

寒冷稻作区水稻高产栽培最适密度研究

I. 不同密度对水稻产量、产量性状及碾米品质的影响

都兴林 方秀芹 李万良

(吉林省农科院水稻所,公主岭 136100)

提 要 近年来关于水稻最适密度有过许多研究和报道,但就本地区高产水稻栽培最适密度模式的探讨还研究较少。为了探讨本地区水稻高产栽培的最适密度模式,从而为生产上合理密植提供科学依据,应用近代数理统计学方法,进行了藤系 138 为应试品种的不同密度比较试验,提出适应延边地区气候特点和产量水平的最适密度模式。

通过整理分析,得出本地区取得公顷 9.421 吨稻谷的最适密度为:18.71×10⁴ 苗/10a,密植形式采用 23.1+9.9cm 4 穴正条式小四角,并分析了产量及其因素间的关系。

关键词 藤系 138;最适密度模式;小四角;水稻

延边朝鲜族自治州地处吉林省东部长白山脉,年≥10℃活动积温 2100~2750℃,无霜期 110~145 天,属寒冷稻作区。本研究以前人推导出的产量—密度方程为理论依据,同时运用计算机模拟寻优,进行了不同密度比较试验,旨在探索出适合本地区的最适密度模式并力图从产量结构的角度初步探讨不同密度效果的内在规律。

1 材料与方 法

1.1 土壤与气候

本试验于 1989 年和 1990 年在延边农学院水稻试验田实施。土质为粘壤质水稻土, pH6.0,土壤有机质含量 4.52%,全 N、P、K 含量依次为 0.23%、0.0772%、2.532%,碱解 N、速效 P 和速效 K 含量依次为 201.6mg/L、27.2mg/L 和 137.2mg/L。

1.2 试验设计

1989 年采用藤系 138、京引 127、吉粳 62 三个品种为主区,以 23.1+9.9cm 小四角, 19.8×9.9cm、26.4×9.9cm 和 26.4×16.5cm 四种密度为副区,12 个处理组合,3 次重复,裂区设计。当年产量结果表明:品种以藤系 138 产量最高,密植形式以 23.1+9.9cm 小四角产量最高。为了进一步确定藤系 138 品种在寒冷稻作区的最适密度及密植形式,1990 年则采用藤系 138 单一品种,8 个密度,8 个处理组合,3 次重复,随机区组设计(见表 1),1000m² 秧苗采用早育苗,4 月 10 日播种,5 月 20 日插秧,秧龄均为 4.5 叶,每穴 5 株,其它管理措施同常规栽培,本试验为了研究问题需要特设了两个极端密度 13.2×9.9cm 和 9.9×6.6cm。

1.3 测定项目

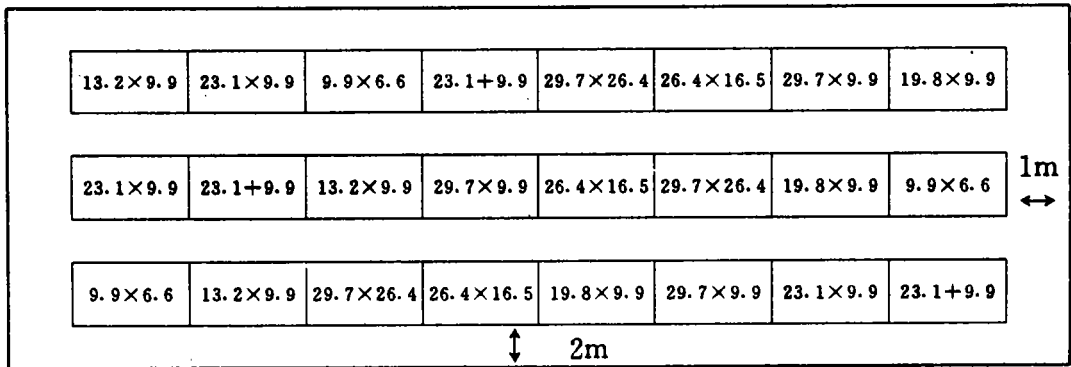
1.3.1 室内考种:株高、穗长、秆高、穗数、一、二级枝梗数、总粒数、谷/草、千粒重和结实率。

1.3.2 碾米品质:糙米率、精米率和整精米率。

表 1

不同密度田间设计

(单位:cm)



2 结果和分析

2.1 不同密度对产量及其性状的影响

2.1.1 不同密度对产量的影响

通过对产量的方差分析表明:1990年各处理 F_1 值达到极显著水平 ($F=4.67, P<0.01$), 1989年各密度处理 F 值也达到极显著水平 ($F=6.10, P<0.01$), 而区组间 F 值及主副区互作的 F 值却未达到显著水平, 两年分析结果一致, 说明区组间土壤肥力比较均匀。由不同密度产量的 LSR 测验(见表 2)。

表 2

不同密度产量的 LSR 测验

1989年			1990年				
密植形式 (cm)	m ² 穴数 (穴)	差异显著性		密植形式 (cm)	m ² 穴数 (穴)	差异显著性	
		产量 (kg/10a)				产量 (kg/10a)	
23.1+9.9	36	943	a A	23.1+9.9	36	1032.4	a A
19.8x9.9	50	888	b B	19.8x9.9	50	1000.6	a A
26.4x16.5	22.5	867	bc B	26.4x16.5	22.5	946.4	b B
26.4x9.9	37	864	c B	23.1x9.9	42	932.0	b B
				29.7x9.9	33	924.4	b B
				9.9x6.6	150	878.4	c C
				13.2x9.9	75	850.4	c C
				29.7x26.4	12.5	769.3	c C

可以得出:两年均以 23.1+9.9cm 4 穴正条式小四角密植形式的产量最高且与其他各处理差异达到极显著水平;两年公顷产量都突破 9 吨的也只有 23.1+9.9cm 小四角密植形式。说明在寒冷稻作区 23.1+9.9cm 小四角是比较理想的密植形式。

2.1.2 不同密度产量构成因素的比较

从不同密度产量构成因素的比较(见表 3、表 4)表明, m² 穴数在 42 穴以上的高密处理

区,虽然保证了单位面积的穗数,但由于植株郁蔽,使得穗尖变小,结实率和谷/草下降,导致产量不高。而 m^2 穴数在 22.5 穴以下的稀植处理区,虽然穗较大,但由于单位面积内的穗数较少,因此产量也不高,但 m^2 穴数为 36 穴的 23.1+9.9cm 小四角密植形式,公顷产量却突破 9 吨。这是由于此密植形式使得稻株空间分布合理,通风透光好,叶面积适中,光合产量大,使单位面积内的穗数较多,结实率和谷/草较高,最终导致产量高。由此可以说:只有当产量因素间达到最佳组合时,才能获得高产。

表 3

不同密度间产量构成因素比较

(1989年)

密植形式 (cm)	m^2 穗数 (个)	穗枝梗数		穗总数	结实率 (%)	不实率 (%)	谷/草	千粒重 (g)	有效分蘖率 (%)
		一级	二级						
23.1+9.9	587	9.14	13.1	89.6	75.98	24.02	1.48	25.7	74.70
26.4×9.9	640	8.93	13.7	83.1	73.77	26.23	1.15	25.4	67.87
19.8×9.9	660	9.40	13.8	75.8	67.02	32.98	1.16	26.8	63.67
26.4×16.5	539	9.24	16.4	94.5	71.22	28.78	1.44	26.6	82.13

表 4

不同密度间产量构成因素比较

(1990年)

密植形式 (cm)	m^2 穗数 (个)	穗枝梗数		穗总数	结实率 (%)	不实率 (%)	谷/草	千粒重 (g)	有效分蘖率 (%)
		一级	二级						
23.1+9.9	762	8.44	16.03	93.7	68.07	31.93	1.32	25.63	72.75
26.4×16.5	558	9.00	19.03	96.7	64.00	36.00	1.45	26.94	75.47
19.8×9.9	781	8.16	13.41	80.7	61.58	38.42	1.27	25.85	70.00
21.1×9.9	777	8.08	12.62	78.1	65.13	34.87	1.21	25.04	67.03
29.7×9.9	588	8.16	13.71	85.8	53.71	36.29	1.35	25.64	77.23
9.9×6.6	1050	7.53	15.05	69.9	46.40	53.60	1.02	25.86	47.62
13.2×9.9	837	8.10	14.54	72.9	47.21	52.79	1.01	25.36	56.41
29.7×26.4	460	8.63	19.07	98.5	68.71	31.29	1.53	25.91	84.69

总之,本试验条件下,23.1+9.9cm 小四角是寒冷稻作区高产栽培的最佳密植形式。

2.2 最适密度模式的探讨

2.2.1 最适密度的确定

试验结果的统计计算:从农学观点看,群体产量 Y 与种植密度 x 的数量关系,可由两个途径导出,①从个体产量 y 对密度的数量关系;②从构成产量因素对密度的数量关系。本文仅讨论途径①的推导,令群体产量 Y ,种植密度 x ,个体平均产量 $y = \frac{Y}{x}$,则产量—密度方程为: $Y = yx$,其中 $y = f(x)$,根据 Farazdaghi, H 的研究,得出水稻产量—密度理论方程为: $y = \frac{1}{a+bx^c}$, $y' = \frac{x}{a+bx^c}$,其中 a, b, c 为参数,其生物学意义为: a : 无竞争群体形成——单位产量所需的最小株数; b : $x=1$ 时形成——单位产量所需的株数与最少株数之差; c : y' ($y' = \frac{1}{y}$ — a) 对数对干密度对数的回归系数;它反映了密度对产量的影响程度。

用定点法由下式算出 a :

$$\frac{\frac{1}{y_1} - \hat{a}}{\frac{1}{y_2} - \hat{a}} = \left[\frac{\frac{1}{y_2} - \hat{a}}{\frac{1}{y_1} - \hat{a}} \right]^{(\lg x_1 - \lg x_2) / (\lg x_2 - \lg x_3)}$$

由下式求得 b, c:

$$c = \frac{n \sum (\lg x) (\lg y') - (\sum \lg x) (\sum \lg y')}{n \sum (\lg x)^2 - (\sum \lg x)^2}$$

$$\lg b = \frac{\sum \lg y'}{n} - \frac{(\sum \lg x) c}{n}$$

n 为 $(x_i, \frac{1}{y_i})$ 的组数

本试验不同密度下的稻谷产量见表 5。从表 5 中任选三组数据 (6.25, 82.2)、(18.0, 174.4)、(37.5, 440.9) 用上述方法求得: $\hat{a} = 80.2$ (苗), $\hat{b} = 0.0001596$, $\hat{c} = 1.6756$ 。

因此本试验的产量——密度方程为:

$$y = \frac{1}{80.2 + 0.0001596x^{1.6756}}$$

$$Y = \frac{x}{80.2 + 0.0001596x^{1.6756}}$$

对两个方程分别求导, 并令 $dy^2/dx^2 = 0$

得: $x_0 = \left[\frac{a(c-1)}{b(c+1)} \right]^{\frac{1}{c}}$, 进而, 有 $\lim_{x \rightarrow 0} y = \frac{1}{a} X_{opt}$ 。
 $= \left[\frac{a}{b(c-1)} \right]^{\frac{1}{c}}$, 并有 $x = x_{opt}$ 时

$$Y_{Max} = \frac{(c-1)x_{opt}}{ac}$$
 因此有如下结果:

$$\frac{1}{a} = 12.47 \text{ (克)}, X_0 = 7452 \text{ (苗/10a)}$$

$x_{opt} = 18.74 \times 10^4$ (苗/10a), $Y_{max} = 942.14$ (kg/10a)。上述结果含义为: 本试验无竞争密度 $X_0 = 7452$ 苗/10a 时, 每苗最高产量 $\frac{1}{a} = 12.47$ 克; 群体最高产量 $Y_{Max} = 942.14$ kg/10a。由此可以说明: 本试验条件下, 获得公顷 9 吨的产量是可行的。但最适密度为 18.74×10^4 苗/10a, 密植形式为 23.1 + 9.9cm 小四角。产量——种植密度的关系见右图。

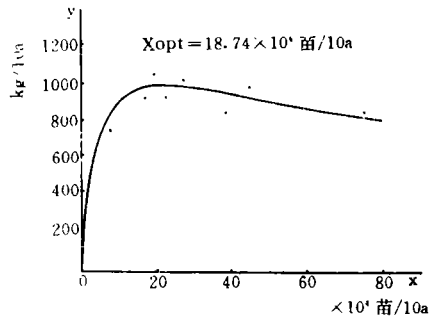
总之, 上述产量——密度方程的建立, 不仅在理论上明确了群体(个体)的

产量与密度的变化规律, 而且还提供了比较严密的、科学的、数量化的公式, 从而为生产上确定本地区水稻的种植密度奠定了科学的基础, 解决了长期以来水稻密植程度上存在的异议。

2.3 产量及其因素的关系

表 5 不同密度谷粒产量(1990年)

密度 x ($\times 10^4$ 苗/10a)	谷粒产量 Y (kg/10a)	形成 1kg 产量 所需苗数 $\frac{x}{Y} = \frac{1}{y}$	实需苗数与 最小苗数之差 $y' = \frac{1}{y} - \hat{a}$	$\lg y'$	$\lg x$
6.25	769.3	82.2	2.0	0.3010	4.7959
11.00	946.4	116.2	36.0	1.5563	5.0414
16.50	924.4	178.5	98.3	1.9926	5.2175
18.00	1032.4	174.4	94.2	1.9741	5.2553
21.00	932.0	225.3	145.1	2.1617	5.3222
25.00	1000.6	249.9	169.7	2.2297	5.3979
37.50	350.4	440.9	350.7	2.5571	5.5740
75.00	878.4	853.8	773.6	2.8885	5.8751



水稻产量——种植密度图

为了研究产量因素对产量作用程度,进行了产量及其因素间的相关分析(见表6)。

表6

产量及其因素间的相关关系

(1990年)

	m ² 穗数	总粒数/穗	实粒数/穗	谷/草	千粒重	产量
m ² 穗数		-0.7848**	-0.3754	-0.2249	-0.3101	0.6542**
总粒数/穗	-0.6210**		0.4815*	-0.1531	0.2734	0.5087**
实粒数/穗	-0.4658*	0.5125*		0.7783**	0.3760	0.3760
谷/草	-0.1582	-0.1118	0.4630*		0.2603	0.4963*
千粒重	-0.1391	-0.2839	-0.2225	0.1904		0.0949
产量	0.5627**	0.5321*	0.4513*	0.4467*	0.1652	

注:上三角为单相关; $r_{0.05,22}=0.444$ 下三角为偏相关; $R_{0.05,18}=0.444$ *——0.05水平差异显著性,
 $r_{0.01,22}=0.515$ $R_{0.01,18}=0.561$ **——0.01水平差异显著性。

由表6可以看出:产量与m²穗数、每穗总粒数、谷/草之间,不论是单相关,还是偏相关均呈显著和极显著正相关;每穗总粒数与m²穗数,单相关和偏相关均呈显著的负相关;千粒重与m²穗数呈负相关,但不显著。说明,产量因素间是互相制约的,但在诸多产量因素中,以每穗总粒数与m²穗数负效应最大,其次为每穗实粒数与m²穗数负效应,千粒重受其他因素影响程度较小。同时对产量影响最大的也是m²穗数和每穗总粒数,因此在调整产量因素时,重点应放在m²穗数与穗总粒数上。在保证一定的穗数与粒数基础上,超高产的关键在于提高结实率。

表6只是定性分析了产量及其因素的相关关系,为了进一步研究产量及其因素间的定量关系,进行了二者间的逐步回归分析得到如下复回归方程:

$$y = -49631.8061 + 65.3652x_1 + 13.3531x_3$$

其中: x_1 = 穗数/穴, x_3 = 实粒数/穗

F回(13,20)=62.434**, R=0.99991,此方程不仅定性地说明了穗数/穴,实粒数/穗与产量间存在极显著的回归关系且二者对产量的作用是正效应,同时还定量说明了每穴增加一个穗数,将使公顷产量增加980.5kg;每穗增加一个实粒数,将使公顷产量增加203.3kg。

为了进一步明确诸产量因素对产量作用大小,对产量及其因素进行了途径系数分析(见表7)。从分析结果看,在诸产量因素中,对产量起首要作用是m²穗数,其直接途径系数为 $P_{1 \rightarrow y} = 0.789$;其次是实粒数/穗, $P_{3 \rightarrow y} = 0.633$;再次是总粒数/穗, $P_{2 \rightarrow y} = 0.248$;最后是千粒重 $P_{4 \rightarrow y} = 0.094$ 。

表7

产量因素对产量的途径系数分析

(1990年)

自变量	Y _{xy}	直接效应	间接效应				
			$\sum_{i=1}^4 p_i$	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄
x ₁	0.559	0.789	-0.230		0.021	-0.214	-0.037
x ₂	0.065	0.248	-0.183	-0.109		-0.032	-0.042
x ₃	0.191	0.633	-0.442	-0.612	-0.076		0.246
x ₄	0.249	0.094	0.155	-0.024	-0.134	0.003	

注: $R^2=0.9538$, $P_e=0.4381$

x_1 = 穗数/m² x_2 = 实粒数/穗
 x_3 = 总粒数/穗 x_4 = 千粒重 y = 产量

综上所述,本试验条件下,获得公顷9吨产量,在栽培措施上首先应抓 m^2 穗数,在保证足够穗数基础上,应着眼于结实率。

2.4 不同密度对碾米品质的影响

通过对各处理碾米品质的分析(见表8)。可以看出:各处理的碾米品质均达到或接近国家省一级米标准(国家一级米标准:糙米率 $>83\%$ 、精米率 $>72\%$ 、整精米率 $>65\%$;省一级米标准:糙米率 $>82\%$ 、精米率 $>72\%$ 、整精米率 $>65\%$ 。

总之,通过分析表明:密度对碾米品质影响较小。

表8 密度对碾米品质的影响

处 理 (cm)	糙米率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)
23.1+9.9	81.58	75.90	73.27
19.8×9.9	81.38	72.82	69.29
26.4×16.5	80.67	73.24	69.28
23.1×9.9	83.04	73.46	70.46
29.7×9.9	79.96	75.31	72.24
9.9×6.6	81.40	75.01	70.88
13.2×9.9	79.57	76.29	72.94
29.7×26.4	78.63	75.79	71.74

注:品种为藤系138

3 结论及讨论

3.1 提出寒冷稻区高产水稻栽培最适密度模式即:密度为 18.74×10^4 苗/10a,密植形式为 23.1+9.9cm 小四角,公顷产量可达 9.4214 吨。

3.2 在诸产量因素中,对产量作用最大是 m^2 穗数和结实率。

3.3 在本试验条件下,密度对碾米品质无显著影响。

本试验在应用产量——密度方程求最适密度时,仅考虑密度单因子情况,但栽培因子是复杂的,故结论仅供参考。

参 考 文 献

- 1 莫惠栋. 穗数——密度的理论曲线方程. 江苏农业科学. 1978, (4)
- 2 丁昌龄. 密度——产量的理论曲线方程及其商榷. 上海农业科学. 1978, (4)
- 3 Holiday, R; Plant population and crop yield. Nature, 1960a, 180
- 4 Farazdagh, H; Plant Competition and crop yield. Nature. 1968, 217

STUDIES ON THE OPTIMUM SPACING OF RICE HIGH —YIELDING CULTIVATION IN THE COLD RICE PLANTING REGION

I. EFFECTS OF DIFFERENT SPACING ON RICE YIELD, YIELD COMPONENTS AND RICE MILLED QUALITY

DU Xinglin FANG Xiuqin LI Wanliang

(Rice Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100)

Abstract: In recent years, many researches and reports on the optimum spacing of Rice have been published. However, the research of optimum spacing model on the high—yielding rice cultivation in the region is seldom. Applying modern mathematic statistic methods, the trial on the different spacing for comparing with Huki 138 as trial variety was analysed, and the optimum spacing model that fits for Yanbian climatic characters and yield level was put forward in order to explore of the optimum spacing model the high—yielding rice cultivation for the region and to provide scientific basis for farming. For a yield level of 9.4124 ton per hectare, the optimum spacing is 18.74×10^4 seedlings per mu; planting type is 23.1+9.9cm small four-angle. The relations between yield and its components was analysed.

Key words: Huki 138, Optimum spacing model.