

水稻 精确定量栽培

Shuidao Jingque Dingliang Zaipei Lilun yu Jishu

理论与技术

凌启鸿 等 著



 中国农业出版社

封面设计 姜 欣

ISBN 978-7-109-12273-4



9 787109 122734 >

定价: 16.00 元

水稻精确定量栽培 理论与技术

凌启鸿 等 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水稻精确定量栽培理论与技术/凌启鸿等著. —北京:
中国农业出版社, 2007. 9
ISBN 978-7-109-12273-4

I. 水… II. 凌… III. 水稻—栽培 IV. S511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 141404 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 闫保荣 赵 刚

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 5.125

字数: 150 千字 印数: 1~8 000 册

定价: 16.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

作 者：凌启鸿 张洪程 丁艳锋
戴其根 凌 励 王绍华
杨建昌 朱庆森 苏祖芳

序

水稻精确定量栽培，是由作者组织扬州大学农学院（原江苏农学院）、南京农业大学农学院、江苏省农林厅和江苏省农垦局，在 20 世纪 80 年代形成的水稻叶龄模式与 90 年代建立的作物群体质量调控两大成果的基础上，于 2000 年以来在水稻精确诊断与管理（特别是精确施肥与灌溉）关键技术方面取得新突破，依叶龄进程为主线把水稻生育进程与器官建成诊断定量化，按高产形成规律把群体质量及其动态指标定量化，依据调控措施定量的原理和方法把栽培技术指标全程定量化，进而将这三大部分进行系统集成，创立成为一个能使水稻生育全过程和各项调控技术指标精确化的水稻数字化生产技术体系。

2000 年以来，特别是江苏省实施国家粮食丰产科技工程的实践表明，集成应用精确定量栽培技术，连年出现了产量 $800\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 的攻关田， 700kg 以上的百亩连片高产方， $650\sim 700\text{kg}$ 的千亩*连片示范片。全省 70 多万公顷水稻应用后，产量已接近 $600\text{kg}/666.7\text{m}^2$ ，收

* 15 亩=1 公顷。

到了高产、优质、省工、节本（省肥、省种、节水）、高效的综合效果。同时，在皖、黔、桂、赣、滇等地示范，也得到了相似的效果。2006年在云南永胜县涛源乡，用精确定量栽培技术种植的新品种协优107攻关田，还创造了产量 $1\,287\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 的世界记录，进一步证明了水稻精确定量栽培理论与技术体系是具有普遍指导意义的水稻栽培科学理论与技术体系。

为此，作者将近年来在水稻精确定量栽培技术研究方面的成果编著成《水稻精确定量栽培理论与技术》一书，它的出版将对推进水稻精确栽培研究的深化与再创新，促进该成果大面积示范推广，实现水稻“高产、优质、高效、生态、安全”的综合目标，保障粮食安全，推动水稻栽培现代化，实现农业可持续发展具有重要意义。相信本书的出版定会得到广大读者的喜爱。

本书具有科学性和实用价值，理论联系实际，有较强的可操作性，可供农业科研人员、农业院校师生、农技推广人员和广大稻农在科研、推广和生产中参考。

水稻精确定量栽培研究示范以及本书的编写得到了科技部、农业部全国农业技术推广服务中心、扬州大学、南京农业大学、江苏省农林厅、江苏省农垦局等单位的关心和支持，并得到扬州大学出版基金的资助，在此表示衷心感谢。

凌启鸿

2006年12月20日

目 录

序

第一章 水稻精确定量栽培是中国水稻栽培科学 技术的发展方向	1
一、水稻栽培技术必须满足“高产、优质、高效、 生态、安全”的综合要求	1
二、精确定量栽培才能实现“十字”的综合目标， 是水稻栽培科学的创新发展	2
第二章 水稻叶龄模式	5
第一节 水稻的四个关键叶龄期	5
一、拔节（第一节间伸长）叶龄期	5
二、有效分蘖临界叶龄期	10
三、稻穗分化与叶龄进程	18
四、根系生长与叶龄进程	23
第二节 不同类型品种生育进程的叶龄模式	30
一、生育进程的叶龄模式	30
二、品种生育型的划分	32
第三节 水稻叶龄模式在精确定量栽培中的基础作用	33
一、高产群体叶色“黑黄”节奏变化	33
二、高产群体按各叶龄期的适宜数量建立群体发展的 叶龄模式	33
三、调控措施应用的叶龄模式，使栽培技术模式化、 规范化	34

第三章 水稻群体质量指标体系	35
第一节 水稻结实期高产群体的质量指标	35
一、结实期群体光合生产积累量——群体质量的本质指标	35
二、适宜的叶面积指数 (LAI)，是提高群体结实期光合积累量的形态生理的基础指标	36
三、在适宜 LAI 指标下提高群体总颖花量	39
四、群体粒/叶比	42
五、有效叶面积率和高效叶面积率	44
六、单茎茎鞘重	47
七、颖花根活量和颖花根流量	47
八、小结	48
第二节 水稻高产优质群体的培育途径和分阶段的诊断指标	49
一、合理培育途径——在保证获得适宜穗数前提下，提高成穗率	49
二、高产群体发展动态指标	51
第四章 栽培技术的精确定量	57
第一节 适宜播栽期的确定	57
一、最佳抽穗结实期的确定	57
二、适宜播栽期的确定	60
第二节 育秧技术要点	61
一、适龄壮秧指标	61
二、湿润育秧技术要点	63
三、旱育秧技术要点	66
四、机插小苗的育秧技术要点	68
第三节 基本苗的精确定量与提高栽插质量	76

目 录

一、基本苗数的确定	76
二、提高移栽质量	87
第四节 施肥的精确定量	92
一、氮、磷、钾肥料合理施用比例的确定	93
二、氮肥的精确定量	99
第五节 水稻精确灌溉技术	125
一、活棵分蘖阶段	125
二、控制无效分蘖的精确搁田技术	126
三、长穗期精确灌溉技术	131
四、结实期精确灌溉技术	133
五、全生育期精确灌溉技术	135
第五章 水稻精确定量栽培技术的示范推广	138
一、建立当地品种生育进程的叶龄模式	138
二、用群体质量的原理，分析当地的 水稻群体结构	140
三、用措施精确定量的原理，对当地 密、肥、水栽培措施作合理性分析	141
四、用精确定量栽培的原理设计密、肥、 水田间试验	143
参考文献	152

第一章 水稻精确定量栽培是 中国水稻栽培科学 技术的发展方向

一、水稻栽培技术必须满足“高产、优质、 高效、生态、安全”的综合要求

由于中国地少人多，尤其在稻区，人地矛盾日益突出。因此，中国粮食安全问题，主要是稻米生产安全问题。确保水稻生产的稳定增长，是中国粮食安全的基石。

1. 主攻单产是中国水稻栽培研究的一个永恒的主题，在稻米安全中起基石作用。水稻是中国第一大粮食作物，种植面积占粮食作物的 $\frac{1}{3}$ 以上，产量占 40% 以上，全国有近 $\frac{2}{3}$ 的人口以稻米为主食。控制人口、保护耕地、稳定水稻（粮食）面积，对缓解稻米供求矛盾，能起暂时的作用。不断提高单产、增加总产，才是解决稻米安全问题的最重要出路。这条路存在着很大的空间，蕴藏有巨大的潜力。主攻单产是我国水稻栽培科学研究工作中的一个永恒的主题。

2. 主攻单产，要靠培育良种和科学栽培共同来实现。①良种是实现“高产、优质、高效、生态、安全”综合要求的内因，永远是最重要的因素。但同一品种在不同栽培水平下，产量、品质和效益的差异极大，常会超过品种间的差异，产量差异最大达 30% 以上。②在新良种产生前，应用科学栽培技术就能显著提高已有品种的产量。③育种家育成的新品种，要通过生产潜力的栽培研究，才能显示其高产潜力。④近年来各地育出了不少“超级

稻”品种，小面积偶尔也出现 $800\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 以上的高产，到了大面积推广时，一般只有 $500\sim 600\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 。说明虽有产量 $800\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 潜力的高产品种，但没有形成能重演 $800\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 的成熟的配套栽培技术。这正充分证明科学栽培的研究和推广在提高单产上的巨大潜力。

3. 主攻单产时必须兼顾优质、高效、生态、安全等综合目标。在 20 世纪 80 年代以前，采用高投入追求高产，不求品质和效益，以致带来环境污染和食品高残毒的不合理栽培方法，现在必须摒弃。但不求产量，只顾品质或省力、节本的粗放栽培方法，也是不可取的。

在当今的形势下，必须探求能满足“高产、优质、高效、生态、安全”五个方面综合要求的、先进的、比较轻简的栽培技术，简称“十字”栽培技术，成为 21 世纪初中国水稻栽培科学发展的新目标。这是栽培科学上贯彻科学发展观，实现协调、可持续发展的根本性举措，也是中国作物栽培科学技术显著区别于人少地多的西方国家栽培技术的特点之一。

二、精确定量栽培才能实现“十字”的综合目标，是水稻栽培科学的创新发展

1. 精确定量栽培能解决高产、优质、高效、生态、安全之间的矛盾。

(1) 高产与优质。水稻在产量和品质形成过程中，存在时间和机理上的同一性和矛盾性，栽培科学就是要研究这种同一性和矛盾性，探索利用同一性和协调矛盾性的优质高产栽培技术。

(2) 高产与高效。高效要靠高产、优质和低耗（省工、节本）两个方面来实现。这就要求形成既能高产优质，又能省工节本的栽培技术集成体系。

(3) 高产与环保。面广量大的农田环境保护，绝不是环保学

家、生态学家所能解决的事，而要靠既使水稻高产优质，又使环境生态受到保护的合理耕作、定量施肥、灌溉和植保技术的优化集成，并成为农民易于掌握的实用技术，这是科学栽培才能解决的事。

(4) 高产与食品安全。建立食品安全和市场准入制度非常必要。但安全食品不是靠检测产生的，首先是要靠生产过程的安全种（养）出来的。标准化的生产过程，才能生产出标准化的产品。这个过程，就水稻而言，几乎完全是栽培问题，是无公害生产和清洁生产的栽培技术问题。

2. 水稻精确定量栽培技术的理论与实践基础。水稻精确定量栽培技术有其坚实的理论与实践基础，包括水稻叶龄模式、水稻群体质量和栽培技术定量等三个部分。前两部分是我国对水稻高产群体形成规律的理论创新归纳，用于确定水稻高产群体生产发展过程的定量诊断指标，第三部分解决栽培技术定量的原理和计算方法。这三个部分都有原始创新，也有组装集成创新，使水稻精确定量栽培成为世界水稻栽培科学理论与技术的新体系。

3. 水稻精确定量栽培，把栽培过程作为一项工程技术对待。水稻生育的各个过程，都有准确的定量指标；每一项栽培调控措施都有精确定量的原理和方法，使措施既不过量，也无不及。真正实现水稻生育模式化、诊断指标化、技术规范化的，使水稻群体按预定的设计蓝图发展，实现预定的产量目标，高产频频重演，各项技术发挥其最佳的经济和生态效益，达到“十字”综合目标。

4. 实现水稻高产更高产，必须采取精确定量栽培技术。水稻高产更高产（江苏 $700\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 以上），由于群体的发展规模大（LAI、穗数、总颖花量等均大），施肥量较高，群体内各种矛盾比较尖锐，必须采取精确定量栽培，才能实现高产更高产的综合目标。中、低产变高产（ $500\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 以下提高至 600kg 左右/ 666.7m^2 ）虽有多种栽培途径，但从提高资源利用

率和经济效益出发，也必须重视应用精确定量栽培技术。以较少的投入，获得最佳的经济和生态效益。

5. 精确定量栽培技术，是一种中国特色的数字农业。水稻精确定量栽培技术，它产生于中国国土上，和美国的“3S”农业有巨大的区别。它适合于我国家庭经营规模小，田块不大情况下应用。精确定量栽培大面积实践积累起来的大量计算参数，为建立电脑信息技术的智能决策系统，提供了必要的知识支持。没有精确定量栽培的大量参数积累，栽培信息化技术便无法建立起来。

6. 精确定量栽培技术的内涵。水稻精确定量栽培，用较少的作业次数、准确的作业时间和物化投入量，获得预期的高产、优质和最佳经济、生态效益。它的理论与技术体系包括三个组成部分：①水稻生育进程（器官建成和产量因素形成）在时间上的定量诊断方法——水稻叶龄模式。②水稻高产群体空间结构的形态、生理诊断指标——水稻群体质量指标体系。③栽培技术精确定量的原理和方法。

第二章 水稻叶龄模式

应用水稻出叶（心叶）与分蘖、发根、拔节和穗分化之间的同步、同伸规则，以叶龄为指标，对各部器官的建成和产量因素形成，在时序上作精确诊断。

水稻品种数以万计，生育期（100~200 多天）、主茎一生的总叶数（10~26 片）和伸长节间数（3~10 多个）差异极大。不同总叶数的品种之间，在同一叶龄期，各部器官的生长和发育状况是很不相同的；总叶数相同、伸长节间数不同的品种之间，或伸长节间数相同而总叶数不同的品种之间，在同一叶龄期，各部器官的生长和发育状况，也有差异。只有主茎总叶数（ N ）和伸长节间数（ n ）都相同的品种，在任何一个相同的叶龄期，各部器官的生长和发育阶段均完全相同。

因此，可按主茎总叶数（ N ）和伸长节间数（ n ）将水稻品种进行分类， N 和 n 数均相同的品种归纳为同一叶龄模式类型，并用叶龄指标值对稻株的生育进程作出正确的诊断^[1]。

第一节 水稻的四个关键叶龄期

在生产上，对地上部生长诊断最关键的是有效分蘖临界叶龄期、拔节期和穗分化叶龄期等三个时期，但根系的发育是高产的基础，故根系生长的关键叶龄期也应高度重视。

一、拔节（第一节间伸长）叶龄期

从水稻生育进程的时序上看，先经历有效分蘖临界叶龄期，

而后经历拔节叶龄期和穗分化叶龄期。但为叙述方便起见，先介绍拔节叶龄期。

水稻茎秆的生长发育要经历组织分化期、伸长长期、物质充实期和物质输出期 4 个过程。

（一）组织分化期的叶龄期表述

组织分化期分化形成节间内各种组织，如大小维管束、机械组织和薄壁组织等。川原治之助的研究^[2]，节与节的分化过程大体为：当 N 叶（心叶）出，包裹在其内的 N+2 叶的基部开始有节的原始结构节板形成，N+1 叶和 N 叶基部的节板已发育得完善，并有了节和节间的明显分化，节间内的大维管数已被确定，对最终的粗度也有相当影响。出叶和节间组织分化的叶龄表述可概括为：N 叶（心叶）抽出 $\approx (N+2) \sim N$ 叶对应节间组织分化，经历 3 个叶龄期。

在节间内，大维管束数往往和茎的粗度成正相关，基部第一节间的大维管束数，在很大程度上决定了以上各节间大维管束数，且和穗部一次枝梗数存在有规律的比例关系^[3]。在节间组织分化期，首先把茎基部节间的大维管束数增加上去，就能为壮秆大穗奠定坚实的组织结构基础。

以 17 叶 (N)、5 个伸长节间 (n) 的品种为例，其基部第一节间（第 13 叶所包裹）的组织分化，开始于第 11 叶抽出期，完成于 13 叶抽出期。其中第 11 和 12 两叶为有效分蘖叶龄期（待后解释）。而该两叶龄节间内组织分化的数量，在很大程度上又受 11 叶龄以前各叶龄期生长的影响。简言之，有效分蘖叶龄期早发形成壮株，是形成壮秆大穗的基础。

（二）拔节（第一节间伸长）叶龄期的表述通式

通式为：第一节间伸长为 $n-2$ 的倒数叶龄期，或 $N-n+3$ 叶龄期。根据如下：

1. 出叶与节间伸长的同伸公式。 N 叶（心叶）抽出 = $N-1$ 与 $N-2$ 叶之间的节间伸长^[4]。这一公式的叶片定位是，着生在第一节间下方的叶片为 $N-2$ ，上方的叶片是 $N-1$ ，心叶是 N 叶。如果把叶序改为由下向上，则基部第一节间下方叶片为第 1 叶，上方叶片为第 2 叶，心叶为第 3 叶。这样，当第 3 茎生叶抽出时，其下方的第 1 和第 2 茎生叶之间的第一节间伸长，拔节开始。

2. $n-2$ 倒数叶龄期。把上述出叶和第一节间伸长的同伸公式应用到具体的品种，见图 2-1。

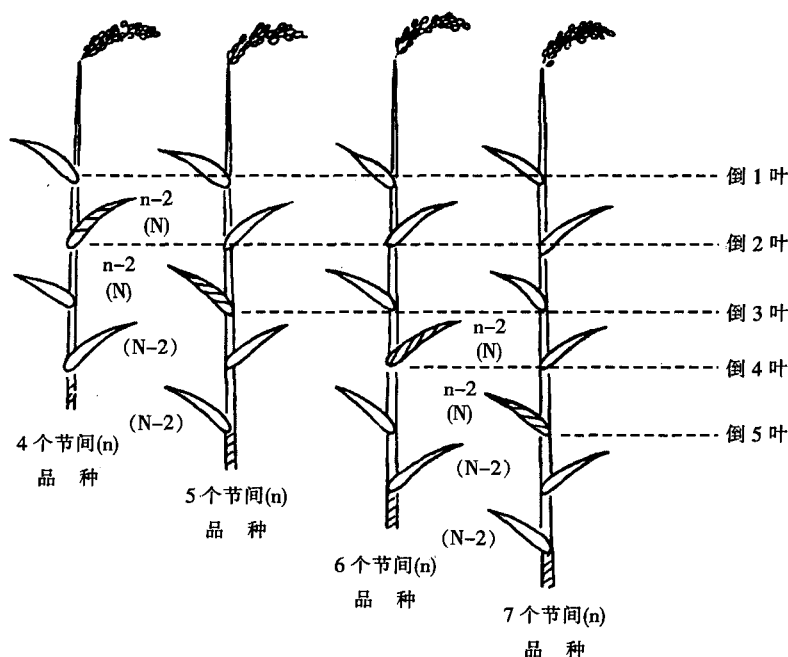


图 2-1 基部第一节间伸长期叶龄期示意

注： n 代表伸长节间数， $n-2$ 表示拔节的倒数叶龄，如 7 个伸长节间的品种， $7-2=5$ ，即拔节期为倒 5 叶出生期。 N 表示心叶的顺数叶龄， N 叶出伸， $N-2$ 包裹的节间伸长，符合同伸规则。