

文章编号:1003-8701(2011)05-0005-04

秧龄和密度对水稻的产量影响及其数学模拟

杨沫¹,孙长占²,邵玺文³,齐春艳⁴,
童淑媛⁵,杜振宇⁵,李卓⁶

(1. 辽宁省种子管理局,沈阳 110034;2. 长春市农业委员会,长春 130000;
3. 吉林农业大学农学院,长春 130118;4. 吉林省农业科学院水稻研究所,吉林 公主岭 136100;
5. 黑龙江农业经济职业学院农学院,黑龙江 牡丹江 157041;6. 吉林市农业技术推广中心,吉林 吉林 132000)

摘要:试验采用二次通用旋转组合设计,用较少次数试验实现对较多水平的考察,主要研究水稻秧苗移栽时期和移栽密度对水稻产量的影响及其构成因素对产量的影响程度。分析了产量构成因子对产量影响的差异,建立了水稻品种 98-122 产量与秧龄和密度的二次回归模型。根据回归模型求出了获得最高产量时,秧龄和密度的取值。

关键词:水稻;秧龄;密度;产量;二次通用旋转组合设计

中图分类号: S511

文献标识码: A

Effect of Different Seedling Age and Density on Yield of Rice and Its Mathematical Models

YANG Mo¹, SUN Chang-zhan², SHAO Xi-wen³, QI Chun-yan⁴,
TONG Shu-yuan⁵, DU Zhen-yu⁵, LI Zhuo⁶

(1. Liaoning Provincial Seed Administration Bureau, Shenyang 110034;
2. Changchun Municipal Agriculture Commission, Changchun 130022;
3. Faculty of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;
4. Rice Research Institute, Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, Gongzhuling 136100;
5. College of Agronomy, Heilongjiang Agricultural Economy Vocational College, Mudanjiang 157041;
6. Jilin Agricultural Technology Promotion Center, China)

Abstract: The experiment was conducted to study the effect of different seedling age and density on yield of rice using quadratic general rotary unitized design. The method can observe and study more testing levels with less tests. Factors which influence yield have been studied by grey correlation analysis. Quadratic regression model have been founded among yield, seedling age and density. And the value of seedling-age and density was gotten when the yield was the highest.

Keywords: Rice; Seedling-age; Density; Yield; Quadratic general rotary unitized design

作物栽培的主要目的是获得高产、高效和优质的作物产品,优质主要受基因型影响,产量和效益受栽培措施影响很大。用数学模型对作物高产的最佳资源配置进行了模拟,也就是要用较低的资源投入,获得最大的经济收入。因此,利用数学模拟的方法,研究影响作物产量的关键因素和作物最高产量时的资源配置,具有理论和现实意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料和管理

试验在吉林农业大学水稻试验基地进行。供试品种为中早熟品种 98-122。该品种生育期 130 d,株高 98 cm,穗长 25 cm,平均穗粒数 150 粒,千粒重 26 g;子粒偏长,米粒优质,分蘖力强,后期灌浆快,活秆成熟;平均产量 8 500 kg/hm²,适宜于中早熟区。为培育不同秧龄的秧苗,每隔 1 d 播种一次,用 20 mg/kg 901 可湿性粉剂浸种处理 7

收稿日期:2011-05-10

作者简介:杨沫(1980-),男,农艺师,硕士,从事作物高产栽培与品种管理研究。

d ,30℃恒温培养室保湿催芽 20 h ; 穴盘播种 ,密度为 2 604 粒 /m²。床土以肥沃田土和马粪按 3:1 的体积比混合 ,床土的调制剂施用量为 0.17 kg/hm² ;本田底肥施用纯 N 73.5 kg/hm²、纯 P 49 kg/hm²、纯 K 59 kg/hm² ;返青肥施用纯 N 54.5 kg/hm²、纯 K 44.25 kg/hm²。

田间实行湿润 - 浅水灌溉 ,7 月 25 日排水晒田控制分蘖。

1.2 试验设计

试验设 1 株 / 穴和 2 株 / 穴两个大区 , 行距 0.30 m ,密度由穴距调整。大区内采用 2 因素二次通用旋转组合设计 ,因素分别是密度(x)和秧龄(y) ,密度上下水平为 30 穴 /m²、6 穴 /m² ,秧龄上下水平为 5 叶、2 叶^[1-7]。

首先 ,确定各因素上水平 (x₁/y₁) 和下水平 (x₂/y₂) ,星号臂值 γ =1.414 ;然后计算各因素的零

水平 x₀/y₀(平均水平)和变化区间(Δ)。

公式 1 平均水平 $x_0 = \frac{(x_1 + x_2)}{2}$; $y_0 = \frac{(y_1 + y_2)}{2}$

公式 2 变化区间 $\Delta_x = \frac{(x_2 - x_1)}{\gamma}$; $\Delta_y = \frac{(y_2 - y_1)}{\gamma}$

公式 3 编码 $X_i = \frac{(x_i - x_0)}{\Delta}$; $Y_i = \frac{(y_i - y_0)}{\Delta}$

然后 ,对每个因素的水平进行编码得到表 1。

表 1 因素水平及编码

编号	X y	x	y
		密度(穴 /m ²)	秧龄(叶 / 株)
e	1.414	30	5
d	1	26.5	4.6
c	0	18	3.5
b	- 1	9.5	2.4
a	- 1.414	6	2
公式代换		x _i =f(z _i)	x _i =8.5X _i +18 y _i =1.06Y _i +3.5

为了计算 X 和 Y 的平方项 ,水平中心化得表 2。

表 2 试验方案及田间布置

No.	单株	两株	密度(株 /m ²)	叶龄(叶)	常数	X	Y	XY	X ²	Y ²	Z
m _e	S _{dd}	D _{dd}	26.5	4.6	1	1	1	1	1	1	Z ₁
	S _{db}	D _{db}	26.5	2.4	1	1	- 1	- 1	1	1	Z ₂
	S _{bd}	D _{bd}	9.5	4.6	1	- 1	1	- 1	1	1	Z ₃
	S _{bb}	D _{bb}	9.5	2.4	1	- 1	- 1	1	1	1	Z ₄
m _r	S _{ac}	D _{ac}	30	3.5	1	- 1.414(- γ)	0	0	r ² (2)	0	Z ₅
	S _{ec}	D _{ec}	6	3.5	1	1.414(γ)	0	0	r ² (2)	0	Z ₆
	S _{ca}	D _{ca}	18	2	1	0	- 1.414(- γ)	0	0	r ² (2)	Z ₇
	S _{ce}	D _{ce}	18	5	1	0	1.414(γ)	0	0	r ² (2)	Z ₈
m ₀	S _{cl}	D _{cl}	18	3.5	1	0	0	0	0	0	Z ₉
	S _{c2}	D _{c2}	18	3.5	1	0	0	0	0	0	Z ₁₀
	S _{c3}	D _{c3}	18	3.5	1	0	0	0	0	0	Z ₁₁
	S _{c4}	D _{c4}	18	3.5	1	0	0	0	0	0	Z ₁₂
	S _{c5}	D _{c5}	18	3.5	1	0	0	0	0	0	Z ₁₃

1.3 测定指标

小区产量实测 ,每小区取 10 株分别测定株高、穗长、穗粒数、实粒数、秕粒数 ,称取粒重。

2 结果与分析

2.1 水稻产量构成的关联度分析

水稻产量的构成因素包括穴有效穗数、每穗

粒数、结实率及千粒重 ,与之相关的指标有穗长等。水稻移栽密度减小后 ,单穴穗重迅速增加 ,S_{ac}和 D_{ac}达到了 103 g 和 106 g ;千粒重也随之增加 ;密度最小的处理 S_{ac}穗数提高但成穗率很低 ,根据田间观察和后期考种可以看出 ,该处理没有在 7 月 15 日左右停止分蘖 ,后期一直缓慢的发生新分蘖 ,收获时仍有未结实和未抽穗的无效分蘖。对应

表 3 水稻产量结构

编号	穗长 (cm)	穴穗重 (g)	结实率 (%)	成穗率 (%)	千粒重 (g)	总穗数 (万 /hm ²)	编号	穗长 (cm)	穴穗重 (g)	结实率 (%)	成穗率 (%)	千粒重 (g)	总穗数 (万 /hm ²)
S _{dd}	19.3	25.8	92.5	79.0	20.6	328.6	D _{dd}	21.6	27.5	92.9	76.5	21.9	360.4
S _{db}	19.0	27.4	92.6	82.0	22.3	323.3	D _{db}	20.2	27.7	89.4	87.3	21.5	364.4
S _{bd}	20.7	66.0	93.9	96.3	23.0	203.3	D _{bd}	19.4	71.5	95.7	91.1	23.9	233.7
S _{bb}	20.1	67.8	96.5	95.8	22.8	226.1	D _{bb}	19.5	66.9	94.8	87.3	23.7	239.0
S _{ac}	20.4	102.9	96.6	75.0	22.9	240.0	D _{ac}	20.7	106.0	94.5	96.0	22.4	189.0
S _{ec}	18.2	23.4	93.6	95.8	20.2	288.0	D _{ec}	18.6	25.5	86.2	81.1	20.7	450.0
S _{ca}	20.2	38.9	93.7	75.3	21.9	346.5	D _{ca}	18.8	40.5	87.4	89.8	21.3	316.8
S _{ce}	19.5	36.1	93.7	86.2	22.0	348.0	D _{ce}	18.2	40.1	95.0	83.7	24.3	331.2
S _{cl}	19.5	39.2	93.2	88.0	21.7	298.8	D _{cl}	19.4	40.5	93.1	86.1	24.7	284.4
S _{c2}	19.2	39.1	93.5	84.7	21.6	306.0	D _{c2}	19.1	39.7	94.6	71.7	22.2	356.4
S _{c3}	19.4	39.1	93.5	87.1	20.9	306.0	D _{c3}	17.0	40.3	93.6	70.8	23.3	381.6
S _{c4}	22.0	39.0	93.8	84.7	21.1	306.0	D _{c4}	18.9	40.4	93.3	92.8	21.0	298.8
S _{c5}	22.3	39.4	92.6	83.9	20.8	313.2	D _{c5}	19.4	40.5	93.2	82.2	21.2	324.0

处理 D_{ac} 却没有发生这种现象,可能是因为每穴两株的处理产生无效分蘖较少。各因子之间必然存在一种相互制约的,此消彼长的关系。各因子关系的量化,可以由逐步回归来描述^[8-9]。

产量构成因素是影响产量的直接因素,如何协调各产量构成因素之间的关系,对与实现高产是十分重要的。理论上,产量构成因素中的千粒重、穗粒数、株穗数和密度任何一个因素增大都能增加产量^[10]。但实际上,各个产量因素很难同步增长,它们之间有一定的制约和补偿关系。

对以上产量构成因子做灰色关联分析,不难看出,总穗数是对产量影响最大的因子。在 1 株的处理中成穗率是关联度第 2 位的因子,结实率是 2 株处理中关联度第二的因子。1 株的处理群体密度较小,营养生长旺盛,分蘖较多,甚至可能影响

了穗分化,但养分供给充足,能够保证结实,成穗率就成了与产量关联程度较高的因素之一。2 株的处理群体密度较大,产量一定程度上受结实程度的影响^[11]。数据验证了处理的田间表现。

2.2 产量回归模型的建立

表 4 灰色关联分析

因子	1 株 / 穴 $\Delta \max=4.23$	2 株 / 穴 $\Delta \max=4.64$
	关联系数	关联系数
穗长	0.29	0.33
穴穗重	0.27	0.29
结实率	0.27	0.43
成穗率	0.35	0.31
千粒重	0.28	0.37
总穗数	0.46	0.48

根据表 4、表 5 产量列进行回归计算,得出方程。在 $\alpha=0.10$ 显著水平下剔除不显著项。

表 5 产量模拟方差分析

变异来源	自由度	1 株 / 穴				2 株 / 穴			
		平方和	均方	比值 F	显著水平	平方和	均方	比值 F	显著水平
X	1	1 201 377	1 201 377	4 108.82	0	273 550	273 550	4 899.16	0
Y	1	708 791	708 791	2 424.13	0	190 230	190 230	3 406.95	0
X^2	1	483 587	483 587	1 653.91	0	321 250	321 250	5 753.45	0
Y^2	1	342 828	342 828	1 172.5	0	38 345.5	38 345.5	686.75	0
XY	1	3 853.8	3 853.8	13.180 3	0.01	12 962.8	12 962.8	232.16	0
回归	5	925 511	185 102	$F_2=633$	0	997 346	199 469	$F_2=3 572$	0
剩余	7	2 046.73	292.39			390.852	55.84		
失拟	3	1 637.75	545.92	$F_1=5.3$	0.03	116.90	38.97	$F_1=0.57$	0.65
误差	4	408.98	102.25			273.95	68.49		
总和	12	927 557				997 736			

公式 4 产量标准化模型

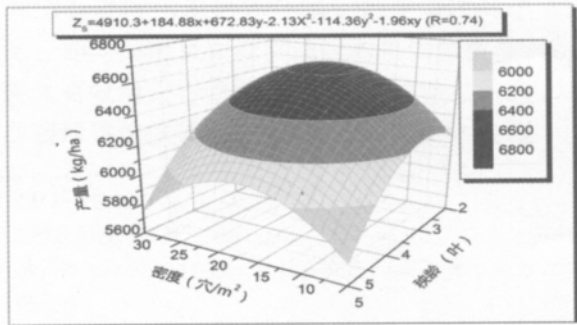
$Z_{\text{单株}} = 6578.47 + 229.16X - 176.02Y - 155.91X^2 - 131.28Y^2 - 18.36xy$

$Z_{\text{双株}} = 6781.32 + 204.80.16X - 170.79Y - 238.00X^2 - 82.23Y^2 - 63.05XY$

将 $X=(x-18)/8.5$, $Y=(y-3.5)/1.06$ 代入以上公式,得到:

公式 5 产量估值模型

$Z_{\text{单株}} =$



$4910.3 + 84.88x + 672.83y - 2.13x^2 - 114.36y^2 - 1.96xy ; R=0.74$

$Z_{\text{双株}} = 3867.75 + 141.67x + 778.42y - 3.28x^2 - 71.29y^2 - 6.74xy ; R=0.81$

对于二元二次方程 $z=a+bx+cy+dx^2+ey^2+fx$;
Z 取峰值时,有 $x_{top} = \frac{cf-2eb}{4ed-f^2}$, $y_{top} = \frac{bf-2dc}{4ed-f^2}$ 。可以
计算出取峰值时,各自变量的值。得出:

1 株 / 穴 $z_{top}=6703$, $x_{top}=18.6$, $y_{top}=2.8$ 。
2 株 / 穴 $z_{top}=7289$, $x_{top}=16.8$, $y_{top}=4.6$ 。

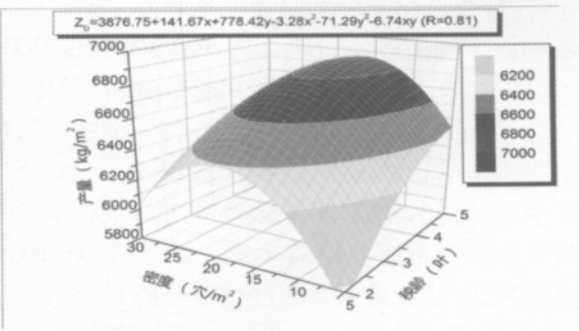


图 1 产量模拟的响应面

3 结 论

3.1 无论 1 株 / 穴还是 2 株 / 穴的处理, 总穗数都是影响产量的关键因素, 所以在生产中一定要着重增加总穗数。结实率和成穗率消长关系明显, 都容易对产量产生重大影响。

3.2 北方早春天气寒冷, 对小苗生长不利, 应该尽可能利用大棚温度高的积温优势, 培养大秧、壮秧, 才能使水稻营养生长旺盛, 为生殖生长提供更多能量。移栽密度过小, 个体生长虽然旺盛, 但不易控制分蘖, 收获时无效分蘖过多, 群体分蘖不高; 移栽密度过大, 后期容易倒伏, 影响产量。对于试验品种, 每平方米插秧 18~19 穴, 4~5 叶龄插秧, 每穴插 2 株可以获得更高产量。

3.3 利用旋转组合设计组织试验, 能在保证试验结果的基础上, 减少试验次数, 增加试验水平, 建立试验因子与试验目标的数量关系。大大提高试验工作效率, 尤其在试验因子较多的情况下。但是, 旋转组合设计的方法是从工业试验引入的, 对试验其他影响因子要求较高。农业生产中的影响因子较多, 所以在试验设计和田间管理中, 要最大限度保证其他非实验因子的一致性, 确保试验结果准确性和精确性。

参考文献:

- [1] 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001: 188-200.
- [2] 于晓秋, 葛家麟, 宋 伟. 旋转回归分析在提高作物产量中的应用[J]. 数理统计与管理, 2004, 23(2): 7-9, 72.
- [3] 王保生, 黄淑娥. 水稻大田生长动力模拟模型的研究[J]. 江西农业大学学报, 1997, 19(1): 16-20.
- [4] 何水林, 陈聿华. 水稻计算机模拟及应用 - 水稻生长及产量形成模拟模型构建 [J]. 福建农业大学学报, 1998, 27(1): 24-30.
- [5] 石春林, 薛正平, 金之庆. 水稻栽培模拟优化决策系统(RC-SODS)在 N 胁迫条件下的应用[J]. 江苏农业学报, 2002, 18(3): 134-138.
- [6] 李国璋, 郭永林. 水稻栽培模型稳定性研究[J]. 四川农业大学学报, 1994, 12(3): 414-417.
- [7] 严力蛟, 王兆赛, 杜建生. 水稻生育期的动态模拟模型研究[J]. 浙江农业大学学报, 1998, 24(3): 233-237.
- [8] 黄 耀, 陈 华. 水稻群体动态预测与栽培决策[J]. 气象科学, 1996, 16(1): 86-92.
- [9] 王夫玉, 黄丕生. 水稻群体茎蘖消长模型及群体分类研究[J]. 中国农业科学, 1997, 30(1): 57-64.
- [10] 吴朝晖, 袁隆平, 青先国, 等. 栽培方式对超级杂交稻生理特性和产量的影响及其灰色关联度分析 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 55(4): 379-385.
- [11] 袁伟玲, 曹湊贵, 程建平. 水稻产量及构成因素的灰色关联度分析[J]. 湖北农业科学, 2005, 36(2): 24-25.