

抛秧水稻生长发育与产量形成的生态生理机制

III 秧苗地面水平向上的分布格局及其生态生理效应*

戴其根¹ 许轲¹ 张洪程¹ 苏宝林² 霍中洋¹ 周家麟³

(¹扬州大学农学院, 江苏扬州 225009; ²中国农业大学, 北京 100094; ³江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏苏州 215155)

提 要 抛秧稻无株行距规格, 因而秧苗在田间水平向上的分布明显有别于手插稻, 这是两种稻作方式原初的、根本性的分异点之一。研究表明, 抛秧稻秧苗水平向上的分布总体虽呈均匀随机型, 但按 Dirichlet 棋盘形嵌图方法得到的具体各穴所占的凸多边形形状、面积各异, 整体与局部呈分形特征, 这种分布格局直接影响植株的空间分布, 强化了个、群体的不整齐性, 加上垂直方向上产生的植株生育效应, 使冠层错落, 冠层小气候温、光、湿、风等有所改善。在水平分布上的随机性, 局部产生了大小不等无苗空档, 空档周围的植株生长有一定的调节补偿作用, 只要空档见方面积小于 1000 cm^2 对群体产量不会产生影响。

关键词 抛秧稻, 水平分布, 分形, 生态生理, 补偿作用

Ecophysiological Mechanism of Growth, Development and Yield Formation of Broadcasted Rice Seedlings

III The Characteristics of the Spatial Distribution of Plant on Level and Its Ecophysiological Effects

DA IQ i-Gen¹ XU Ke¹ ZHANG Hong-Cheng¹ SU Bao-Lin² HUO Zhong-Yang¹
ZHOU Jia-Lin³

(¹Agricultural College of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009; ²China Agricultural University, Beijing 100094; ³Agricultural Institution of Taihu Region, Suzhou, Jiangsu 215155, China)

Abstract Spatial distribution of plant positions on the level is one of primordial foundational characteristics in the broadcasted rice seedlings. It is characterised by quasi-even random on level. It determines mainly the spatial distribution of plant. Additional effect of growing by the perpendicular, canopy height relative uneven. The main elements of canopy micro climate included light, temperature, humidity and wind are improved. In addition to, the distribution resulted in various blanks in field, but the plant around blank can grow regulatively and compensatively. The 1000 cm^2 of blank area (square) eliminated was satisfied with need of high yield cultivation.

Key words Broadcasted rice seedlings, Spatial distribution on level; Fractal, Ecophysiology; Compensation

* 国家自然科学基金(30070436)及江苏省“九五”应用攻关项目(BE96318-2)资助
收稿日期: 1999-12-27, 接受日期: 2000-12-13

Received on: 1999-12-27, Accepted on: 2000-12-13

前两文报道了抛秧稻活棵立苗特点、秧苗垂直向分布格局及其生态生理效应^[1, 2], 在群体起点构建上还有一个与抛秧稻截然不同的特点——秧苗在田间地面水平向上的分布。以往虽然对抛秧苗在水平向上分布进行了一定研究^[3, 4], 但均局限在密度的匀度上, 缺乏从理论上进行水平空间分布格局类型分析, 也缺乏空间分布格局所产生的生态生理效应研究, 故无法对由经验提出的匀度指标进行论证与优化。因此有必要对此加以研究, 为抛秧稻高产栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

在以往试验基础上^[1, 2], 特设计如下二组试验。

1.1.1 田间水平地面上分布格局试验 在设置 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 万穴/666 7m² 6 级密度基础上, 选择株型迥异的武育粳 3 号(偏散)及武 9516(挺直)二个品种, 以每穴 2 本和 1~6 本(平均 3.1)二种秧苗类型抛秧, 并以每穴 2 本正方形洗根手插为对照, 共 36 个处理, 每处理小区 20.01 m², 无重复。

1.1.2 抛栽均匀度试验 本试验供试品种为“早单八”和“秀水 04”, 采用塑盘湿润育秧, 抛栽叶龄 4 叶期, 在“早单八”、“秀水 04”每 666 7m² 抛栽 25000 穴条件下, 通过疏苗设置了空档直径 32.7、48.9、65.3、81.7 cm 4 个无苗空白处理以及不疏苗的对照均匀处理, 空档的产生是先按 16.3 cm × 16.3 cm 正方形格局模拟抛秧抛栽, 再疏苗产生空档, 其中空档直径 32.7、48.9、65.3、81.7 cm 分别于 3 穴 × 3 穴、4 穴 × 4 穴、5 穴 × 5 穴、6 穴 × 6 穴为单位的中心疏苗 1(1 穴)、4(2 穴 × 2 穴)、9(3 穴 × 3 穴)、16(4 穴 × 4 穴)穴, 疏苗量为设计密度的 9.6%, 产生的空档在小区内均匀且平衡分布。小区面积 13.34 m²(共 500 穴, 疏苗 48 穴), 重复 3 次。除处理因素外, 其它管理均按高产统一进行。

1.2 有关测定与分析方法

1.2.1 常规与生理测定 方法同前文^[1], 并结合有关综合高产试验测定了孕穗期冠层内的通风透光特征, 测定按农业气象观测规范进行^[5]。

1.2.2 统计分析 本试验采用 Mead 的分析方法并作必要的改进^[6], 其原理如下:

A、关于抛秧稻每穴所占面积的定义

在抛秧稻的特定土地面积上, 以穴为基本单位, 分划给每穴的面积(即每穴占有的面积)应满足 4 个条件: 穴的位置应位于该穴所占有的面积内; 一穴对应一占有面积; 穴占有的面积相互间是互斥的, 即无重叠; 所有穴占有面积总和应等于且恰好等于该特定面积的总和; 该穴所占有的面积边界离该穴位置是最近的, 即占有的面积是最小的。由这 4 个条件按几何学原理可以产生每穴一个的凸多边形系统, 且某穴凸多边形的边就是该穴与其能发生关系的相邻穴(发生关系与否取决于上述第 4 个条件)之间的垂直平分线, 构成的图形如图 1, 这图形称 Dirichlet 棋盘形嵌图(Dirichlet tessellation)^[7, 8]。

B、描述凸多边形形状与穴位置的有关参数及计算方法

凸多边形面积 S

按凸多边形的坐标系位置, 通过辛普森(Simpson)公式计算 S, 计算式为:

$$S = \left| \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \right|$$

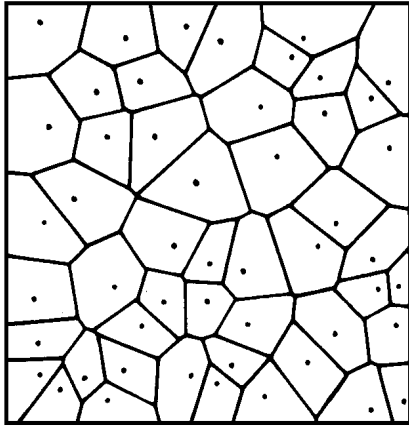


图1 抛秧稻每穴所在面积的Dirichlet 棋盘形嵌图
 Fig 1 The Dirichlet tessellation of area allocated to the hill in the broadcasted rice seedlings (图中的点即为抛秧稻的穴所在位置) (The point was the location of hill)

其中, $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 为凸多边形顶点依次的坐标值, 并规定 $y_0 = y_n, y_{n+1} = y_1$, 如在坐标系中按凸多边形顶点顺时针方向计算, S 为负值; 按逆时针方向, S 为正值, 所以上述公式取绝对值。

凸多边形形状偏圆率 E (Eccircularity)

定义穴位置为 H , 凸多边形的顶点为 V_i 及重心点为 C , 按多边形几何学原理, 计算:

重心点 C 到各顶点的平均距离

$$D = \frac{\sum W_i [CV_i]}{\sum W_i}$$

其中权值 $W_i = \pi \cdot$ 顶点 V_i 的内角

权值 W_i 确定原则: 如果凸多边形某一顶点由另一直线相截, 产生的两个新内角, 这两个新内角权值之和仍等于原顶点的权值, 这将保证某一穴由一组邻穴取代后 (即原某顶点变成二个以上

的顶点) 对 D 值的影响较小。

$[CV_i]$ 为凸多边形重心到顶点 V_i 的距离, $[CV_i] = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}$

$$x_c = \left[\sum_{i=1}^n x_i \right] / n, y_c = \left[\sum_{i=1}^n y_i \right] / n$$

偏圆率 $E = D \sqrt{(\pi/S)}$

如 $E = 1$, 即为圆, 一般 $E < 1$ 。

离心值 A (A bcentricity)

$$A = [CH] / D$$

其中 $[CH]$ 为穴 H 位置与重心 C 的距离。

如穴位置正好在凸多边形重心上, 则 $A = 0$; 当穴趋于凸多边形顶点时 A 趋于 1。

Dirichlet 棋盘形嵌图作图, 可先按 Lawson 判别法则作出 Delaunay 三角图 (Delaunay triangulation) (图 2), 再以各三角形垂直平分线交点连结而成。本试验中各密度处理的 Delaunay 三角图在计算机辅助下人工作图, 涉及的所有计算均由计算机完成, 进而以田间水平分布格局有关参数与每穴植株有关性状建立模型

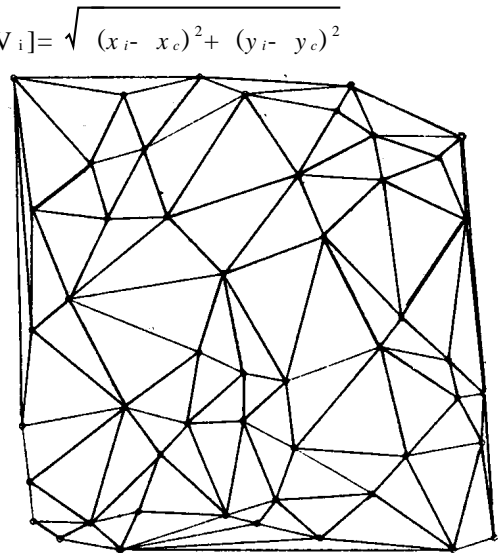


图2 抛秧稻每穴位置的Delaunay 三角图 (与图1相对应)

Fig 2 The delaunay triangulation of hill in the broadcasted rice seedlings (M atch to Fig. 1)

2 结果与分析

2.1 秧苗地面水平向上分布格局

分布格局特点: 植物地面水平向上的分布格局对植物空间结构的形成具有特别重要的意

义^[7]。为了分析抛秧稻丛(穴)水平地面上的分布格局, 首先按Dirichlet 棋盘形嵌图计算各穴占有面积, 以各穴占有的平均面积进行网格化分析^[8], 得到6个密度处理(1.0~3.5万穴/667 m²)的单位网格各秧丛(穴)出现的频数(表1), 并按方差与数学期望的比值进行分布格局类型的数学分析^[8], 结果表明抛秧稻地面水平向上分布格局总体上属均匀随机分布型。

表1 抛秧稻水平地面上分布格局类型*

Table 1 The types of spatial pattern of hills location in broadcasted rice seedlings

密度处理 Density (10 ⁴ hill/667 m ²)	单位网格内各秧丛(穴)频数 Frequency of hill appeared in unit grid area					分布类型 Pattern type	
	0	1	2	3	4		5 (Hill)
1.0	30	66	54	3	2	1	C=0.70 均匀随机
1.5	60	60	40	10	2	1	C=0.95 均匀随机
2.0	42	96	60	6	2	1	C=0.72 均匀随机
2.5	48	126	24	18	3	1	C=0.82 均匀随机
3.0	90	138	42	24	3	1	C=0.91 均匀随机
3.5	96	102	78	18	4	1	C=0.89 均匀随机

* 各密度处理测定典型地段 6m²。The representative sample, 6m² was measured

C= 方差V/数学期望m; 当C<1为均匀随机分布型, 且C-1均匀性越强。

C=Var/Exp; When C<1, pattern type was randomly uniform, and C-1 more uniform.

进一步按Dirichlet 棋盘形嵌图分析抛秧各穴占有面积及形状有关参数(表2), 表明抛秧稻每穴占有的凸多边形面积, 形状各异, 如多边形边数最多为9条, 最少为3条, 所有处理平均边数接近6条, 说明抛秧稻每穴平均与6个邻近穴直接相关联, 而有严格株、行距的人工手插稻每穴与4个(矩形)或6个(似平行四边形)邻近穴直接相关联。由于平均偏圆率、离心值在密度处理间相似, 因而可以推断抛秧稻每穴占有的凸多边形形状以及穴位置与多边形重心的相对距离在密度处理间总体上是一致的, 也就是说抛秧稻密度由低到高, 总体上仅仅每穴占有的面积由多到少, 重心点到多边形各顶点的平均距离由长变短的变化, 这种特性符合局部与整体的分形特征^[8]。分析还表明, 穴占多边形面积、离心值在穴间的变异相对于偏圆率、重心点至多边形各顶点的平均距离要大的多。此外, 每穴占有的多边形面积随密度增加其最大与最小面积的倍数有增大的趋势, 如1.0万穴/667.6m²密度处理, 最大与最小面积比为6.2, 而3.5万穴/667.6m²密度处理为7.1。

2.2 水平地面上分布格局的生态、生理效应

2.2.1 对植株整齐度影响 抛秧稻每穴占有水平地面上的面积各异, 且穴间差异悬殊, 这种分布格局, 直接影响了营养、光能等资源在穴间的分配格局, 因此抛秧稻的生长在穴间呈现出明显的不整齐性。成熟期分析表明(表3), 武育粳3号及武9516两个品种尽管每穴的平均穗数、生物产量、籽粒重抛秧稻与手插稻相近, 但变异系数、变化范围明显扩大, 例如每穴穗数的变异系数抛秧稻比手插稻扩大了1.2~2.3倍, 穴生物量扩大了1.3~4倍, 穴籽粒重扩大了5.5~8.2倍。进一步分析表明, 在单茎水平上的有关性状抛秧稻比手插稻不整齐, 但变异系数、变化范围的扩大远不如穴间那么明显, 例如单茎高度变异系数抛秧稻一般在6~9, 单茎生物量、籽粒数、籽粒重在25~40, 比正方形手插稻高30%~35%。抛秧稻在每穴苗数不等(1~6苗/穴)的情况下抛栽, 对最终不整齐性略有强化作用, 但差异较小。此外, 在本试验中, 武育粳3号、武9516虽株型上有明显差异, 但品种间在整齐度方面无显著差异。

2.2.2 每穴占有面积形状参数与产量的关系 6个密度处理综合分析表明(表4), 按Dirichlet 棋盘形嵌图分析得到的穴占有面积、形状参数均与该穴的穗数、生物产量及籽粒产

表 2 用 Dirichlet 样盘形嵌图分析抛秧稻水平地面上各穴占有面积、形状的有关参数
Table 2 The parameters of polygon allocated to the area of the hill according to Dirichlet tessellation in broadcasted rice seedlings

密度处理 Density 10 ⁴ hill/667m ²	穴占多边形边数 Sides of polygon		面积(cm ²) Area				多边形重心点至各顶点 平均距离 D(cm) Average distance from gravity centre to vertices				偏圆率 E Eccircularity				离心, 值 A Abcentricity		
	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	CV	范围 Range	平均 Mean	CV	范围 Range	平均 Mean	CV	范围 Range	平均 Mean	CV	范围 Range	平均 Mean	CV	范围 Range
	1.0	5.9	4~7	645.5	35.3	200.1~1246.9	17.7	17.2	10.1~23.0	1.3	8.3	1.08~1.73	0.31	55.2	0.08~0.64		
1.5	6.0	4~8	447.2	38.0	118.4~834.7	15.7	21.0	10.9~19.0	1.2	12.1	1.11~2.46	0.30	54.2	0.08~0.57			
2.0	5.8	4~8	303.2	40.2	86.6~538.7	12.9	22.5	7.6~20.4	1.3	10.0	1.17~1.73	0.32	48.5	0.06~0.68			
2.5	5.7	3~8	263.2	34.7	72.9~569.1	11.7	16.2	7.2~16.8	1.2	10.8	1.14~1.86	0.30	53.3	0.03~0.59			
3.0	5.8	4~9	224.3	46.3	70.7~517.9	9.8	21.4	5.5~16.7	1.2	11.7	1.04~1.55	0.29	63.0	0.04~0.94			
3.5	5.9	4~8	197.2	38.2	60.9~432.0	9.6	1.77	5.2~14.1	1.3	12.5	1.00~1.99	0.30	60.0	0.02~0.74			

表 3 不同密度抛秧稻与人工手播稻成熟期每穗数、生物量、籽粒的变异
Table 3 The traits related to yield at different density under the broadcasted and manually transplanted seedlings

品种 Variety	密度 Density	抛秧稻 Broadcasted seedlings						手播稻 Manually transplanted seedlings											
		穴穗数 Ears per hill		穴生物量(g) Biomass per hill		穴籽粒量(g) Grain weight per hill		穴穗数 Ears/hill		穴生物量(g) Biomass per hill		穴籽粒量(g) Grain weight per hill							
		\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV						
武育梗	1.0	18.3	33.9	7~30	93.5	40.2	43.2~195.1	50.5	33.2	24.9~76.1	17.8	14.4	12~21	98.1	10.2	72~109.4	51.8	5.0	39.4~56.9
3号 WYJ	1.5	11.6	35.9	3~20	66.4	42.7	13.7~159.4	32.1	40.2	15.5~65.8	12.2	18.3	8~15	-63.8	17.7	46.4~81.0	33.5	6.8	21.2~43.0
	2.0	9.73	38.6	3~18	52.1	40.1	14.8~118.2	26.0	42.0	6.5~55.8	10.3	26.0	5~14	52.1	25.9	20.9~73.4	27.1	7.9	10.4~40.5
	2.5	9.66	35.8	4~24	44.4	44.2	13.7~90.9	21.4	42.0	7.0~42.5	9.1	29.7	6~17	42.8	22.8	27.9~64.5	22.9	5.3	14.5~34.9
	3.0	8.35	37.5	4~16	36.7	40.8	9.5~80.7	18.6	42.0	5.0~40.6	8.0	21.4	6~12	34.4	31.2	23.7~50.3	18.3	6.1	11.6~31.0
	3.5	8.0	34.4	3~15	35.8	38.3	10.4~77.9	18.1	40.4	5.3~43.0	8.1	22.4	5~11	35.7	23.4	20~45.9	17.4	4.9	9.0~24.7
武 9516W	1.0	13.9	28.8	6~24	94.0	33.7	41.4~189.0	49.7	37.4	17.5~103.1	13.5	23.4	8~17	91.9	21.5	45.3~133.3	44.5	10.4	22.2~65.0
	1.5	11.8	26.3	6~18	70.8	36.7	18.7~110.1	36.3	37.0	7.6~45.6	11.2	13.9	9~13	76.0	16.8	57.1~93.7	36.9	6.5	27.4~45.3
	2.0	9.8	32.2	4~16	59.2	51.4	11.3~124.0	25.1	50	4.9~53.9	9.3	25.7	4~13	58.6	25.1	30.2~79.3	29.2	7.8	13.6~40.1
	2.5	7.9	43.7	3~16	52.3	43.0	15.6~102.3	22.4	44.1	4.6~42.3	7.3	31.1	4~13	45.5	35.4	24.3~69.2	23.3	8.0	12.1~36.2
	3.0	7.3	36.0	3~12	45.9	41.0	12.6~98.4	18.4	40.5	4.5~39.5	7.6	37.5	5~17	42.7	24.8	29.7~63.8	21.1	5.6	11.9~33.4
	3.5	6.3	38.7	2~15	36.7	45.8	5.8~95.9	15.6	48.3	5.6~42.4	7.8	25.7	4~11	38.6	29.0	18.4~59.4	18.7	7.1	9.0~30.8

* 手播为正方形, 抛秧随机抛秧。同原秧苗, 抛秧叶龄 4.5 叶, 每穴均为 2 苗。

* The square was adopted for the manually transplanted seedlings and the random was adopted for the broadcasted seedlings. The same seedlings were used with leaf age 4.5 and 2 plants per hill. WYJ, Wu Yu Jing; W. Wu.

量有密切的关系。其中穴穗数、生物量与籽粒产量均与该穴占有多边形的重心至各顶点的平均距离 D 呈极显著正相关, 因为 D 越大, 即该穴多边形的面积也越大, 两者呈极显著正相关 ($r_{\text{武育粳3号}} = 0.8989^{**}$, $r_{\text{武9516}} = 0.8920^{**}$)。穴穗数、生物产量、籽粒产量与该穴多边形的偏圆率 E 及离心值 A 呈极显著负相关, 表明多边形趋于圆形以及穴位置在多边形中心利于减少穴间的相互竞争, 提高植株生长量, 这结果表明按 Dirichlet 棋盘形嵌图有关参数对于分析抛秧水稻水面分布向上的格局具有生物学意义。

表 4 每穴占有面积的形状参数与穗数及产量的关系*

Table 4 The relationship of the parameters of polygon with the trait related to yield

品种 Variety	关系式 Relationship	相关系数 R Relative coefficient
武育 粳 3 号 W YJ (n = 463)	$y_{\text{穗数ears per hill}} = 7.28 + 0.7378D - 4.9793E - 0.4919A$	0.6301**
	$y_{\text{生物产量 biomass(g/hill)}} = 19.47 + 4.8728D - 23.2177E - 2.5682A$	0.6928**
	$y_{\text{籽粒产量 grain yield(g/hills)}} = 13.34 + 2.2763D - 13.0037E - 1.0482A$	0.6662**
	$y_{\text{穗数ears per hill}} = S / (16.019581 + 0.045153S)$	0.6020**
武 96516 W (n = 458)	$y_{\text{生物产量 biomass(g/hill)}} = S / (4.493768 + 0.005840S)$	0.6739**
	$y_{\text{籽粒产量 grain yield(g/hills)}} = S / (8.294914 + 0.013072S)$	0.6551**
	$y_{\text{穗数ears per hill}} = 9.16 + 0.5504D - 5.9015E - 0.9168A$	0.8989**
	$y_{\text{生物产量 biomass(g/hill)}} = 71.12 + 4.5693D - 52.6461E - 10.0286A$	0.6723**
W (n = 458)	$y_{\text{籽粒产量 grain yield(g/hills)}} = 32.37 + 2.0273D - 24.0190E - 4.8042A$	0.6910**
	$y_{\text{穗数ears per hill}} = S / (21.572789 + 0.047595S)$	0.6661**
	$y_{\text{生物产量 biomass(g/hill)}} = S / (3.942323 + 0.004535S)$	0.7038**
	$y_{\text{籽粒产量 grain yield(g/hills)}} = S / (8.854400 + 0.010477S)$	0.7222**

* D 为多边形重心点到各顶点平均距离 (cm), E 为偏圆率, A 为离心值, S 为多边形面积。

D means average distance of the vertices of the polygon to centroid E , Eccircularity; A , Abcentricity, S , Area of polygon allocated to area of hill

2.2.3 冠层结构特征 抛栽水稻的秧丛随机均匀分布, 直接影响了水稻的生育, 也改变了植株形态与空间的分布。通过不同移栽方式的群体后期冠层结构比较剖析, 发现抛秧稻有以下 4 个特征: (1) 群体内株高与穗层整齐度稍逊^[9], 穗形略小 (表 5)。(2) 抽穗后绿叶量较大, 上、中、下各叶层配置相对趋于匀称, 而手插稻绿叶较多趋于中、上层, 尤其偏上层, 而下层绿叶较少 (表 6)。(3) 抽穗后群体单茎绿色叶鞘率抛秧稻高于手插稻, 表明植株具有较旺的活力^[9]。(4) 上述的冠层结构有利于冠层通风透光 (表 7), 这与其它有关研究结果相一致^[10]。

表 5 抛秧稻成熟期穗层分布*

Table 5 The location of ear in population of the broadcasted seedlings at maturity

品种 Variety	栽培方式 Transplanting ways	上层穗 Upper layer of ear		中层穗 Middle layer of ear		下层穗 Low layer of ear	
		占总穗 数比例 (%)	穗长 Ear length	占总穗 数比例 (%)	穗长 Ear length	占总穗 数比例 (%)	穗长 Ear length
		Ratio	(cm)	Ratio	(cm)	Ratio	(cm)
武 9516 W	抛秧 BS	23.9	20.9	46.0	18.4	30.1	15.1
	手插 MTS	28.3	22.0	53.9	18.5	17.8	11.5
	BS 比 MTS 增	-4.4	-1.1	-7.9	-0.1	12.3	3.6
武育粳 3 号 W YJ	抛秧 BS	21.8	15.7	48.5	14.3	29.7	12.5
	手插 MTS	26.5	16.3	54.2	16.7	19.3	10.8
	BS 比 MTS 增	-4.7	-0.6	-5.7	-1.4	10.4	2.7

* 按穗层分布等分上、中、下三层。

The upper, middle, low ear layer were classified uniformly according to range of total ear layer. BS, Broadcasted seedlings; MTS, Manually transplanted seedlings

表6 不同移栽方式水稻齐穗期LAI配置

Table 6 The distribution of LAI at heading under different transplanting ways

群体类型 Type of population	栽培方式 Transplanting ways	LAI	下层 Low (0~ 30 cm)		中层 Middle (30~ 60 cm)		上层 Upper (> 60 cm)	
			LAI	(%)	LAI	(%)	LAI	(%)
			偏小 Small	抛秧BS	6.05	0.94	15.54	3.06
	手插MTS	5.96	0.43	7.21	2.78	46.64	2.75	46.14
适中 Optimum	抛秧BS	7.04	1.54	20.81	4.16	56.22	1.70	22.97
	手插MTS	7.11	0.41	5.77	3.88	54.57	2.82	39.66

BS, Broadcasted seedlings; MTS, Manually transplanted seedlings

表7 抛秧与手插稻田小气候比较*

Table 7 The comparison of field microclimate characters between broadcasted seedling with manually transplanted seedlings

方式 Way	透光率(%) Transmittancy		温度(°C) Temperature		湿度(%) Humidity	风速垂直梯度(m/s) Wind gradient
	2/3株高 Height	基20cm Base	2/3株高 Height	基20cm Base	2/3株高 Height	2/3株高至基20cm Height to base
	抛秧BS	49.2	9.9	28.7	27.7	89
手插MTS	35.7	5.5	28.5	27.5	90	0.120

* 孕穗期; 标准晴天。 The measure was carried out sunny day at booting stage

2.3 秧苗田间均匀度对产量的影响

抛秧在局部控制的条件下, 会出现大小不等的空白无苗区(空档)。在每6667m²抛秧25000穴密度下, 通过疏苗(9.6%)形成的空档直径在32.7、48.9、63.5、81.7cm的情况下, 空档周围稻株的营养面积比对照(均匀的)增加12.5%~80%, 同时由于光照条件大为改善, 根系吸肥的范围扩大, 因而分蘖增加, 最后这些穴成穗数早单八比对照提高49.2%~70.4%, 秀水04高40.2%~46.2%(表8), 与对照相比均达极显著差异。按单位面积计算穗数, 直径32.7cm空档的单位面积穗数比对照略增加, 但差异不显著, 而其余空档处理均减少, 且与对照达到显著和极显著差异。空档直径(x)同单位面积穗数(y), 回归方程分别为 $y_{早} = 52.134 - 0.375x$ ($r = -0.9463^*$); $y_{秀} = 68.973 - 0.554x$ ($r = -0.9943^*$)。根据方程, 早单八空档直径在34.3cm、秀水04在38.0cm(1111cm²)平均穗数仍能达到对照(均匀)的穗数。

表8 不同空档稻株的穗数

Table 8 The compensative power of various blank diameters to ear

品种 Variety	空档直径(cm) Blank diameter	空档周围穴穗数 Ears per hill at circumference of blank		平均穗数 Mean ears/1111 cm ²	
		Number	± (%)	Number	± (%)
早单八 Zaodan8	32.7	14.37**	52.55	42.17	7.38
	48.9	14.14**	50.11	31.60	-19.53
	65.3	14.05**	49.15	25.16**	-35.95
	81.7	16.05**	70.38	23.87**	-39.22
	均匀CK Uniform		9.42		39.27
秀水04 Xiushui 04	32.7	20.25**	40.23	51.41	7.2
	48.9	20.81**	44.11	40.74*	-14.98
	65.3	21.11**	46.21	33.33**	-30.45
	均匀CK Uniform		14.44		47.92

进一步对不同大小空档的穗粒结构及单穗重的统计分析表明, 早单八的每穗总粒数比对照增 7.08%~16.36%, 每穗实粒数比对照增 6.83%~18.79%, 千粒重比对照增 0.45%~1.99%, 单穗重比对照增 8.36%~21.12% (表 9)。据统计分析, 早单八每穗总粒数、实粒数除空档直径 32.7 cm 同对照差异不显著外, 其余均与对照达到极显著差异。千粒重各处理之间同对照均无显著差异。单穗重表现同每穗总粒数、实粒数的结果一致。秀水 04 空档 32.7、48.9 cm 的每穗总粒数、实粒数、千粒重和单穗重与对照无显著差异, 空档 65.3 cm 的每穗总粒数、实粒数、千粒重和单穗重均与对照达显著性差异。

表 9 不同空档的穗粒结构及单穗重的比较

Table 9 The yield and its component under various blank diameters

品种 Variety	空档直径(cm) Blank diameter	每穗总粒数 Grains/ear		每穗实粒数 Full ripened grain/ear		千粒重 1000-grains weight		单穗重 Grain weight per ear	
		(No)	± (%)	(No)	± (%)	(g)	± (%)	(g)	± (%)
早单八 Zaodan8	32.7	95.89	7.08	84.72	6.83	29.07	1.43	2.463	8.36
	48.9	104.28**	16.36	94.20**	18.79	29.22	1.95	2.753*	21.12
	65.3	102.11**	14.03	90.49**	14.11	28.79	0.45	2.605*	14.61
	81.7	96.61**	7.88	87.89**	10.83	29.22	1.99	2.569*	13.02
	均匀CK	89.55		79.30		28.66		2.273	
Uniform									
秀水 04 Xiushui04	32.7	89.8	-3.8	81.81	-4.5	26.30	0.15	2.152	-4.4
	48.9	89.33	-3.9	81.81	-4.5	26.49	0.88	2.166	-3.7
	65.3	96.35*	-3.7	90.32*	5.5	27.85*	6.05	2.518*	11.9
	均匀CK	92.93		85.64		26.26		2.250	
Uniform									

根据上面的结果表明, 随着空档区的增大, 空档区周围稻株的产量也随之增大, 但单位面积的产量, 仅 32.7 cm 空档区产量与对照没有达到显著性差异, 而其余的空档区的产量同对照达到显著和极显著差异(表 10), 如将空档直径同产量作相关分析, 则单位面积产量随空档直径的增大而下降, 回归方程分别为 $y_{早} = 132.89 - 0.942x$ ($r = -0.9734^*$), $y_{秀} = 141.58 - 0.911x$ ($r = -0.9346^*$)。根据方程早单八空档直径在 30.5 cm, 因穗数、单穗重的调节补偿作用能实现对照的产量, 而秀水 04 则在 37.6 cm 实现对照的产量。

表 10 抛秧空档大小处理的产量比较

Table 10 The comparison of yield of various blank diameter

品种 Variety	空档直径(cm) Blank diameter	产量 Yield(g/1111 cm ²)			
		I	II	III	Mean
早单八 Zaodan 8	32.7	101.94	124.09	87.84	104.62
	48.9	88.80	79.88	89.94	86.20**
	65.3	66.33	65.17	63.77	65.09**
	81.7	56.63	63.35	61.02	60.33**
	均匀CK	104.53	112.84	95.17	104.18
uniform					
秀水 04 Xiushui 04	32.7	110.02	106.84	128.31	115.06
	48.9	84.5	88.9	98.05	90.48*
	65.3	89.18	69.54	97.20	85.31**
	均匀CK	113.7	93.77	114.46	107.31
uniform					

* 早单八(Zaodan 8): $LSD_{0.01} = 10.75$; 秀水 04(Xiushui 04), $LSD_{0.05} = 13.27$, $LSD_{0.01} = 20.1$

以上结果分析表明, 对不同空档区产量的调节补偿, 主要来自空档区周围穗株的增穗,

其次为穗重的调节补偿。在光照较好的条件下,水稻具有一定的自我调节能力,然而这个能力是有一定限度的,两年的试验均表明,抛秧稻产量的调节补偿能力在 $34 \pm 4 \text{ cm}$ 空档内(空档见方面积 1111 cm^2 左右),超过这个范围将产生不同程度的减产。

生产实践表明,全田各地段间苗量总体平衡,并无堆子苗,消灭见方 1000 cm^2 无苗的空档,是匀度较高的重要指标^[4]。

3 讨论

本研究结果表明,抛秧水稻秧苗在田间水平上的分布格局总体上呈均匀随机型,然而,单位面积上苗数局部变异较大,据大面积调查,即使抛秧质量较好的田块,小、中苗抛秧局部地段每平方米的基本苗与计划值正、负向差异达 $0.5 \sim 1.5$ 倍,甚至更多^[3]。因此生产上,非常强调秧苗均匀度,并作为进一步挖掘个体生产潜力与增产的重要措施,但均匀度与高效抛秧是一对矛盾,均匀是相对的,不均匀是绝对的,抛秧稻产量的提高只要求具备相对的均匀度,即一定条件下,充分利用水稻生长的自调补偿能力,使不均匀度尚未负向影响群体生育质量。本研究提出的消灭见方 1000 cm^2 空档面积在生产实践上是可行的。

关于抛秧稻具体每穴所占有的面积确定一直是个难题,至今尚未见到报道。本研究用 Dirichlet tessellation 确定每穴面积进行了尝试,每穴占有面积及形状参数同每穴穗数、生物产量、籽粒重等建立了一系列关系式,获得的结果也呈现了较好的生物学意义。但从上述关系式简单推导尚不能在农艺上确定均匀度、补偿作用等问题,这可能与相邻植株相互干扰有关^[11],这方面的工作将另文报道。

参 考 文 献

- 1 戴其根,张洪程,苏宝林等. 作物学报 2001, 27(3): 278~ 285
- 2 戴其根,霍中洋,张洪程等. 作物学报 2001, 27(5): 600~ 611
- 3 戴其根,张洪程,费中富等. 江苏农学院学报 1989, (增): 24~ 26
- 4 戴其根,张洪程,苏宝林. 耕作与栽培, 1998, (5): 18~ 19, 63
- 5 国家气象局. 农业气象观测规范,北京: 气象出版社, 1979
- 6 Mead R. A. *Annals of Botany*, 1966, 30(118): 301~ 309
- 7 Diggle P. J. *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*, Academic Press, Suffolk, 1983
- 8 Ripley B. D. *Spatial Statistics* New York: John Wiley & Sons, 1981
- 9 张洪程,戴其根,钟明喜等. 中国农业科学, 1993, 26(3): 39~ 49
- 10 李湘阁,景元书. 江苏农业科学, 1998, (3): 9~ 10
- 11 张跃西,钟章成. 生态学杂志, 1999, 18(2): 55~ 59