

# 水稻优化栽培

王伯伦 著



农业出版社

国家自然科学基金 资助  
国家教委优秀年轻教师科学基金

# 水稻优化栽培

王伯伦 著

农业出版社

(京)新登字 060 号

水稻优化栽培

王伯伦 著

责任编辑 冯常虎

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路 2 号)  
新华书店北京发行所发行 北京密云县印刷厂印刷

850 × 1168mm32 开本 6.875 印张 168 千字

1993 年 7 月第 1 版 1993 年 7 月北京第 1 次印刷

印数 1—3 000 册 定价 6.00 元

ISBN 7-109-02919-0/S·1851

## 前 言

水稻是我国最主要的粮食作物,播种面积和总产均占粮食作物的首位,因此,水稻的高产栽培技术研究一直受到重视。在我国由传统农业向现代农业转变的今天,如何应用现有的先进技术和设备来研究水稻的生长发育和产量形成规律,充分挖掘水稻,特别是杂交水稻和株型较好的常规品种的增产潜力,是每个从事水稻栽培研究技术人员义不容辞的责任。

我在我的导师——杨守仁教授和高佩文教授的悉心指导下,在许多水稻界的老前辈亲切关怀下,在许多同行的热心支持下,1980年以来,进行了水稻高产栽培研究。由于当时研究条件的限制,研究的规模较小,深度有限。1985年以来,在国家自然科学基金、国家教委优秀年轻教师科学基金及辽宁省科委有关项目的支持下,应用系统分析原理,对水稻高产的生理基础、农田生态条件、形态特征、栽培措施等方面及其相互关系进行了较全面的研究,并联系辽宁省的水稻生产实际,进行了一定规模的高产开发,初步得到一些结果。为了加速水稻栽培技术的现代化进程,参照国内外一些水稻高产研究经验,把十余年来的结果整理出来,如果能对水稻生产和高产研究起到参考作用,笔者就深感万幸了。

值本书出版之际,衷心感谢各方面所给予的关怀和支持,并感谢农业出版社为出版本书所作的努力。由于笔者从事水稻研究工作时间较短,缺乏经验,缺点和错漏之处在所难免,恳请读者指正。

王伯伦

1992年12月

# 目 录

<b>第一章 水稻产量的变化规律与优化</b> .....	1
<b>第一节 预备试验结果的分析</b> .....	2
一、施肥量试验结果分析 .....	2
二、裂区试验结果分析 .....	3
<b>第二节 复因子处理条件下的产量变化</b> .....	5
一、高产优化栽培模式试验结果分析 .....	5
二、高产生理生态研究试验结果分析 .....	6
<b>第三节 高效益研究</b> .....	8
一、高产高效益试验的产量 .....	8
二、经济效益分析 .....	11
三、劳动生产率 .....	13
四、物资利用率 .....	14
五、自然资源的利用率 .....	15
<b>第四节 优化栽培中产量构成因素对产量的作用</b> .....	15
一、各产量构成因素间的关系 .....	15
二、产量构成因素对产量的作用 .....	16
三、水稻进一步高产的途径 .....	17
<b>第五节 多重优化</b> .....	17
一、栽培措施的优化 .....	18
二、性状的优化 .....	20
三、逐步优化 .....	24
<b>第二章 水稻优化栽培的生理生态基础</b> .....	29
<b>第一节 水稻高产的生理基础</b> .....	29
一、壮秧的生理作用 .....	29
二、高产群体的干物质积累与分配 .....	30
三、高产群体的光合特点 .....	37

四、高产群体的养分吸收.....	41
第二节 水稻高产的生态条件 .....	47
一、气候与水稻产量.....	47
二、高产栽培的农田生态条件.....	48
第三节 生理性状与生态因子间的关系 .....	54
一、调节及反馈调节.....	54
二、生理指标、生态因子与物质生产.....	55
<b>第三章 水稻优化栽培的形态特征——理想株型 .....</b>	<b>57</b>
第一节 水稻高产品种的生长发育规律 .....	57
一、生育阶段的划分.....	57
二、同体器官平衡.....	57
第二节 栽培措施对水稻株型的影响 .....	59
一、茎叶系统.....	60
二、穗粒系统.....	65
三、根系.....	67
四、茎叶系统与穗粒系统的关系及其对产量的作用.....	71
第三节 水稻高产的群体结构 .....	73
一、群体与个体协调.....	73
二、光合系统结构合理.....	76
三、高产群体的源库平衡.....	78
<b>第四章 水稻高产品种的选择及合理布局 .....</b>	<b>80</b>
第一节 品种对综合栽培条件的反应 .....	80
一、相同栽培条件下的品种生产力.....	81
二、多因子处理条件下的品种产量表现.....	82
三、1989和1990年辽宁省水稻丰收杯竞赛结果的分析.....	84
第二节 理想株型品种的主要特征 .....	88
一、各性状组配合理，同体器官平衡.....	88
二、生长量和谷草比都较大.....	90
三、耐肥抗倒而又吸肥性好.....	93
四、抗性好，适应性强.....	95
第三节 品种合理布局 .....	97
一、品种合理布局的原则.....	97

二、品种合理布局的模式 .....	98
<b>第五章 育苗移栽</b> .....	99
<b>第一节 育苗</b> .....	99
一、秧苗群体生长规律 .....	99
二、营养土保温早育苗的作用 .....	101
三、育苗的基本环节 .....	103
四、苗期管理 .....	107
<b>第二节 高产稻田的整地与土壤培肥</b> .....	110
一、高产稻田的整地要求 .....	110
二、整地方法 .....	111
三、稻田土壤培肥 .....	113
<b>第三节 插秧</b> .....	117
一、移栽时期 .....	117
二、移栽规格 .....	117
三、稀植栽培的作用 .....	118
四、处理好密度与其它因素的关系 .....	123
五、提高插秧质量 .....	124
<b>第六章 水稻分蘖期的优化管理</b> .....	125
<b>第一节 水稻分蘖期的生育特点及主攻目标</b> .....	125
一、分蘖期的主攻目标 .....	125
二、分蘖发生及其成穗规律 .....	126
三、影响分蘖的因素 .....	126
四、优化栽培中分蘖的作用 .....	129
<b>第二节 水稻配方施肥</b> .....	130
一、施肥对水稻生长发育的影响 .....	131
二、配方施肥的内容与技术 .....	134
<b>第三节 水稻分蘖期的优化灌溉</b> .....	137
一、水对水稻分蘖的影响 .....	137
二、优化灌溉技术 .....	137
<b>第四节 除草</b> .....	140
一、常见的稻田杂草种类 .....	140
二、化学药剂除草 .....	140

三、田埂杂草的防除及综合利用 .....	146
<b>第七章 水稻长穗期的优化管理 .....</b>	<b>147</b>
<b>第一节 水稻长穗期的生育特点及主攻目标 .....</b>	<b>147</b>
一、长穗期的主攻目标 .....	147
二、建立合理的群体结构 .....	147
三、培育壮秆大穗 .....	148
<b>第二节 水稻长穗期的肥水管理 .....</b>	<b>149</b>
一、巧施穗肥 .....	149
二、浅水灌溉 .....	153
<b>第三节 水稻病虫害综合防治 .....</b>	<b>153</b>
一、栽培措施对病虫害发生程度的影响 .....	153
二、水稻主要病害及其防治 .....	158
三、水稻主要虫害及其防治 .....	162
<b>第四节 营养诊断与生育调节 .....</b>	<b>163</b>
一、株型诊断 .....	163
二、营养诊断 .....	164
三、生育调节 .....	167
<b>第八章 水稻结实期的优化管理 .....</b>	<b>168</b>
<b>第一节 水稻结实期的生育特点及主攻目标 .....</b>	<b>168</b>
一、水稻灌浆特点 .....	168
二、灌浆结实期间的光合作用 .....	172
三、提高成粒率 .....	173
四、活秆成熟 .....	174
<b>第二节 水稻结实期的主要管理措施 .....</b>	<b>177</b>
一、结实期的具体管理措施 .....	177
二、低温冷害及其防御 .....	180
三、防止早衰 .....	184
四、倒伏及其预防 .....	184
<b>第九章 水稻优化栽培的现状与展望 .....</b>	<b>186</b>
<b>第一节 水稻优化栽培的现状 .....</b>	<b>186</b>
一、水稻规范化栽培 .....	186



二、水稻模式化栽培 .....	187
三、水稻连续高产的实例 .....	194
第二节 水稻栽培技术的现代化展望 .....	196
一、水稻生产机械化 .....	196
二、数学及计算机在水稻高产栽培中的应用 .....	198
三、水稻栽培技术的现代化 .....	199
主要参考文献 .....	203

## 第一章 水稻产量的变化规律与优化

水稻是我国最主要的粮食作物，其播种面积和总产均占粮食作物的首位。我国劳动人民栽培水稻的历史悠久，在几千年的生产实践和科学实验中，积累了丰富的稻作经验。新中国成立后，通过采取大力开展农田水利建设、在南方发展双季稻、普及优良品种、增施肥料、推广运用先进的水稻栽培经验和技術、加强病虫害防治等措施，我国水稻生产又有了突飞猛进的发展。特别是杂交水稻和株型较好的常规品种问世以来，水稻产量明显提高。江苏出现了一季亩产 900kg 的田块，云南出现了亩产 1000kg 以上的高产纪录，浙江出现了双季亩产 1600kg 的高产典型，就连地处北方的辽宁、宁夏、新疆等稻区，一些高产水稻的亩产也超过 750kg。与此同时，许多学者研究了水稻高产的理论与技术，取得了大量可喜的成果<sup>[1,2,3,4,5]</sup>。这些高产典型和研究成果的出现，开阔了人们的视野，使许多从事水稻高产研究的技术人员看到了进一步提高水稻产量的可行性，从而产生了进一步挖掘水稻产量潜力的浓厚兴趣。

1979 年之后，蒋彭炎等根据几年的研究结果，提出了春粮田早稻稀少平促高产栽培法，其技术要点是稀播，培育多蘖壮秧，少本插，减少群体主茎基数；增加中后期施肥比重；中期多次轻搁，后期干干湿湿，增加根系活力。采取“稀少平促”法栽培的水稻分蘖消长比较合理，成穗率高；茎叶布局比较适当，光合效率高；穗粒结构比较协调，穗形大，结实率高；光合产物分配的经济效益较高，谷草比大<sup>[6,7,8]</sup>。这种栽培方法为水稻栽培的增产增收开辟了一条新路，对我们的研究也起了重要的参考作用。

在国外，对于水稻栽培的实践比较重视。栽培目标大致分为两类：一类以日本、朝鲜为代表，注重产量和米质，如日本战后曾进行了 20 余年的水稻高产竞赛，水稻单产一直较高；一类以美国、澳大利亚等国为代表，以机械化栽培为手段，注重提高栽培水稻的经济效益。在水稻高产研究方面，许多学者进行了较深入的研究，也取得了许多有价值的研究成果，其中比较典型的应该首推日本的松岛省三，他系统地研究了水稻的生长发育和产量形成，提出了进一步提高水稻产量应该培育“理想稻”的理论及配套技术<sup>[72]</sup>。这些工作也给我们的研究提供了经验和方法。

## 第一节 预备试验结果的分析

作物栽培是把品种的潜在生产能力和环境资源转化为生产力的直接过程。借鉴国内外的先进经验，使良种和良法配套，充分发挥品种的增产潜力和地区生态条件优势，实现水稻栽培的高产、稳产、优质、高效，并逐步实现水稻栽培技术的现代化，既是现代水稻栽培的目标，也是我们研究的出发点。

### 一、施肥量试验结果分析

沈农 1033 是采用籼粳杂交育成的粳稻品系，具有植株较矮、株型紧凑、叶片直立等特点。为了探讨株型较好的水稻的现实生产力，1981 年，以沈农 1033 为试验材料，在辽宁省辽中县刘二堡进行了本田不同施氮量的单因子试验。试验设亩施硫酸铵 40kg、47.5kg、55kg 三个处理，三次重复，采用拉丁方设计，小区长 8.2m，宽 8.1m。采用营养土保温早育苗，4 月 7 日播种，5 月 23 日插秧，行距 30cm，穴距 10cm，平均每穴插 3 苗。氮肥分基肥、蘖肥、穗肥三次施，其施用量分别占氮肥总量的 40%、45%、15%。另外，各处理亩施过磷酸钙 50kg，其它管理按当时的生产水平进行。结果趋势与许多同类试验基本一致，即随着氮肥施用水平的提高，水稻产量有所提高，每亩施硫酸铵 40kg 的处理平均

亩产 612.8kg, 47.5kg 的处理平均亩产 638.1kg, 55kg 的处理平均亩产 656.9kg, 处理之间差异显著。当每亩硫酸铵施用量由 40kg 增至 47.5kg 时, 水稻亩产量增加 25.3kg; 当由 47.5kg 增至 55kg 时, 水稻亩产量增加 18.8kg, 产量与氮肥施用量之间基本呈抛物线, 存在一定程度的报酬递减现象, 但不太显著。

由于当时试验区中出现了亩产 650kg 以上的田块, 长得较好的 2 亩沈农 1033 亩产也达到了 656.5kg, 试种的 21.9 亩沈农 1033 平均亩产达到 616.5kg, 显著高于当地主栽品种丰锦, 因此, 初步证明了通过改良水稻株型, 并配合适当的栽培措施, 使水稻单产增加 100kg 是可行的<sup>[9]</sup>。

## 二、裂区试验结果分析

杂交水稻推广以后, 由于种子满足不了推广的需要, 加之杂交种子价格较高, 杂交水稻又有明显的杂种优势, 秧田播种量明显减少, 4—5 片叶插秧的秧苗每平方米播种量仅 100—200g, 5 片叶以上一般低于 100g, 因此, 秧苗健壮, 每穴用秧量 2—3 株就可以获得高产。常规品种能否也象杂交稻那样稀播少本插秧, 是一个值得研究的问题。尽管当时一些研究单位进行了播种量试验, 发现稀播可以使水稻的秧苗素质、特别是分蘖能力明显提高, 容易获得高产, 但人们担心稀播以后如果按原来的用秧量插秧, 要增加秧田面积和育秧成本, 利用秧田分蘖则又担心秧田分蘖在本田能否成活及最终对产量的影响。为此, 在“稀少平促”栽培法的启发下, 在刘二堡还进行了以秧田播种量为主要内容的密度试验<sup>[10]</sup>。

试验材料选用丰锦和沈农 1033。在营养土保温旱育苗条件下, 秧田播种量设每平方米 100g、200g、300g、400g 四个水平, 研究不同播种量对秧苗素质的影响及其秧苗在本田的表现。为了不增加秧田, 秧本田比例固定, 按照密播多插、稀播少插的原则, 相应设每穴插 2 苗、3—4 苗、5—6 苗、7—8 苗四个水平。以品种为主区, 密度为副区, 四次重复。行距 30cm, 穴距 10cm, 亩施硫

酸铵 55kg, 过磷酸钙 50kg, 其它管理也完全相同。

表 1-1 是试验的产量结果。调查结果表明, 在带土移栽、插秧质量较好的情况下, 稀播壮秧的秧田分蘖在本田基本都能成活。插秧时不同密度处理的田间茎蘖数虽然相对差异悬殊, 但由于稀播秧苗健壮, 插后返青快, 分蘖早, 单株分蘖多, 尽管有效分蘖期有所推迟, 但抽穗期并没有推迟, 不仅最终穗数与密播的相对差异较小, 而且穗较大, 每穗成粒数较多, 结果稻谷产量不同播种量处理间差异很小 ( $F=0.02$ )。品种间虽然差异显著, 沈农 1033 显著高于丰锦 ( $F=12.55^{**}$ ), 但具有相同的趋势。以上结果表明, 在秧本田比例一定, 即不增加秧田面积的前提下, 稀播种培育带蘖壮秧, 少本插利用分蘖, 可以起到以蘖代苗的作用。这不仅可以减少用种量, 每年会节省大量种子, 而且可以降低用种成本, 提高种植水稻的经济效益。

表 1-1 1981 年裂区试验的实际产量 (kg/亩)

密度 重复	品种 (g/m <sup>2</sup> )	沈 农 1 0 3 3				丰 锦			
		100	200	300	400	100	200	300	400
I		608.9	584.4	611.1	626.6	470.2	497.8	515.9	495.5
II		606.6	576.8	608.9	600.0	586.6	591.1	513.3	577.7
III		602.2	620.0	666.6	626.6	511.1	477.8	513.3	439.1
IV		604.4	640.0	568.0	597.7	533.3	528.9	540.0	544.4
平 均		605.5	605.3	613.7	612.7	525.3	523.9	520.6	514.2

从当时田间调查情况看, 施肥量试验中, 亩施硫酸铵 55kg 小区的水稻有 20% 左右倾斜; 密度试验中播种量每平方米 300g 和 400g, 即相应每穴插 5—6 苗、7—8 苗处理组合的丰锦多数发生倒伏, 沈农 1033 也部分倾斜。上述结果表明, 施肥量与密度之间存在一定程度的交互作用, 仅仅用单因子试验或普通设计的研究方法不容易掌握水稻产量与栽培措施之间的关系。

## 第二节 复因子处理条件下的产量变化

### 一、高产优化栽培模式试验结果分析

1982年,杨守仁教授安排作者进行水稻高产研究,并由他和高佩文教授指导。为了研究栽培措施与产量及产量构成因素之间的定量关系,采用二次回归正交设计,进行了不同营养元素对水稻产量的影响研究。同年8月,作者专程赴徐州农业科学研究所考察杂交稻赣化2号的高产田,学习颜振德的水稻高产栽培经验。为了了解生产情况,掌握各地水稻栽培的先进经验和技術,还在辽宁省的一些水稻高产地区进行调查,并参加北方农垦稻作学术暨生产经验交流会。在上述工作的基础上,1983—1984年,利用沈农1033为试验材料,采用二次回归正交设计,进行了水稻高产优化栽培模式研究<sup>[11]</sup>。

试验选用施肥量、后期氮肥比例和秧田播种量三个因子,分别以  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  代表。其中1984年施肥量设每亩施硫酸铵40kg、42.7kg、55kg、67.3kg、70kg(并相应亩施过磷酸钙32kg、34.1kg、44kg、53.9kg、56kg,硫酸钾12kg、12.8kg、16.5kg、20.2kg、21kg)五个水平;后期氮肥比例(指中后期施用的穗、粒氮肥占氮肥总量的百分比)设0、5.3%、30%、54.7%、60%五个水平;秧田播种量设每平方米78.5g、100g、200g、300g、321.5g,并相应每穴插1株、1—2株、2—3株、3—4株、4—5株基本苗五个水平。各组合均采用营养土保温早育苗,4月初播种,5月下旬插秧,带土移栽,行距30cm,穴距13.3cm。整地前施农家肥,合每亩1000kg。水耙地前施磷肥和基施的氮肥,6月初追一期分蘖肥,6月中旬追二期分蘖肥(调整肥),基肥和分蘖肥的氮肥量各占前期氮肥量的二分之一,两次分蘖肥则按6:4分配。减数分裂期施穗肥和钾肥,齐穗后施粒肥,穗肥和粒肥分别占后期氮肥量的60%和40%。浅、湿、干相结合节水灌溉,化学药剂除草,综合防

治病虫害，其它管理按常规进行。

试验结果表明，产量与处理因子间存在着复杂的因果关系，呈极显著的二次曲线，许多偏回归系数达到  $F_{0.05}$  以上的显著平准。产量回归方程为：

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 716.4 + 20.69x_1 - 14.01x_2 + 7.723x_3 + 17.44x_1x_2 \\ & - 4.988x_1x_3 + 11.96x_2x_3 - 18.83x_1^2 - 14.10x_2^2 \\ & - 22.21x_3^2 \quad (F = 3.60^{**}, 1984) \end{aligned}$$

在试验处理范围内，随着施肥量的增加，产量有所增加，但

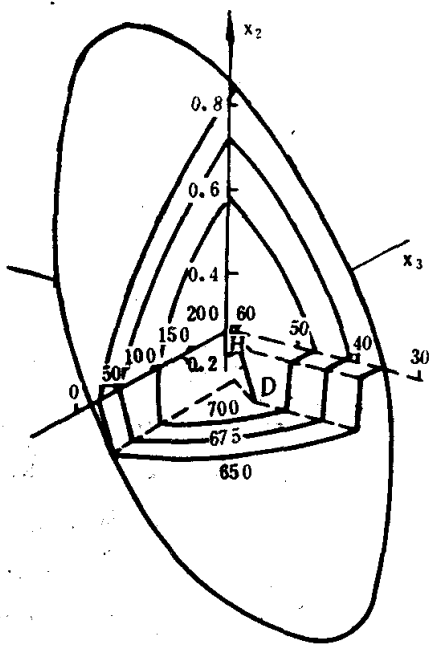


图 1-1 产量分布图 (沈农 1033, 亩施硫酸铵 50—60kg、后期氮肥比例 15—30%、每平方米播种量 150—250g 范围之内 (图 1-1)。1983 年试验的产量略低于 1984 年，但产量受处理因子影响的变化规律与 1984 年相似。

## 二、高产生理生态研究试验结果分析

辽粳 5 号是辽宁省审定的第一个株型较好的常规水稻品种，具有矮秆、株型紧凑、耐肥抗倒、叶片上冲、穗型直立、产量高等优点。为了探索辽粳 5 号的生理指标和生态条件的变化规律，

掌握与高产相适应的生理基础和生态条件，为大面积高产提供科学依据，1985—1986年，进行了水稻高产生理生态研究<sup>[12]</sup>。

试验采用二次回归通用旋转组合设计，选用氮肥施用量 ( $x_1$ )、后期氮肥比例 ( $x_2$ )、插秧基本苗数 ( $x_3$ ) 三个因子。其中氮肥施用量设每亩施硫酸铵 30kg、40kg、55kg、70kg、80kg 五个水平；后期氮肥比例设 0、12.2%、30%、47.8%、60% 五个水平；插秧基本苗数设每穴 1 株、2 株、3—4 株、5 株、6 株五个水平。每平方米播种量 150g，本田行距 30cm，穴距 13.3cm，除氮肥外，又亩施过磷酸钙 50kg、硫酸钾 20kg、硅肥 10kg、农家肥 1000kg，其它管理按模式化栽培技术进行。

试验结果表明，在秧苗素质相同的条件下，产量与处理因子间也呈极显著的多元二次模型，许多偏回归系数达到  $t_{0.05}$  以上的显著平准。例如，1986 年产量与处理因子间的回归方程为：

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 652.5 - 2.100x_1 + 2.021x_2 - 17.69x_3 - 7.063x_1x_2 \\ & - 2.338x_1x_3 + 16.04x_2x_3 - 8.153x_1^2 - 26.29x_2^2 \\ & - 12.08x_3^2 \quad (F = 5.79^{**}) \end{aligned}$$

同优化栽培模式研究结果相似，产量与氮肥施用量、后期氮肥比例、插秧基本苗数之间都呈抛物线，说明处理因子量对产量的作用存在适宜范围。综合两年试验结果，亩产超过 600kg 的高产区主要分布在每亩施硫酸铵 50—60kg、后期氮肥比例 10—30%、每穴插秧 1.5—3.5 株范围之内；亩产可以达到 650kg 的措施组合主要分布在每亩施硫酸铵 50—60kg、后期氮肥比例 20—30%、每穴插秧 2—3 株范围之内。

上述两项研究都采用二次回归设计，可以既定性又定量地研究水稻高产规律。所选用的施肥量或氮肥施用量，目的之一在于研究所用新品种的需肥水平，其对产量的作用同单因子试验相似，基本呈抛物线，存在报酬递减现象，因此，不是施用量越多产量越高，而是存在适宜范围。后期氮肥比例的实质是比较不同施肥方法在本地区的适用性。后期氮肥比例低于 10% 或不施穗、



粒肥的处理代表前重后轻施肥法；达到50%以上代表前轻后重施肥法；二者之间三段五次施，每次都有一定数量，基本属于平稳施肥法。结果表明在辽宁中部的自然条件下，采用平稳施肥法水稻产量较高，当然肥料利用率也较高。播种量及插秧基本苗数都属于密度的范畴，目的之一是研究播种量与秧苗素质的关系、壮秧少本插的可行性。结果是不论秧本田比例相同时稀播少本插同密播多本插相比，还是秧本田比例不同时稀播少本插同稀播多本插相比，都是稀播秧苗健壮，在此基础上少本插具有增产增收的效果。这种复因子试验的另一目的是研究因子间的交互作用。结果是插秧基本苗数少时适当增加前期的施肥比例及数量，或插秧基本苗数多时适当增加中后期施肥的比例及数量，产量较高，其它交互作用品种间或年度间反应不尽相同。

四年的试验结果证明，由低产变高产时，限制产量的主要是肥力因素，增加施肥量就可以高产，然而高产再高产时，必须是施肥量、施肥方法、密度等许多措施相互配合，按最优组合栽培。针对当时生产上存在的大水、大肥、密播、多插等实际问题，应该改“大头肥”为分段多次施肥，适当增加中后期施肥比例，并适当降低秧田播种量，减少插秧基本苗数，这样既可以提高水稻产量，又可以降低生产成本，增加经济效益。这与浙江“稀少平”栽培法的观点基本是一致的。

另外，其它调查还证明，水稻的形态特征、产量构成因素、生理指标、农田生态条件等也受处理因子影响，与处理因子之间存在着一定的因果关系。这是既定性又定量地研究水稻高产规律的基础。

### 第三节 高效益研究

#### 一、高产高效益试验的产量

随着农村商品经济的发展和劳动力向二、三产业的转移，种