显著。中等以上地力一般比复种晚玉米每亩增产80—150斤，增产幅度常达15—20%（平均19.6%）。

然而，套种玉米增产也是有条件的，并与带型密切相关。我们知道，玉米是植株高

大的C₄植物，个体生育需要较大而合理的营养面积，对因带型变化而引起的株行距配置是否合理反应异常敏感。在原2尺等行距基础上适当放大行距、缩小株距，由于玉米本身有一定的适应性和调节能力，产量并不减少。但超过一定限度，就要减产。行距越宽株距越小，减产幅度越大。根据试验结果，玉米行距放大到3尺不减产，3尺以上开始减产，尤其双行种植的宽带型，大行过宽（4—10.5尺），小行过窄（1.0—1.5尺），株距也相应变小，使局部地带内的群体系数增大，种内竞争加剧，产量大幅度下降，到12尺带产量竟下降达50%。据对表3资料统计分析得出带距与产量的回归方程为： $y = 968.6 - 80.0x (r = -0.93^*)$ ，即行距每增加一尺，产量平均下降80斤。可见，从提高玉米产量看，行距宜窄不宜宽，以2.5—3.0尺最佳。

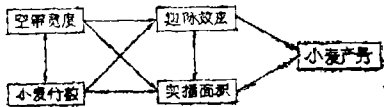


图3 空带宽度与小麦产量关系示意图

表3 窄带型玉米产量结果（斤/自然亩）

带 型	1980年	1981年	1982年	1984年	平 均	比对照增减(%)
2.0尺	682	731	1002	742	789	14.3
2.5尺	718	823	869	824	808	17.1
3.0尺	636	658	808	744	711	3.0
3.5尺	525	582	837	778	680	- 1.4
4.0尺	549	597	732	735	653	- 5.4
CK	510	800	798	652	690	

表4表明：带距相同，亩株数与株距呈负相关，单株产量与株距呈正相关，亩产量与株距呈负相关。数理统计分析得出：株距与亩株数的经验公式为： $y_1 = 10715.2x^{-0.8}$ ；株距与单株籽粒产量（斤）经验公式为： $y_2 = 0.1097x^{0.43}$ ；株距与产量回归模型为： $y_3 = 760.81 - 26.23x (r = -0.96^{**})$ ，即株距每增加一寸，产量减少26.28斤。根据经验公式亦可预测株距变化引起群体和个体的变化状况。由表4还可知，凡株距在7寸以内的，产量均超过600斤。株距缩小产量增加，主要是由于群体密度加大之故。但群体过大，个体生育不良，在恶劣天气条件下，常因倒伏而造成毁灭性的产量损失。因此，从亩株数、单株产量和亩产量三因素综合分析，认为双行种植合理株距范围为5—7寸；单行种植的为8—9寸。这样，即既可保证足够的群体密度，又可使个体生长较

表4 间套玉米株距试验结果 (1977—79)

产量 X株距(寸)	亩株数 Y_1	单株产量(籽)(斤/株) Y_2	亩产量(斤/亩) Y_3
3	4321	0.178	656
4	3599	0.191	638
5	3026	0.212	636
6	2682	0.245	626
7	2343	0.249	607
8	1921	0.292	554
9	1853	0.290	541
10	1708	0.298	493
12	1470	0.300	417
CK	2578	0.295	789

注：各处理均为七尺带双行种植，带比2:5。

好，达到个体与群体的统一。

在2500株/亩的常规群体下，单行种植最佳带型(2.5—3.0尺)的株距恰好为8—9寸，两者不谋而合。

三、带型对大豆生育的影响

我们套种的大豆试验大多是小麦收后在玉米空带内免耕播种的，既是套种又是间作，玉米大豆共生期很长，使大豆的生态环境极为不利，始终处于劣势种地位，生育受到严重影响。受影响的程度与带型有关。

表5 不同带型大豆产量比较 (斤/自然亩)

带型(尺) 产量	窄带型					宽带型				
	2.5	3.0	3.5	4.0	CK	7	8	9	12	CK
	37.0	41.6	62.7	60.9	234.8	89.5	106.5	121.5	162.5	315

从表5不难看出，窄带型大豆产量远低于带宽型。窄带型大豆产量低与大豆所处的光照条件恶劣有关。玉米对光竞争的强大优势，截获了50—70%的光照强度，达到低层

大豆上部的光强仅占自然光强的9.5—26.5% (表6)。经过大豆光合冠层的吸收,到达大豆底部的光强就更加微弱(1.5—5.5%)。这说明光照条件对大豆是极端不利的。但从另一方面说,间作大豆减少了漏光损失(14.6%),对提高光能利用率又有积极意义。

表6 玉米大豆间作窄带型不同冠层光强分布率 (1983)

带型(尺)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	大豆CK
项目						
玉米顶部	100	100	100	100	100	—
玉米中上部	54.7	57.7	57.9	60.5	70.5	—
大豆顶部	—	9.5	11.7	24.8	26.5	100
大豆下部	14.6(玉米)(下部)	5.5	2.3	1.5	1.6	3.2
大豆冠层吸收	—	4.0	9.4	23.3	24.9	96.8

光照条件恶劣引起大豆在植株性状上的反应是:茎秆柔弱纤细,蔓生匍匐,向光性生长;主茎节数减少,结荚数减少,秕荚数增多,根条数和根瘤数减少,最终使产量降低(表7)。据对资料分析,带距与大豆产量回归关系为: $y = -50.44 + 25.22x$ ($r = 0.93^*$),即窄带型带距每增加1尺,产量平均增加25.22斤。可见,单从间作大豆考虑,带型宜宽不宜窄,在窄带型中为了适当提高大豆产量,以3.0—3.5尺为好。

表7 窄带型大豆生育状况与产量 (1983)

带后性 (尺) 状	株高 (cm)	茎粗 (cm)	主茎节数	株荚数	株秕荚数	单株根 条数	单株根 瘤数	产量(斤/ 自然亩)
2.5	97.9	0.50	11.7	23.4	2.3	22.2	42.2	37.0
3.0	94.7	0.58	12.0	24.8	1.6	23.3	24.8	60.9
3.5	93.0	0.61	11.4	26.6	2.4	27.7	33.0	105.7
4.0	87.3	0.57	11.5	26.4	3.2	28.7	28.6	77.5
CK	78.3	0.78	12.3	38.1	1.9	36	41.5	234.8

另一方面,我们也应看到玉米大豆生物学特性异质差别大,地下部根系之间互补作用显著。在水分供应充足条件下,根部发生的物质交换又有可能相互促进。表8是我们的初步试验结果,证明玉米和大豆根系之间确有 P^{32} 营养元素的交换;两作物根系都具有分泌磷酸的能力,且都可被相邻植株吸收利用,但玉米根系分泌磷酸盐能力大于大豆,而大豆吸收磷酸盐能力大于玉米。因此两者间作,互相取长补短,相得益彰。另

外,大豆还可通过残枝落叶和根瘤腐解,给相邻玉米或下茬作物带来有益作用。如表9所示,与大豆毗邻的玉米产量比与玉米毗邻的产量平均每亩高46斤,增产10.3%。

由此看来,套种大豆虽然受到玉米压抑而严重减产,但如果带型选择合适,常常是在不影响或轻微影响玉米产量的前提下,所取得的额外收入,对增加经济效益和改善食品结构有一定作用,在人多地少不宜单种大豆的陕西关中地区,还是可以提倡的。

表8 玉米大豆间作根系 P^{32} 交换(脉冲数/分)(1984)

器官 处理	根部	茎部	叶部	豆荚	雄穗	备 注
玉米	4932.6	1125.3	3863	—	3944.7	根系完全隔离情况下所测到的脉冲数纯为逸散作用。
大豆	236.8	219.3	199.3	403.8	—	
大豆	8391	9652	9325	9008	—	
玉米	170.4	147.7	152.0	—	155.3	
玉米	—	—	3227.5	—	3746.3	
玉米	—	—	59.5	—	81.0	
大豆	6270	7325	6664	7087	—	
大豆	64.0	96.5	98.0	61.2	—	
玉米 (隔离)	5970	4323	6780	—	4978	
大豆	50.6	46.7	53.0	51.5	—	

表9 分别与大豆和玉米相毗邻的二茬玉米产量(斤/亩)(1977—78)

毗邻 作物	二茬玉米 带型	不同带型的二茬玉米产量			
		8尺	9尺	12尺	平 均
大 豆		579.0	506.5	396.5	494.0
玉 米		552.0	455.5	336.5	448

四、衡量带型的综合指标

综上所述,单从间套系统中的某一种组成成分出发是无法确定最佳带型的。就小麦而言,宜采用边际效应值高、实播面积大的3.5尺带;对玉米来说,带型宜窄不宜宽,而大豆又相反,这就需要用综合指标加以科学地评价。

为了充分利用资料信息，合理而全面地综合评定带型，我们采用了表10的综合指标，由表中可知，无论是哪项指标，窄带型都优于宽带型。

为了科学地评定最佳窄带型，又鉴于这些指标性状的“模糊性”，我们采用模糊综合评判法进行分析。表11是窄带型的几个综合指标。表12是各项指标的评分标准。考虑到各方面的需要，确定各项指标的权重分别为：

- $X_{1:}$

$P_1 = 17$

$X_{5:}$

$P_5 = 12.5$
- $X_{2:}$

$P_2 = 14$

$X_{6:}$

$P_6 = 11.5$
- $X_{3:}$

$P_3 = 8$

$X_{7:}$

$P_7 = 13.5$
- $X_{4:}$

$P_4 = 12.5$

$X_{8:}$

$P_8 = 11$

表10 不同带型组成作物的产量、产值和产出能 (1980—84)

带型 (尺)	四年平均产量 (斤/亩)				亩产值 (元)	产出能 (千卡/亩)	价值优势 (MA)	土地当量值 (LER)
	头茬 小麦	二茬 玉米	三茬 大豆	混合 产量				
2.0	780.0	789.3	—	1569.3	224.1	3059966.4	14.66	1.07
2.5	788.5	808.5	—	1597.0	227.8	3114454.1	18.81	1.09
3.0	773.8	711.5	41.6	1526.9	229.1	3014631.1	8.81	1.04
3.5	833.8	680.5	62.7	1577.0	243.6	3110920.6	18.04	1.08
4.0	852.3	653.3	60.9	1566.5	243.1	3087143.5	15.9	1.07
7.0	698.5	579.0	89.5	1367.0	218.2	2721526.0	-16.42	0.98
8.0	706.0	499.0	106.5	1311.5	216.5	2569510.2	-24.06	0.9
9.0	616.0	458.0	131.5	1205.5	205.2	2433917.0	-45.04	0.82
12.0	677.5	340.5	162.5	1180.5	213.7	2237906.3	-53.43	0.80
CK(单作复种)	775.3	690.0	274.0	1465.3	212.2	2852934.2	—	—

注：价值优势 = 间套作产量的价值 × (LER - 1) / LER；
土地当量值 = 间套作混合产量 / 单作产量之和。

充分地利用表11的已知信息，将表11的原始评分标准进行函数连续化，建立各项指标的评分标准的连续函数，我们采用最简单的连续化公式：

$$u(x) = \begin{cases} u_0 & (x < b_0) \\ v_{i-1} + \frac{v_i - v_{i-1}}{a_i - a_{i-1}}(X - a_{i-1}) & (b_{i-1} \leq x \leq b_i) \\ u_{n+1} & (i = 1, 2, \dots, n) \\ & (x > b_n) \end{cases}$$

其中

$$bi \triangleq \begin{cases} a_0 - \frac{u_1 - u_0}{u_2 - u_1} (a_1 - a_0) & (i = 0) \\ a_i & (i = 1, 2, \dots, n-1) \\ a_n + \frac{u_{n+1} - u_n}{u_{n+1} - u_{n-1}} (a_{n+1} - a_n) & (i = n) \end{cases}$$

表11

窄带型各组成作物的综合指标

带型 指标	Y ₁ 2尺	Y ₂ 2.5尺	Y ₃ 3.0尺	Y ₄ 3.5尺	Y ₅ 4.0尺
X ₁ 头茬小麦产量	780.0	788.5	773.8	833.8	852.3
X ₂ 二茬玉米产量	789.3	808.5	711.5	680.5	653.3
X ₃ 三茬大豆产量	---	—	41.6	62.7	60.9
X ₄ 混合产量	1569.4	1597.0	1526.9	1577.0	1566.5
X ₅ 亩产值	224.1	227.8	229.1	243.6	243.1
X ₆ 价值优值	14.66	18.81	8.8	18.04	15.9
X ₇ 产出能	3059966.4	3114454.1	3014631.1	3010920.6	3087143.5
X ₈ 土地当量值	1.07	1.09	1.04	1.08	1.07

表12

各项指标的评分标准

级分 指标	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
5分	>830	>800	>60	>1570	>235	>18	>3100000.0	>1.08
4分	800—830	760—800	50—60	1560—1570	232—235	15—18	3078500— 3100000.0	1.07—1.08
3分	770—800	720—760	40—50	1550—1560	229—232	12—15	3057000— 3078500	1.06—1.07
2分	740—770	680—720	30—40	1540—1550	226—229	9—12	3035500— 3057000	1.05—1.06
1分	710—740	640—680	20—30	1530—1540	223—226	6—9	3014000— 3035500	1.04—1.05
0分	<710	<640	<20	<1530	<223	<6	<3014000	<1.04

据此, 求出各项指标和连续函数的 $uj(x_{ij})$ 参数, 最后根据

$$y = \sum_{i=1}^6 P_j u_j(x_{ij}),$$

求出各带型的综合评分为: $y_1 = 275.97$, $y_2 = 408.24$, $y_3 = 161.27$, $y_4 = 463.14$, $y_5 = 414.15$ 。综合评定结果: 窄带型的最佳带型为3.5尺带, 4尺带和2.5尺带次之。所以, 在陕西关中地区小麦玉米两茬套种时最好采用2.5尺带; 小麦、玉米、大豆三茬间套时, 3.5尺带最为适宜, 这是指地力中等以上、亩产量较高而言的。如果地力较低, 产量水平较低或安排作物结构、比重的出发点不同, 那就另当别论了。

五、优化带型实施的关键技术措施

带型确定了, 尚无相应的技术措施加以保证, 很难发挥优化带型的应有潜力。采用2.5尺或3.5尺带的关键技术措施有以下几点:

1. 小麦实行规格化播种

小麦是间套系统中的第一茬作物, 播种时如不严格控制, 带型走了样, 就会直接影响套种玉米和大豆的规格化种植。因此, 最好采用播种机条播, 严格控制行距和播幅, 按规定预留空带, 播行端直, 深浅一致。如用手扶拖拉机牵引七行条播机播种, 首先将行距调整为5寸, 若带型定为2.5尺带时, 可把第五行排种孔塞住, 每趟播一个半条带, 来回三个条带; 如果选定为3.5尺带, 最好把第七行排种孔塞住, 每趟播一个条带, 并要严格掌握往返相邻交界处的预留空带宽度不超过1尺。

2. 把好套种玉米播种关

首先应该掌握套种时机, 根据我们多年观测, 小麦生长后期, 根的侧向延伸距离为0.7—0.8尺, 造成的水肥亏空带为1.0—1.2尺。此时, 小麦正值生育盛期, 水肥竞争优势强大。若玉米过早地套种在亏空带上, 很难出苗和全苗, 即使勉强出土, 也会受到小麦的强烈压抑, 苗黄苗瘦, 先天不足, 难以争取高产。最好待小麦进入腊熟期, 基本上不再从土壤中吸收水肥, 墒情合适时及时套种。一般在小麦收获前7—10天进行, 待玉米出苗不久, 就收割小麦, 既可避开或基本避开种间竞争, 又不致于遭受小麦收割时的践踏, 易苗全苗壮。套种前不必深挖空带, 以免影响小麦的边际效应。播时可人工开沟或点播, 亦可用单行条播机免耕播种。墒情不好时, 要及时浇麦黄水, 为玉米大豆播种创造良好水分条件。

3. 争取套种大豆一次全苗

套种大豆亩群体株数本来就很不够, 如果播种时墒情不好, 播种质量欠佳, 就会严重缺苗, 影响大豆产量。因此, 播种时必须趁墒抢播。可用单行、双行条播机免耕直播, 播种同时施磷肥。2.5尺带可播一行大豆, 3.5尺带播3行。播后用十齿耙等覆土, 以利出苗, 争取全苗。此外, 还应选择品种, 注意防虫害和兔害等。

参 考 文 献

- [1] 刘巽浩: 国外间混套作的研究, 《世界农业》, 1980, 第1期。
[2] ICRISAT: Proceeding of the International Workshop on Intercropping, Hyderabad, india, 10-13, Jan., 1979.

Studies on Strip Patterns of Relay—intercropping in the Irrigated Areas of Guanzhong Plain of Shaanxi Province

Yang Chunfeng

Cheng Shengkui

(The Agronomy Department of the Northwestern Agricultural University)

Abstract

Under the conditions of higher soil fertility and moisture in Guanzhong Plain, the relay-intercropping productivity is much higher than that of the sequential cropping with its yields, productive value and productive energy increased by 10-15%, 15% and 10% respectively.

Strip patterns are the key link to the relay-intercropping. Some wide-strip patterns may have no sequential cropping advantages but others have a few advantages. Results from Fuzzy Multi-factorial Evaluation indicated that the relay-intercropping of wheat and corn with the strip of 2.5 chi was better and the relay-intercropping of wheat/corn/soybean with the strip of 3.5 chi was the best in the narrow strip patterns.

This paper deals with marginal effect, actual sown areas and width of empty bands affecting the yields of wheat. Also, this paper discusses the sensibility of corn responding to strip patterns and competition for light with soybeans in the relay-intercropping system, etc.

Key words: intercropping, strip patterns, marginal effect, competitive for light