

# 黑龙江省水稻单产潜力研究

李大林<sup>1</sup>, 李修平<sup>2</sup>, 马文东<sup>1</sup>, 张云江<sup>1</sup>, 王继馨<sup>1</sup>, 吕 彬<sup>1</sup>, 潘国君<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 佳木斯水稻研究所, 黑龙江 佳木斯 154026; 2. 佳木斯大学 生命科学学院, 黑龙江 佳木斯 154007)

**摘要:**为准确确定水稻育种的产量目标,并为育成具有该产量潜力的品种寻找切入点。根据不同时期水稻生长量的实测值和可变参数来进行产量潜力的推算。解决黑龙江省水稻育成品种产量难以提高问题。结果表明:高产材料比生产应用品种如垦稻 12 增产 29.8%~38.1%。增产潜力可以达 50% 左右。目前应用的品种生育期比适宜品种生育期早 15 d 左右。穗重高产型主要指标:单产 15 000 kg·hm<sup>-2</sup> 的品种,在密度 30 cm×20 cm×(3~5)株·穴<sup>-1</sup> 条件下,每穴穗数 22~28 个,平均单穗重 3.3~4.1 g,生育期 131~146 d。超高产育种的切入点是以延长生育期、提高单穗重为主,在不倒伏的情况下,可以选择叶片数多、株高较高及生长快的类型。

**关键词:**水稻;单产潜力;产量

**中图分类号:**S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2015)08-0026-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2015.08.0026

近 20 年以来提高水稻单产的育种难度越来越大,重新评估现实条件下水稻的增产潜力非常有必要。水稻超高产育种<sup>[1]</sup>研究始于日本,到 1990 年,育成 6 个品种。1989 年 IRRI 提出选育超级稻(新株型稻)的育种目标,稻谷产量潜力 13~15 t·hm<sup>-2</sup>。1996 年我国农业部启动了“中国超级稻选育及栽培体系”研究项目,计划到 2015 年水稻单产达到 13.5 t·hm<sup>-2</sup>,形成超级稻良种配套栽培技术体系,并提出 3 种理论模式<sup>[2]</sup>。

水稻现实产量潜力的理论测算,一般是假定作物群体和环境因素均为最适宜状态,再根据光能的多少和作物群体的转化效率进行估算。估算值一般为 15~18 t·hm<sup>-2</sup><sup>[2-3]</sup>。机制法(潜力递减法)是目前比较公认的生产潜力研究方法,但该方法的各级有效系数的确定较为粗略,估算结果与实际偏差很大,且不能建立估算值与植株形态之间的联系。对育种和生产指导意义有限。黑龙江省水稻大面积单产最高产量为 10 000~11 000 kg·hm<sup>-2</sup>,与前人预测值和试验预测值相差很大,且前人基于理论研究的预测方法极其复杂<sup>[4-8]</sup>。试验选择高产类型进行试验,获得符合产

量目标的材料即可作为高产育种的株型参照,加以分析,得到高产育种的改良途径,具有很强的实用性。

气候持续变暖,生育日数增加、生产水平提高为水稻单产提高提供了条件<sup>[9-13]</sup>。按前人研究结果计算<sup>[12]</sup>,不考虑其它因素条件下,黑龙江省水稻生育期将缩短 10 d,减产 12% 左右。水稻生产的现实结果是黑龙江省水稻生育期缩短并不明显且单产提高,这是品种生育期延长和高肥栽培的结果。产量提高潜力还有多大、能否达到估算的单产水平、能否达到 IRRI 的产量目标是需要明确的问题。

研究水稻的现实产量潜力和具有高产潜力的株型,可以为水稻育种提供依据。植物自身的生长状况就是各种影响因子的综合体现,对植物自身的光合日积累量实测值可以全面真实地反映各种因子的综合影响。用不同类型品种指标的实测值配合合理的参数可以对现实产量潜力进行估测(可变参数为不同生育阶段的生长期,基本参数为生长量实测值),与对照品种进行比较,可以找到单产提高的育种切入点<sup>[14-15]</sup>。简单实用的水稻单产潜力研究方法,可以估算各生态区的目标产量。解决育成品种产量难以提高的问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为不同生育期不同类型的水稻材料 56 份。

收稿日期:2015-01-19

基金项目:农业部寒地旱粳超级稻新品种选育研究资助项目;农业部水稻产业技术体系资助项目(CARS-01-04);黑龙江省科技攻关重大资助项目(GA13B101);黑龙江省重大科技招标资助项目(GA14B102)

第一作者简介:李大林(1971-),男,黑龙江省佳木斯市人,硕士,副研究员,从事水稻育种研究。E-mail: eldalin@163.com。

## 1.2 方法

试验于 2008 年在黑龙江省农业科学院佳木斯水稻研究所试验地进行。

1.2.1 试验设计 设 30 cm×30 cm、30 cm×20 cm、30 cm×10 cm 三个密度,每密度设 3 株·穴<sup>-1</sup>、1 株·穴<sup>-1</sup>两种方式。

1.2.2 调查项目 分别调查水稻叶片数、株高、分蘖数、出苗期、齐穗期、成熟期、每穴穗重、单穗重、日增重及产量。

1.2.3 生育日数 安全育苗播期可以提前 15 d 以上,相当于≥20℃积温延长 5~10 d 以上;气候变暖使生育日数延长 12~14 d;不考虑其它因素,气温增高使水稻品种生育期缩短 10 d 左右。

据此可知,不考虑其它因素,水稻将有 27~

34 d 的未被利用生育日数;假设肥力因素使生育期延长日数抵消高温使生育期缩短日数,估计将会有 17~24 d 的未被利用生育日数。

1.2.4 假设和推算 假设株型结构不变、库容充足,不考虑其它因素情况下,生育日数延长 27~34 d,推测单产可提高 68%~85%;假设肥力因素使品种生育期延长日数抵消高温使生育期缩短日数,生育期延长 17~24 d,推测单产可提高 42%~53%。假设生产用品种抽穗到成熟期天数 40~45 d,高肥下单产 8 000~9 000 kg·hm<sup>-2</sup>,则应用抽穗期到成熟期天数 57~69 d 的晚熟品种产量可能达到 11 360~13 770 kg·hm<sup>-2</sup>。

1.2.5 推测方法 利用不同生育阶段的光合产物积累量实测值进行推测(见图 1)。

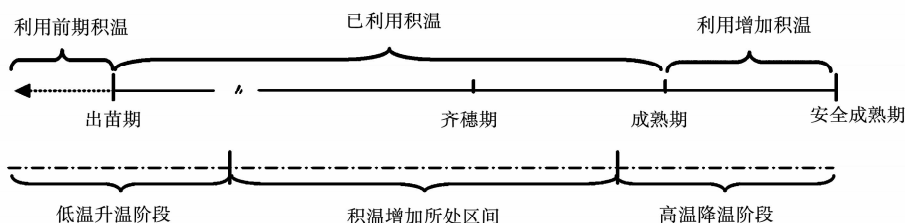


图 1 水稻产量潜力形成阶段示意图

Fig. 1 Schematic diagram of rice yield formation

不同类型水稻有不同的光合日积累量,以不同阶段的光合日积累量推算品种的生物产量和经济产量。根据生物重干重实测值,计算出平均日增重的值。再根据不同生态区不同阶段的可用日数和平均日增重,可以估算出不同生态区的产量潜力水平。以佳木斯市为例,安全成熟期为 9 月 15 日。假设生育期延长,株型结构不变,单穗重增加。

以生物产量推测生育期延长以后的产量:

产量 1=[齐穗前光合日积累量×齐穗前天数+齐穗后光合日积累量×(齐穗后到成熟天数+延长的天数)]×经济系数

以经济产量推测生育期延长以后的产量:

产量 2=齐穗后的穗平均日增重×(齐穗后到成熟天数+延长的天数)×(1-枝梗重%-空秕重%)

## 2 结果与分析

### 2.1 品种比较

筛选试验结果以 30 cm×20 cm、3 株·穴<sup>-1</sup>栽培模式产量最高。最高产量前 5 名和 4 个对照品

种见表 1。4 个生产上大面积应用的品种中,产量最高的垦稻 12,产量达 11 000 kg·hm<sup>-2</sup>以上。达到或接近 15 000 kg·hm<sup>-2</sup>的材料共 3 份,编号为 86042、86050、86022。比垦稻 12 增产 29.8%~38.1%(见表 1)。

### 2.2 水稻产量潜力测算

通常情况下,水稻经济系数在 0.5 左右,在目前的高产选择条件下,经济系数已经超过 0.5,试验中生物产量为去掉根部以上 3 cm 后的重量,因此这个系数略高。

试验中水稻的枝梗重占穗重 3%~5%,穗大的品种,略高一些。空秕粒重占穗重的 5%左右,结实率较好的空育 131,不到 1%。

试验品种生育期不同,出苗到齐穗期差异较大,可达到 12 d,最大差异 86048 与龙粳 8 号相差 22 d;齐穗到成熟天数差异相对较小,最大的相差 7 d,此阶段穗重增重差异较大,最大 38.33 g·m<sup>-2</sup>,最小 16.34 g·m<sup>-2</sup>,且并非天数越长的,增重越大。试验品种成熟后到完全成熟期的天数也不同,为 0~18 d(见表 2)。

表 1 高产品种与生产用品种性状比较

Table 1 Comparison on traits of high yield rice varieties and rice varieties in production

田间号 No.	株高/cm Plant height	叶片数 Leaf number	熟期 Ripe period	分蘖数 Tiller number	穗重/ (g·穴 <sup>-1</sup> ) Panicle weight	单穗重/g Single panicle weight	穗草比 Ratio of panicle and grass	日增重/ (g·m <sup>-2</sup> ) Daily gain	穗重/ (g·m <sup>-2</sup> ) Panicle weight	排序 Rank
86042	120~125	13	晚	28.67	95.83	3.34	1.63	27.61	1590.83	1
86050	125~135	13	晚	26.00	90.56	3.48	1.28	29.26	1503.30	2
86022	100~105	13	早	22.23	90.12	4.07	2.15	22.21	1495.90	3
86048	120~125	13	晚	27.00	76.05	2.82	1.42	20.17	1262.43	4
86037	100~105	12	中	24.00	72.33	3.01	1.98	16.33	1200.73	5
垦稻 12	110~115	12	中	35.00	69.4	1.98	1.51	19.21	1152.04	6
空育 131	95~100	11	早	30.00	65.0	2.17	1.85	17.17	1079.00	7
合江 19	95~100	11	早	31.00	61.3	1.98	1.00	15.08	1017.58	8
龙梗 8 号	90~95	11	早	39.00	56.4	1.45	1.80	14.42	936.24	9

表 2 高产品种与生产用品种特性比较

Table 2 Comparison on characteristic of different rice varieties

田间号 No.	出苗到齐穗 期天数/d Days from emergence to full panicle	出苗到齐穗期日增重/(g·m <sup>-2</sup> ) Daily gain from emergence to full panicle		齐穗期到成 熟期天数/d Days from full panicle to mature	齐穗期到成熟期日增重/(g·m <sup>-2</sup> ) Daily gain from full panicle to mature		成熟期到完全 成熟期天数/d Days from mature to full mature
		生物重	穗重		生物重	穗重	
86042	99	13.70	2.49	37	34.67	38.33	10
86050	99	13.55	2.41	37	33.14	38.19	10
86022	92	18.90	1.61	39	35.17	34.55	15
86048	109	13.76	2.52	36	20.09	27.44	0
86037	93	9.10	1.45	40	24.12	26.65	13
垦稻 12	97	10.79	2.28	36	24.12	29.86	13
空育 131	90	7.68	0.14	41	23.70	26.01	15
合江 19	88	8.43	2.10	43	18.37	19.37	16
龙梗 8	87	10.29	3.06	41	13.66	16.34	18

2.2.1 穗数型品种产量推测 穗数型多穗品种一般熟期早,穗较小。空育 131 的特点是,熟期早,较高粒叶比,叶面积指数较小;垦稻 12 是中早熟品种,小粒叶比,叶面积指数比较大。

空育 131 枝梗重占穗重 3.7%,空秕粒重占穗重 1%,经济系数 0.65,产量 1 为 1 311.96 g·m<sup>-2</sup>,产量 2 为 1 388.10 g·m<sup>-2</sup>。垦稻 12,枝梗重占 5%,空秕粒重占 3.2%,经济系数 0.6,产量 1 为 1 337.11 g·m<sup>-2</sup>,产量 2 为 1 343.17 g·m<sup>-2</sup>。

空育 131 可以增加 15 d 以上的灌浆期,可以增重 231.1 g·m<sup>-2</sup>,单产提高 21.4%。垦稻 12 可以增加 13 d 以上的灌浆期,增重 188.14 g·m<sup>-2</sup>,单产提高 19.3%。

说明以空育 131 和垦稻 12 为代表的穗数型品种为模型,预测的水稻产量潜力在 13 000~13 500 kg·hm<sup>-2</sup>。

2.2.2 穗重型品种产量推测 穗重型品种穗较大,试验中 86042、86050 和 86022 平均单穗重均

在 3.3 g 以上。86042 与 86050 均属晚熟大穗高秆品种。叶面积指数均较大。86022 的特点是早熟品种,叶龄进程较快,叶片较宽,叶面积指数较大,仅次于 86050 和 86042。

86042(枝梗重占 5%,空秕粒重占 4%,经济系数 0.55),产量 1 为 1 642.18 g·m<sup>-2</sup>,产量 2 为 1 621.36 g·m<sup>-2</sup>。86050(枝梗重占 5%,空秕粒重占 4%,经济系数 0.55),产量 1 为 1 594.5 g·m<sup>-2</sup>,产量 2 为 1 615.4 g·m<sup>-2</sup>。86022(枝梗重占 5%,空秕粒重占 5%,经济系数 0.6),产量 1 为 1 796.38 g·m<sup>-2</sup>,产量 2 为 1 660.47 g·m<sup>-2</sup>。

86042 可以增加 10 d 以上的灌浆期,可以增重 190.69 g·m<sup>-2</sup>,增加单产 13.1%; 86050 可以增加 10 d 以上的灌浆期,可以增重 182.27 g·m<sup>-2</sup>,增加单产 12.9%; 86022 可以增加 15 d 以上的灌浆期,可以增重 316.53 g·m<sup>-2</sup>,增加单产 32.4%。

生育日数 146 d 条件下,单产潜力增幅最大的是生育期短的类型(86022、空育 131、垦稻 12),

产量最高的是穗重型(86042、86050、86022)。穗数型的单产潜力比穗重型小 17%。从灌浆天数上分析,晚熟穗重型并没有比早熟穗数型延长,反而缩短,生育期延长主要是营养生长期延长。可能原因是穗数型的株型结构源小,光合积累速率低或肥力高所致,而穗重型株型结构源足或同等肥力条件下并不表现高肥。说明在生育期延长的条件下,单纯延长灌浆结实期、增加单穗重,并不是合理高效的株型结构,营养生长期和生殖生长期协调更有利于单产的提高。以 86042、86050 和 86022 为代表的穗重型品种为模型,预测的水稻产量潜力在 16 000~16 600 kg·hm<sup>-2</sup>。比目前应用品种增产 45%~50%。

2.2.3 三种类型比较 供试材料可以分为 3 类,早熟穗数型、早熟穗重型和晚熟穗重型。由表 3 可知,以 86022、86042 和空育 131 为代表,以空育 131 为对照,生育期差异只有 4%,但却使品种类型发生本质的变化。两种高产类型材料的产量比对照空育 131 高出 39%和 47%,平均单穗重、叶面积指数和齐穗-成熟期平均日增重较对照空育 131 高出 54%~86%、39%~40%和 46%。出苗-齐穗期天数(可以近似代表营养生长期)增加 2%和 10%,而齐穗至成熟期天数(可以近似代表生殖生长期)减少 5%和 10%,分蘖数虽少于对照空育 131,但幅度远小于平均单穗重的增加值。

表 3 供试材料三种类型比较  
Table 3 Comparison on three types of tested materials

品种 Varieties	代表类型 Types	叶片数 Leaf number	株高/cm Plant height	分蘖数 Tiller number	出苗至齐穗天数/d Days from emergence to full panicle	齐穗至成熟天数/d Days from full panicle to mature	生育期 天数/d Days of growth period	平均单穗重/g Average single panicle weight	叶面积 指数 Leaf area index	齐穗至成熟平均日增重/(g·m <sup>-2</sup> ) Daily weight increment from full panicle to mature	产量/ (g·cm <sup>-2</sup> ) Yield
空育 131 (CK)	早熟穗数型	11	95~100	30	90	41	131	2.17	3.56	23.70	1079
86022	早熟穗重型	13	100~105	22	92	39	131	4.04	4.98	34.55	1495
	比 CK 增减		(+5%)	(-27%)	(+2%)	(-5%)	(0)	(+86%)	(+40%)	(+46%)	(+39%)
86042	晚熟穗重型	13	120~125	28	99	37	136	3.34	4.96	34.67	1590
	比 CK 增减		(+26%)	(-7%)	(+10%)	(-10%)	(+4%)	(+54%)	(+39%)	(+46%)	(+47%)

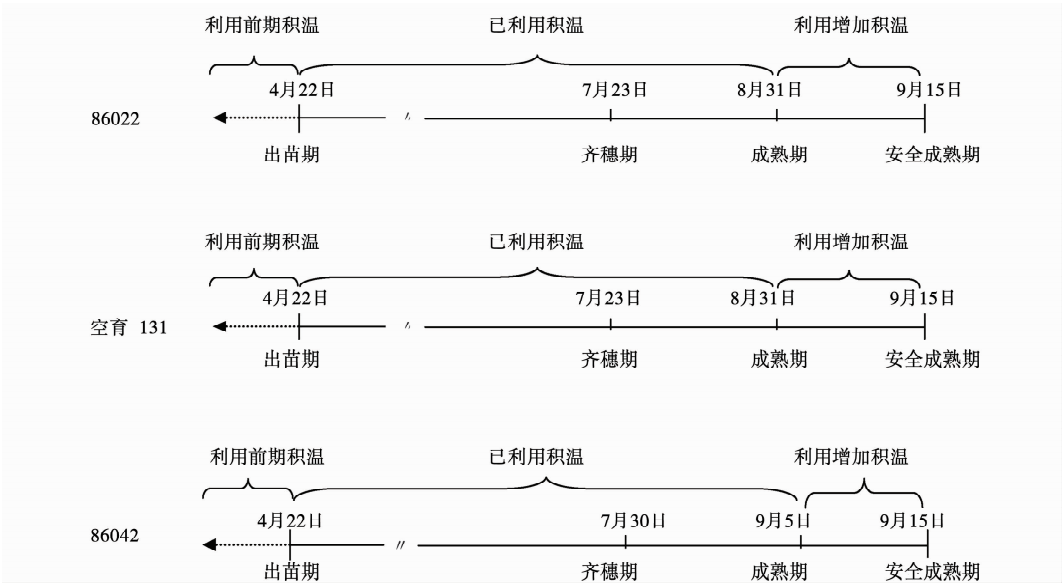


图 2 水稻产量及潜力形成阶段图  
Fig. 2 Diagram of yield and yield potential of rice

由图 2 可以看出,播期还可以提前,生产上出苗期已经提前到 4 月 10 日左右,水稻成熟保证率进一步提高。

### 3 结论与讨论

增温使水稻生育期缩短,单产趋于减少,也使气候资源浪费,因此应用晚熟高产品种十分必要。目前应用的品种生育期比适宜品种生育期早 15 d 左右。不同类型水稻产量差异很大,穗重晚熟型品种与对照品种相比可增产 50% 左右。大面积生产可以达到单产  $15\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。生产潜力可达  $16\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上。10 a 平均每年至少增产 33.8%。穗重型晚熟品种比穗数型更具高产潜力,是适应未来气候变暖的品种类型。高产潜力发挥的主要因素是使用长生育期品种,由于生育期延长,品种的株型结构发生变化,由穗数型向穗重型转化。穗重高产型主要指标:单产  $15\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的品种,密度  $30\text{ cm}\times 20\text{ cm}\times (3\sim 5)\text{ 株}\cdot\text{穴}^{-1}$ ,每穴穗数 22~28 个,平均单穗重  $3.3\sim 4.1\text{ g}$ ,生育期 131~146 d。高产育种可以以此标准为株型参照并在此基础上进行改良。超高产育种的切入点,以延长生育期、提高单穗重为主,在不倒伏的情况下,叶片数多、株高较高及生长快可以作为选择指标。以创新的水稻高产材料为模型,根据不同时期水稻生长量实测值和可变参数进行现实产量潜力研究的方法是切实可行、简单实用的方法,可以对不同气候生态区进行产量潜力的推算<sup>[16-18]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 何花榕,邓汉伦,翁国华,等.水稻超高产育种及其理论的发展[J].福建稻麦科技,2000,18(3):56-60.
- [2] 陈温福,徐正进.水稻超高产育种理论与方法[M].北京:科

学出版社,2007:22-29.

- [3] 杨重一.黑龙江省农作物气候生产潜力分析及其气候变化响应[D].哈尔滨:东北农业大学,2007:23,40-41.
- [4] 於忠祥,姚建国.作物最高理论产量计算方法的应用——以合肥地区水稻为例[J].生物数学学报,2000,15(2):189-193.
- [5] 孙敬义,卢铁光,徐建中,等.黑龙江省水稻单产增长潜力预测方法研究[J].农机化研究,2005(1):131-133.
- [6] 胡春华,陈士龙.江汉平原水稻生产潜力的 Logistic 模型分析[J].长江大学学报:社科版农学卷,2005,25(4):99-102.
- [7] 赵文彪,张明初,郭清元,等.萍乡地区水稻气候生产潜力分析[J].江西农业科技,2004(9):4-7.
- [8] 梁佳勇,谢振文,何昆明,等.广东水稻生产潜力及影响因素分析[J].农业与技术,2004,24(4):63-66.
- [9] 方修琦,盛静芬.从黑龙江省水稻种植面积的时空变化看人类对气候变化影响的适应[J].自然资源学报,2000,3(15):213-217.
- [10] 潘华盛,徐南平,张桂华.气候变暖对黑龙江省农作物结构调整影响及未来 50 年农业情景对策[J].黑龙江气象,2004(1):13-15.
- [11] 周文魁.气候变暖对我国农业生产的影响综述[J].农村经济与科技,2009(6):109,119.
- [12] 王艳秋,高煜中,潘华盛,等.气候变暖对黑龙江省主要农作物的影响[J].气候变化研究进展,2007,3(6):373-378.
- [13] 王媛,方修琦,徐铨,等.气候变暖与东北地区水稻种植的适应行为[J].资源科学,2005,27(1):121-127.
- [14] 马均.不同穗重型水稻的形态、生理生化特性及产量潜力的研究[D].雅安:四川农业大学,2002:78.
- [15] 邵国军,韩勇,丁芬,等.辽梗系列水稻品种选育及主要产量性状研究[J].沈阳农业大学学报,2012,43(6):660-666.
- [16] 杨惠杰,杨仁崔,李义珍,等.水稻超高产品种的产量潜力及产量构成因素分析[J].福建农业学报,2000,15(3):1-8.
- [17] 张忠旭,杨振玉,高勇,等.偏高秆偏大穗梗爪交组合的选育思路、高产抗倒特性及其生态适应性[J].辽宁农业科学,1999(4):31-33.
- [18] 周广春,孟维初,全东兴,等.吉林省水稻生产及增产潜力研究[J].沈阳农业大学学报,2012,43(6):688-692.

## Study on Rice Yield Potential in Heilongjiang Province

LI Da-lin<sup>1</sup>, LI Xiu-ping<sup>2</sup>, MA Wen-dong<sup>1</sup>, ZHANG Yun-jiang<sup>1</sup>, WANG Ji-xin<sup>1</sup>, LYU Bin<sup>1</sup>, PAN Guo-jun<sup>1</sup>

(1. Jiamusi Rice Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154026; 2. College of Life Sciences, Jiamusi University, Jiamusi, Heilongjiang 154007)

**Abstract:** In order to accurately determine the yield target of rice yield breeding, and find the breakthrough point of rice yield potential varieties breeding. The results showed that the yield of high yield varieties increased about 29.8%~38.1% than that of production varieties Kendao 12. The yield potential increased about 50%. Conclusion, the growth period of the current applied varieties was 15 days earlier than that of suitable varieties. The main indicators of heavy panicle and high yield varieties were yield was  $15\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , the density was  $30\text{ cm}\times 20\text{ cm}\times (3\sim 5)\text{ plants per hole}$ , the spike number per hole was 22~28, the average panicle weight was  $3.3\sim 4.1\text{ g}$ , the growth period was 131~146 days. The breakthrough points for super high yield breeding were to extend the growth period and increase weight of single panicle, under no lodging condition, more leaves, higher plant height and fast growth type could be chosen.

**Keywords:** rice; yield potential; yield

(本文作者还有杨庆,单位同第一作者)