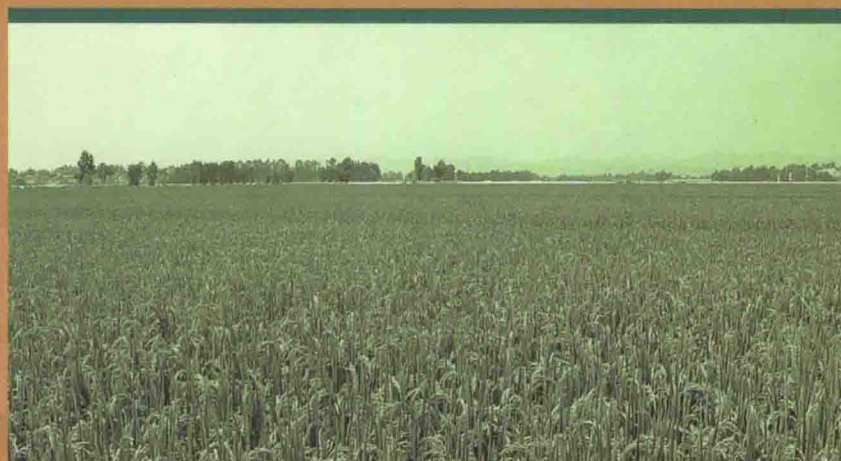


# 粳稻产量品质形成 及调控对策

马莲菊 王 术 著



科学出版社

# 粳稻产量品质形成及调控对策

马莲菊 王 术 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

辽宁省水稻生产水平居全国前列,属粳型,直链淀粉含量低,胶稠度大,适口性好,深受人们青睐。株型理想的直立穗型水稻品种辽粳 5 号育成使辽宁水稻单产有了大幅度提高。继辽粳 5 号之后,又有一批丰产性良好的品种问世,如辽粳 326、沈农 91、沈农 611 等。这类品种具有喜肥、喜水、抗倒伏等特点,为水稻生产作出了突出贡献。然而,随着人们生活水平的日益提高,以及稻米市场的开放等,人们对稻米品质的要求越来越高。因此,研究粳稻产量品质形成基础及相应的高产优质配套措施对粳稻生产水平的提高具有重要的理论意义和现实意义。

本书对与产量形成关系密切的生理性状进行研究,探讨了株型特征、水稻生育后期光合特性及抽穗后干物质生产等方面对产量的影响;利用偏相关分析、主成分分析、AMMI 模型及聚类分析等方法,研究稻米品质特点及稻米品质稳定性;对不同穗型水稻品种进行源库处理,探讨不同粒位稻米品质形成生理基础;从施肥、栽培方式及有效生物群方面探讨北方粳稻高产优质配套措施等,为水稻高产优良品种选育工作奠定了坚实的基础。

本书可供水稻种植、管理工作者和高等农业院校师生及有关科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

粳稻产量品质形成及调控对策/马莲菊,王术著. —北京:科学出版社  
ISBN 978-7-03-037358-8

I. 粳… II. ①马…②王… III. ①粳稻-产量-研究②粳稻-粮食品质-研究 IV. ①S511.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 083195 号

责任编辑:高 嵘 孙晓洁 / 责任校对:桂伟利

责任印制:彭 超 / 封面设计:苏 波

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 4 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 4 月第一次印刷 印张:10 1/2

字数:200 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 作者简介

马莲菊（1969—），博士，副教授，硕士生导师。1994年毕业于沈阳师范大学，获理学学士学位；1997年获沈阳农业大学农学院作物遗传育种专业农学硕士学位，2005年获沈阳农业大学农学院作物遗传育种专业农学博士学位。现任沈阳师范大学化学与生命科学学院微生物与遗传学教研室主任。

多年来一直从事粳稻遗传育种和逆境生理的科研工作，先后主持辽宁省自然科学基金、辽宁省教育厅科研基金项目，沈阳市人才专项基金及校博士启动基金项目等。作为主要完成人，先后参加国家自然科学基金及省市基金项目10余项。发表论文30余篇，其中2篇论文获辽宁省学术成果奖；科研成果获辽宁省科技进步一等奖1项，农村推广奖二等奖1项；参加选育粳稻新品种1个；参与编写专著1部；申请专利1项。同时承担遗传学、分子遗传学、专业外语等多门课程的本科生及研究生的教学工作。2009年获沈阳师范大学“十大巾帼建功立业标兵”称号。

王术（1968—），博士，教授，博士生导师。1993年毕业于沈阳农业大学农学专业，获农学学士学位，留校任教。1996年获农学硕士学位；1999年获农学博士学位。2000年8月至2001年7月获国家教委留学基金资助，赴加拿大农业部进行合作研究。2003年3月至2005年2月获加拿大自然科学研究基金（NSERC）资助，再次赴加拿大农业部从事作物分子生物学的博士后研究。现任沈阳农业大学农学院作物栽培与耕作教研室主任。主讲本科生专业课及博士生课程。

目前主要从事粳稻、小麦高产优质栽培、生理和遗传改良的科研和教学工作。近10年来，主持国家、省部级科研课题5项，主编及参编著作各1部，在《中国农业科学》（英文版）、《作物学报》和《沈阳农业大学学报》等刊物上发表科研论文20余篇，主持选育粳稻、春小麦新品种各1个，参加选育优质高产多抗粳稻新品种16个，申请农业部植物新品种保护权5个。科研成果获辽宁省科技进步一等奖1项，三等奖2项，获农业部丰收奖三等奖1项，获辽宁省农委农业科技贡献一等奖2项，2篇论文获辽宁省学术成果一等奖。2004年入选辽宁省“百千万人才工程”千人层次，2011年入选辽宁省“百千万人才工程”百人层次。

## 前 言

粳稻是世界上重要的粮食作物之一，在我国则是第一大粮食作物，占全国粮食总产量的40%左右。20世纪90年代中后期，我国约有65%的人口以稻米为主食，常年稻谷消费量为1.8亿~1.9亿t。粳稻在辽宁省也是最重要的粮食作物，播种面积占粮食作物播种面积的18%左右，产量约占粮食总产量的22%。

稻米也是我国的传统大宗出口商品，在世界主要稻米出口国中我国位列第9。但全球稻米贸易总量仅为世界稻谷总产量的4%~5%，由于市场狭小，国际稻米市场竞争激烈，因此米质差的品种很难打入国际市场。近年来，人们生活水平日益提高，膳食结构和食用习惯发生改变，对稻米品质的要求越来越高，促使各国大力提高稻米品质，以增强国际竞争力。由此可见，我国稻米生产既要重视产量，也要重视品质，要高产和优质并重。

为此，作者将10多年来的研究进行了回顾和总结，并对有关方面的工作加以介绍，以便和国内同行进行交流，为高产优良粳稻品种的选育提供理论参考，以促进我国粳稻产量和品质再上新台阶。本书主要内容分为绪论、粳稻生理与产量形成、粳稻生理与品质形成、施肥及栽培方式和有效微生物群对粳稻产量的影响共5篇内容。

值本书完成之际，作者对在研究中的合作者以及所有提供过帮助的人们表示诚挚的谢意。他们是：沈阳师范大学李玥莹教授、李雪梅教授、马纯艳教授、卜宁副教授、陶思源高级实验师、王升厚高级实验师、李娜实验师、陈强实验师、潘兴同学、王宇同学和蒋滢同学等；沈阳农业大学吕文彦副教授、张宝石教授、王伯伦教授、张龙步教授、郭玉华教授、于翠梅副教授、曹萍实验师等；沈阳市农村经济委员会种植业处高峰处长。

本书的一系列研究工作得到辽宁省自然科学基金（20032092，20102205）、辽宁省教育厅科研基金（L2010516）、辽宁省博士启动基金（2001102059）和国家自然科学基金（31270369）的支持。

限于作者水平有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

作 者

2012年5月于沈阳

# 目 录

## 前言

## 第一篇 绪 论

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 梗稻产量形成研究进展              | 3  |
| 1.1 梗稻产量构成要素                  | 3  |
| 1.2 梗稻灌浆特性与产量关系               | 3  |
| 1.3 光合特性与产量关系                 | 5  |
| 1.4 高产梗稻群体结构特征与产量关系           | 6  |
| 1.4.1 茎叶结构                    | 6  |
| 1.4.2 穗粒结构                    | 8  |
| 第 2 章 梗稻稻米品质形成研究进展            | 10 |
| 2.1 稻米品质研究概况                  | 10 |
| 2.1.1 稻米的组分及其品质评价             | 10 |
| 2.1.2 稻米品质性状的相关性              | 12 |
| 2.2 稻米品质形成的生理基础               | 13 |
| 2.2.1 蔗糖及与其相关的酶               | 14 |
| 2.2.2 淀粉的生物合成及其关键酶            | 16 |
| 2.2.3 稻米品质形成过程中关键酶及其活性的动态变化研究 | 19 |
| 2.2.4 胚乳淀粉积累与稻米品质的关系          | 20 |
| 2.3 梗稻灌浆特性与稻米品质关系             | 21 |
| 第 3 章 高产梗稻群体调控技术              | 22 |
| 3.1 梗稻栽培技术对产量的影响              | 22 |
| 3.1.1 梗稻种植方式发展趋势              | 22 |
| 3.1.2 氮肥施用技术现状                | 23 |
| 3.2 植物生长调节剂和生物制剂在梗稻生产中的应用     | 24 |
| 3.2.1 植物生长调节剂                 | 24 |
| 3.2.2 生物制剂                    | 24 |

## 第二篇 梗稻生理与产量形成

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 4 章 不同穗型梗稻品种抽穗后物质生产与灌浆特性的比较研究 | 29 |
| 4.1 材料与方法                       | 29 |

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 4.2   | 结果与分析                  | 30 |
| 4.2.1 | 不同穗型品种的产量比较            | 30 |
| 4.2.2 | 不同穗型品种抽穗后物质生产与分配的比较    | 32 |
| 4.2.3 | 不同穗型品种穗部性状和籽粒灌浆特性的比较   | 37 |
| 4.2.4 | 不同穗型品种穗部功能的初步比较        | 46 |
| 4.3   | 结论和讨论                  | 49 |
| 第5章   | 不同类型粳稻品种产量生理特性与株型特征的研究 | 52 |
| 5.1   | 材料与方法                  | 52 |
| 5.1.1 | 试验材料                   | 52 |
| 5.1.2 | 试验方法                   | 52 |
| 5.2   | 结果与分析                  | 53 |
| 5.2.1 | 产量构成因素与稻谷产量的关系         | 53 |
| 5.2.2 | 高产粳稻群体生理特性研究           | 55 |
| 5.2.3 | 高产粳稻群体株型特征的研究          | 61 |
| 5.3   | 小结                     | 64 |
| 5.4   | 讨论                     | 65 |
| 5.4.1 | 从品种演变看产量三因素在粳稻高产中的作用   | 65 |
| 5.4.2 | 生物产量和经济系数在粳稻产量形成中的作用   | 66 |
| 5.4.3 | 粳稻品种的光合特性与高产育种和栽培      | 67 |
| 5.4.4 | 高产粳稻品种的株型特征            | 68 |

第三篇 粳稻生理与品质形成

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 第6章   | 辽宁省粳稻品种品质特点            | 73 |
| 6.1   | 材料与方法                  | 73 |
| 6.1.1 | 试验材料                   | 73 |
| 6.1.2 | 方法                     | 73 |
| 6.2   | 结果与分析                  | 74 |
| 6.2.1 | 不同类型粳稻稻米品质及经济性性状概况     | 74 |
| 6.2.2 | 品质性状与经济性性状的关系          | 76 |
| 6.2.3 | 品质性状的主成分分析             | 78 |
| 6.2.4 | 品质性状的适应性和稳定性           | 79 |
| 6.3   | 小结                     | 84 |
| 6.4   | 讨论                     | 85 |
| 6.4.1 | 外观品质是影响辽宁省粳稻稻米品质的主要因素  | 85 |
| 6.4.2 | 利用 AMMI 模型分析粳稻品种品质的稳定性 | 85 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第 7 章 稻米品质形成生理的比较研究 .....         | 87  |
| 7.1 材料与方法 .....                   | 87  |
| 7.1.1 试验材料 .....                  | 87  |
| 7.1.2 方法 .....                    | 87  |
| 7.2 结果与分析 .....                   | 91  |
| 7.2.1 籽粒灌浆特性 .....                | 91  |
| 7.2.2 籽粒发育期间胚乳中有关糖代谢的酶的活性变化 ..... | 100 |
| 7.2.3 酶活性与灌浆速率的关系 .....           | 108 |
| 7.2.4 八品种强、弱势粒稻米品质 .....          | 108 |
| 7.2.5 生理特性与稻米品质的关系 .....          | 112 |
| 7.3 小结 .....                      | 114 |
| 7.4 讨论 .....                      | 115 |

#### 第四篇 施肥及栽培方式对粳稻产量影响

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第 8 章 不同类型粳稻品种氮肥利用效果研究 .....         | 119 |
| 8.1 材料与方法 .....                      | 119 |
| 8.1.1 试验材料 .....                     | 119 |
| 8.1.2 试验方法 .....                     | 119 |
| 8.1.3 项目调查 .....                     | 119 |
| 8.2 结果与分析 .....                      | 120 |
| 8.2.1 不同氮肥水平下各品种生物产量、经济产量和经济系数 ..... | 120 |
| 8.2.2 不同氮素水平下各品种主要农艺性状的差异 .....      | 120 |
| 8.2.3 不同氮素水平下各品种的生理特性研究 .....        | 123 |
| 8.2.4 不同氮素水平下各品种某些形态特征的差异 .....      | 125 |
| 8.2.5 不同品种中等肥力下群体生产力和个体生产力的比较 .....  | 125 |
| 8.3 小结 .....                         | 126 |
| 第 9 章 栽培方式对粳稻产量的影响 .....             | 128 |
| 9.1 材料与方法 .....                      | 128 |
| 9.1.1 供试品种 .....                     | 128 |
| 9.1.2 栽培方式 .....                     | 128 |
| 9.1.3 田间管理 .....                     | 128 |
| 9.1.4 测试方法 .....                     | 128 |
| 9.2 结果与分析 .....                      | 128 |
| 9.2.1 不同栽培方式对产量及主要农艺性状的影响 .....      | 128 |
| 9.2.2 不同栽培方式边际效应分析 .....             | 130 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 9.2.3 不同栽培方式对粳稻群体生长发育的影响 ..... | 131 |
| 9.2.4 不同栽培方式的经济效益分析 .....      | 134 |
| 9.3 小结 .....                   | 136 |

## 第五篇 有效微生物群对粳稻产量影响

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 第10章 有效微生物群 (EM) 对粳稻发芽和秧苗素质的影响 .....       | 139 |
| 10.1 材料与方法 .....                           | 139 |
| 10.1.1 EM 粳稻浸种试验 .....                     | 139 |
| 10.1.2 EM 浸种防治病害试验 .....                   | 139 |
| 10.1.3 EM 及植物生长调节剂发芽试验 .....               | 139 |
| 10.1.4 EM 及植物生长调节剂秧苗喷施试验 .....             | 140 |
| 10.2 结果与分析 .....                           | 140 |
| 10.2.1 EM 粳稻浸种对粳稻发芽势的影响 .....              | 140 |
| 10.2.2 EM 浸种对粳稻秧苗素质的影响 .....               | 141 |
| 10.2.3 抗病效果和 EM-5 号抗菌菌群的分离 .....           | 141 |
| 10.2.4 粳稻秧苗喷施 EM 及植物生长调节剂秧苗素质比较 .....      | 142 |
| 10.3 结论 .....                              | 143 |
| 第11章 有效微生物群 (EM) 对粳稻产量的影响 .....            | 144 |
| 11.1 材料和方法 .....                           | 144 |
| 11.1.1 试验材料 .....                          | 144 |
| 11.1.2 试验方法 .....                          | 144 |
| 11.2 结果与分析 .....                           | 145 |
| 11.2.1 EM 浸种粳稻对产量和经济效益的影响 .....            | 145 |
| 11.2.2 粳稻苗期 EM 喷雾增产效果 .....                | 145 |
| 11.2.3 粳稻秧苗喷施 EM 及植物生长调节剂秧苗素质和增产效果比较 ..... | 146 |
| 11.3 结论与讨论 .....                           | 147 |
| 参考文献 .....                                 | 148 |

# 第一篇 绪 论



# 第 1 章 粳稻产量形成研究进展

## 1.1 粳稻产量构成要素

粳稻产量包括生物产量和经济产量。生物产量是指粳稻在生育期间生产和积累有机物的总量，即整个植株（不包括根系）总干物质的收获量。经济产量则是按栽培目的所需产品的收获量。作物的经济产量是生物产量的一部分，其形成以生物产量为物质基础。生物产量转化为经济产量的效率，称为经济系数，即作物的经济产量在生物产量中的比例。粳稻的经济系数为 50% 左右。粳稻在正常生长情况下，经济系数是相对稳定的，因而生物产量越高，经济产量一般也越高，因此提高生物产量是获得粳稻高产的基础。

每亩<sup>①</sup>有效穗数、每穗结实粒数和粒重（千粒重）是构成粳稻产量的三要素。单位面积的有效穗数取决于基本苗数，在一定范围内随其增加而增加。当每亩穗数增加到一定范围后，穗数与粒数矛盾增大，即每亩有效穗数的增加会导致每穗结实粒数的减少，若每穗结实粒数减少造成的损失不能由增加的穗数来弥补时，产量就会下降。千粒重是一个相对稳定的因素，但如气候条件差、栽培管理不当，千粒重小，也能对产量造成严重影响。因此，只有合理选择品种，加强栽培管理，正确协调个体与群体关系，调整各因素之间最佳构成，才能获得高产。

## 1.2 粳稻灌浆特性与产量关系

粳稻籽粒灌浆最终决定粒重和稻米产量，是重要的生理过程。籽粒的灌浆过程主要受制于品种，粒重的增加量受灌浆物质供应量、同化物运输速度、库强度、物质分配及外界各种条件的影响，最终表现在灌浆速度和灌浆时间上。

有关粳稻籽粒灌浆方面的研究，最早始于长户一雄（1941），王天铎于 1962 年以晚粳品种老来青为材料，发现粳稻开花后早期（4~8 天）营养不足（减源或遮光）时，可使尚未启动灌浆的弱势粒停止增重，而以后（12~16 天）即使营养改善了，则一度停止灌浆的籽粒也不再恢复灌浆，由此他认为粳稻籽粒灌浆

---

① 1 亩≈666.67m<sup>2</sup>

的调节作用不同于其他生理过程,不可多次反复进行,进而提出梗稻籽粒灌浆的调节过程在时间上有一定局限性与阶段性,以及灌浆能力的不可逆变化等观点。上述观点影响甚大,直到1979年朱庆森等发现梗稻弱势粒受精后曾一度滞育,而后又能恢复灌浆能力,从而证实梗稻籽粒形成过程绝非是一次完成的或不可调节的,而是陆续启动增重的。梗稻强势粒受精后迅速增重,在某种程度上暂时减缓或一度抑制弱势粒;待强势粒增重高峰下降后,弱势粒才会相应出现增重高峰;强、弱势粒之间似乎存在着启动灌浆所需的不同的“能障”或“阈值”,粒位间似乎存在顺序跨越并顺序积累干物质的阶梯效应,称为阶梯式灌浆;如果梗稻弱势粒灌浆启动较早,在时间上与强势粒同步,称为强弱势粒同步灌浆型;如果弱势粒受精后相当一段时间内增重缓慢,待强势粒增重高峰(达最终粒重99%)下降后,弱势粒才开始加速灌浆,称为强弱势粒异步灌浆型,即梗稻籽粒的两段灌浆(朱庆森等,1988)。马国辉(1996)研究表明两段灌浆是梗稻的共性所在,强、弱势粒的同步灌浆及弱势粒的异步灌浆能力的差异决定该特性的表达。同步性强,异步性弱,两段灌浆表现不明显;同步性弱,异步性强,两段灌浆表现明显。不同研究者对梗稻两段灌浆这一问题看法各异。马国辉(1996)认为梗稻同步灌浆性强,表现灌浆启动早,速率快,物质撤退早,有利于提高结实率和籽粒充实度。但是,朱庆森等(1988)认为,梗稻同步灌浆型品种的弱势粒进入灌浆早,同一穗中的强、弱势粒比较分散地渐次进入灌浆盛期,对灌浆物质的竞争较缓和,弱势粒在灌浆中后期生长速率较高;对于这种品种,延长灌浆期,改善灌浆中后期的条件,对于提高结实率和产量具有特别重要的意义。朱庆森进一步指出同步灌浆型品种穗小,总颖花量少;而异步灌浆型品种均为大穗型,总颖花量大,并认为异步灌浆型品种的灌浆特点可能是随着生产能力的提高,库容量进一步扩大后,在灌浆过程中协调源库关系的一种方式。

梗稻籽粒灌浆物质主要来自抽穗后的光合同化物和抽穗前积累于茎鞘中的临时性贮存碳水化合物,二者对籽粒灌浆的作用与多种因素有关。徐秋生发现,亚种间杂交稻同穗受精颖花灌浆启动不同步,启动越迟,则充实所需时间越长,增加穗前茎鞘物质贮量并提高其运转率,可明显改善籽粒的充实状况。李木英等(1999)认为,茎鞘物质转运时间早、转运强度大、运转率高对籽粒灌浆充实有重要作用,其作用主要在增加结实率方面,而抽穗后的光合产物主要用于充实籽粒。王志琴等(1996)观察了亚种间杂交组合及其亲本组织的解剖,认为亚杂组合的弱势粒结实率低与韧皮部结构障碍有关,发现亚杂组合每朵颖花占有的干重在全生育期特别是结实期远高于其亲本,而且抽穗后茎鞘不仅没有净输出,反而有净增加;钱月琴等(1992)研究三系杂交稻去半穗后秕粒率,发现秕粒率仍有10%~30%,这说明梗稻弱势粒结实率低也不是营养物质供应不足所致,可能是灌浆启动滞后及其库强较弱所致。陈锦清等(1983)报道,梗稻穗部维管束和谷

粒的发育成熟有关。王余龙等(1995)认为由于粳稻弱勢粒灌浆持续时间长,所以在灌浆物质和籽粒灌浆能力得到保证的条件下,其结实率可达到强势粒的水平。说明弱勢粒的结实能力并不比强势粒低,通过栽培条件的改善能在一定程度上提高弱勢粒的结实率和粒重,提高产量。武翠等(2007)发现强势粒的灌浆受环境影响较小,弱勢粒在灌浆前期、后期受环境影响较大,尤其是后期的细胞质与环境互作效应。这说明通过栽培条件改善能在一定程度上提高弱勢粒的结实率和粒重,提高产量。

### 1.3 光合特性与产量关系

作物干物重的90%来自光合作用。粳稻光合特性的研究始于20世纪40年代末和50年代初,英国的Watson(1952)认为,决定作物产量的因素主要是叶面积的发展,表示光合速率高低的净同化率(NAR)在品种间差异并不大,与产量的关系也不密切,因此当时人们把注意力主要放在叶面积的研究上。Watson提出了“叶面积指数(LAI)”和“叶面积延存期(LAD)”的概念。但随着科学技术的发展,红外线CO<sub>2</sub>分析仪应用于光合作用的测定,人们发现品种间光合速率差异很大,并把光合速率看成是决定产量的一个重要因素(Nelson et al., 1975; Raines, 2011)。

从植物生理学角度、农业技术角度,以及从群体光合作用组成因素的角度,许多学者都对单叶光合速率的提高在未来作物增产中的作用作了充分的估计。石原邦等的研究证明光合速率高是高产品种高产的直接原因。黑田荣喜等(1990)的研究进一步发现,产量不同的新老品种抽穗前光合速率虽无差异,但结实期新品种比老品种高24%。这一点也存在不同观点,Moss和Musgrave(1971)、Nelson等(1975)采用单因子相关分析认为光合速率与产量呈负相关或相关不显著。但Ohno(1976)应用多元回归分析的方法,分析了叶面积及光合速率这两个因素与生物学产量的关系,结论是叶面积对产量的贡献占70%,单叶光合速率占30%。国际粳稻所研究发现在粳稻生殖生长期通过增加CO<sub>2</sub>浓度提高单叶净光合率,能导致产量明显增加。姜楠等(2011)研究表明,随着粳稻品种育成年代的推进,叶片净光合速率增加,产量提高。

光合速率与其他性状相互关系的研究比较多,如粳稻单叶净光合率和成熟期、株高、穗长、谷粒长宽比、比叶面积、单位叶面积含氮量这几个农艺性状无连锁关系。比叶重及叶片含氮量与净光合率呈正相关的看法比较多(Gifford et al., 1984; 林贤青, 2005)。因此,育种家完全可以育成株型、抗性、米质都好而光合速率高的品种。因为粳稻产量主要取决于光合面积、光合时间、光合速率及干物质分配,在今后的育种实践中,如何通过提高光合速率来提高粳稻产量,

是每个粳稻科技工作者所面临的重要任务。

## 1.4 高产粳稻群体结构特征与产量关系

粳稻产量最终是群体产量。高产粳稻群体应该是具有较高光能利用率的群体，而群体合理的光分布是粳稻群体高产的先决条件。作物群体光分布的理论分析是从 20 世纪 50 年代发展起来的。日本的门司正三等通过对草本植物的大量调查，以 Lambert-Beer 定律为基础，提出植物群体光分布定律。我国的殷宏章等（1959）提出了稻田群体光分布定律。自殷宏章先生提出作物“群体”概念以后，人们便开始有针对性地研究作物群体与作物高产的关系。殷宏章先生把粳稻群体按大田结构分为三个层次：光合层（或叶穗层）、支架层（或茎层）和吸收层（或根层）。总之，粳稻群体结构主要包括冠层结构（地上部分）和根层结构（地下部分）。但二者并不是孤立的，而是相辅相成的，前者又可分为茎叶结构和穗粒结构。

### 1.4.1 茎叶结构

绿色叶片是进行光合作用的主要场所，叶片质量的好坏决定粳稻个体及群体优劣。诸多学者对叶片特性进行了深入细致的研究，如叶片的光合特性、解剖特性（马秀玲等，1993；杨建昌等，2001；Chen et al., 2007）。

合理的茎叶结构应该具有大小适宜、配置合理的高光效叶系。第一，单茎要保持较多的绿叶数。研究表明，成熟期顶部不少于两片绿叶数，对于夺取高产是十分必要的形态特征（凌启鸿，1991）。根据中国科学院上海植物生理研究所的测定，稻叶的光补偿点约为 1000lx，高产群体在生育中后期，基部叶片的受光量不能小于 2000lx（殷宏章等，1959）。为使单茎有较多绿叶数，就必须在生育中后期延长茎基部“养根叶”的寿命。第二，群体孕穗期叶面积指数适当。叶面积指数是衡量粳稻群体大小的重要指标。群体叶面积指数受种植密度、肥料用量的影响较大。密肥田粳稻最大叶面积指数为 9~10，生物产量高，群体条件恶化，易倒伏；而低肥田和高产田的最大叶面积指数分别为 4 和 7.5。研究表明，叶面积指数与产量呈抛物线，且存在最适叶面积指数（王伯伦，1993；张林青等，2004）。株型理想的品种上部叶片直立，即使叶面积指数较大，但群体光合特性良好，有利于获得较高的生物产量和较大的经济系数，从而获得高产（杨守仁，1980）。第三，抽穗前后叶层配置合理。叶片在粳稻群体光合层的构成上有两大特点，即有效蘖叶和无效蘖叶以及上部三片高效能叶和下部低效能叶。上三叶，特别是剑叶主要为穗部籽粒形成提供光合产物，而下位叶主要为根系提供呼吸所需要的氨基酸和碳水化合物。所以采取一切措施维持粳稻群体后期上中下部

叶片的活力,对实现粳稻高产更高产至关重要。但是,对顶三叶的配置存在不同的主张。Matsushima (1976)曾提出上位3~2叶要短、厚、直立的理想株型,提倡上三叶应逐渐缩短,若以倒三叶的长度为100,则倒二叶为90~95,剑叶长度仅为60~70,这样的冠层有利于接受更多的光能。但是田中稔深层施肥法却要求上三叶长而挺,尤其是倒二叶和剑叶。杨守仁(1980)认为剑叶过短不利于高产,高产品种剑叶、倒二叶长对结实率无不利影响。以深层施肥法为例,若倒二叶的长度为100,则剑叶的长度为80,倒三叶的长度为70,而倒四叶的长度为50。形成上部顶三叶配置的差异,主要是由于栽培技术思路的不同。松岛主张以“多穗、小穗”夺取高产,而田中稔等则主张适当控制穗数,以争大穗为主攻方向的栽培途径。第四,叶姿挺拔。根据殷宏章等(1959)研究,粳稻单叶光合作用的光饱和点为5万lx左右。在大田生长的条件下,晴天中午的自然光强常在10万lx以上,群体上层叶片受光量大为过剩,而下层叶片却受光不足。因此,培育叶片挺立、开张角度小的株型,能有效地提高群体的光能利用率。叶厚有利于叶片挺立,而且能增加净光合速率,降低叶肉阻力(户莉义次,1979)。

茎秆是稻体的支撑器官和水、矿质元素及同化产物运输的通道,还是光合产物的贮存器官。茎秆一直是近半个世纪人们普遍关注的问题,从矮化育种到理想株型育种,矮秆和半矮秆对粳稻品种的抗倒伏以及经济系数的提高具有重要作用(杨守仁,1980)。但并非植株越矮越好,植株过矮,株型紧凑,叶面积密度大,穴内和株间光照条件恶化(陈温福,1987)。许多研究表明,株高与生物产量呈正相关,植株较高,有利于降低叶面积密度,有利于CO<sub>2</sub>扩散,提高最适叶面积指数和群体光合速率。孙旭初(1987)研究结果表明,株高在106cm以上时,株高要再增加,只能增加草重,而不能增加每穗粒数和谷粒产量;粳稻品种的株高在105cm以下时,随着株高的增加,每穗粒数和产量都会增加。关于株高对粳稻生物产量的影响,凌启鸿(1985)根据茎秆对穗部性状的贡献大小,将品种划分为光合作用依存型和蓄积淀粉依存型。研究结果表明,茎秆基部粗度与每穗颖花数呈极显著正相关;茎基粗又与茎内大维管束呈极显著正相关。品种内各个体间大维管束数与一次枝梗数呈直线相关关系,而与每穗颖花数呈指数函数的关系。这样,从茎秆与穗部二者的内在结构联系上首先指明了通过适当减少群体茎蘖数,培育数量少而具有较多维管束数的壮秆,是获取群体高颖花量的有效途径。平均单茎茎鞘重对产量影响较大。也有研究表明,抽穗期单茎茎鞘重越大,叶片比叶重越大,越利于改善叶片直立性,提高群体光合性能。而且单茎茎鞘重越高,成熟期茎鞘干重的相对比率缩小,而穗部干重比率明显增大,经济系数则相对提高。

#### 1.4.2 穗粒结构

粳稻群体由个体组成,只有健壮个体组成的群体才能成为高产群体。群体大小最终体现为单位面积穗数的多少,个体健壮与否体现为单株成穗数和每穗成粒数的多少。研究表明,粳稻群体的穗数与产量之间一般呈抛物线,且存在最适穗数。同时,穗数与每穗成粒数之间一般存在显著的负相关,过分增加穗数容易导致每穗成粒数明显降低,结果产量并不理想。群体与个体协调发展,是粳稻高产群体结构的又一特征(王伯伦,1993)。

粳稻由低产变中产主要限制因素为每亩穗数不足,而中产变高产主要限制因素是每穗颖花数和每穗成粒数不足。实现粳稻高产的主要途径是稳穗增粒或穗粒兼顾。高产更高产应在保持较大穗的基础上,进一步提高成粒率和充实度(张喜成,2011)。

群体结构实际上存在源、库、流三大系统。目前在作物高产研究中,非常重视源-库关系的分析。在对待什么是高光效群体这个问题上,认为要强源、畅流,但对“库”的看法不尽一致。在玉米生产方面,顾慰连(1992)认为,“源”的大小对玉米“库”的建成具有明显的作用,增加同化“源”的供应,有利于“库”潜力的发挥,“库”的建成及其潜力的发挥直接关系到籽粒产量的高低。通过不同栽培措施,深入系统地研究生态条件对玉米“库”的建成和产量的影响,探讨了发挥“库”潜力的有效途径。凌启鸿(1991)认为,“库”不是一个被动的受容系,它对源的能力有促进作用,所以也是高光效群体的必要特征,而且是一个重要的特征,所以必须把扩库和强源、畅流一起列为高光效群体特征来进行探讨。曹显祖等(1987)依据源库特征和籽粒灌浆特性,将江苏省20世纪30~80年代的中粳代表品种分为源限制型、库限制型和源库互作型三种类型。源限制型属异步灌浆的大穗型,库限制型属同步灌浆的穗数型,而源库互作型属于穗粒兼顾型,并提出了相应的高产主攻目标。“粒叶比”也是衡量源库关系协调与否的重要指标(凌启鸿和杨建昌,1986)。“粒叶比”越大,群体产量越高。也有人认为应当适当控制颖花数和叶面积,在这一问题上,有学者提出了“最适颖花数”的概念,但这恰恰表明了产量存在着极限。我们应人为地进行品种改良和栽培技术的改进,不断使源、库关系在更高的水平上协调发展,突破“最适颖花数”这一极限,提高每穗成粒率,才能挖掘出粳稻更高的生产力(凌启鸿,1991)。

长期以来,我国生产上栽培的品种绝大多数为弯穗型,直立穗型的极少,因而对直立穗型的研究更少。自从辽粳5号等直立穗型粳稻品种育成以来,诸多学者对直立穗型品种和弯曲穗型品种进行了比较研究。杨守仁(1980)认为直立穗在生育后期有利于群体通风透光,对光能利用有利,但大多数着粒密度大,易感