



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国耐盐碱水稻技术创新与研究丛书

耐盐碱水稻育种技术

总主编 袁道阳
本卷主编 李洪江

 山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn



中国耐盐碱水稻育种技术

山东科学技术出版社

目 录

第 1 章 栽培稻的进化历程 / 001

第1节 栽培稻的起源 / 001

一、栽培稻的祖先种 / 001

二、亚洲栽培稻的起源 / 002

三、非洲栽培稻的起源 / 006

第2节 栽培稻的演进与分化 / 010

一、亚洲栽培稻的演进与分化 / 010

二、非洲栽培稻的演进 / 014

第3节 栽培稻的传播和遗传多样性 / 015

一、传播途径 / 015

二、遗传的多样性 / 016

第4节 水稻分类 / 018

一、稻属的分类 / 018

二、亚洲栽培稻的分类 / 024

参考文献 / 030



第2章 水稻育种技术的变革 / 033

第1节 水稻的常规育种 / 033

- 一、系统选育 / 033
- 二、杂交育种 / 035
- 三、常规育种面临的挑战 / 039

第2节 杂交水稻育种技术 / 040

- 一、杂交育种技术和原理 / 041
- 二、“三系”育种 / 043
- 三、“两系”育种 / 048

第3节 水稻遗传转化技术育种 / 052

- 一、水稻遗传转化的主要方法 / 052
- 二、水稻遗传转化中应用的外植体 / 054
- 三、水稻基因转化中常用的培养基 / 055
- 四、水稻转化的报告基因和选择基因及选择剂 / 055
- 五、有益农艺性状基因在水稻改良方面的应用 / 055
- 六、今后水稻遗传转化值得研究的问题 / 055

第4节 水稻细胞工程育种 / 056

- 一、多倍体育种 / 056
- 二、单倍体育种 / 059
- 三、原生质体培养 / 060
- 四、远缘杂交技术 / 062

第5节 诱变育种 / 064

- 一、诱变育种的特点 / 065
- 二、诱变育种的机理分析 / 066
- 三、航天育种技术 / 068

参考文献 / 069

- 第3章 耐盐碱水稻的遗传改良 / 071
 - 第1节 国内外盐碱地现状 / 071
 - 第2节 水稻对盐、碱的生理反应 / 074
 - 一、盐碱胁迫的伤害机理 / 075
 - 二、盐碱胁迫对水稻的影响 / 077
 - 三、水稻耐盐碱的分子机制 / 081
 - 四、植物的耐盐碱基因的克隆及研究进展 / 089
 - 第3节 耐盐碱水稻育种现状 / 094
 - 耐盐碱水稻育种历史及现状 / 094
 - 第4节 耐盐碱水稻种质资源的筛选利用 / 097
 - 一、耐盐碱水稻种质资源的鉴定 / 098
 - 二、耐盐碱水稻种质资源的创造 / 108
 - 三、耐碱盐水稻种质资源的利用 / 112
 - 第5节 国内主要耐盐碱品种简介 / 116
 - 一、东稻4号 / 116
 - 二、长白9号 / 117
 - 三、长白10号 / 118
 - 四、长白13号 / 119
 - 五、辽盐2号 / 119
 - 六、辽盐9号 / 120
 - 七、辽盐12号 / 120
 - 八、盐丰47 / 121
 - 九、津源101 / 121
 - 十、津源85 / 122
 - 十一、盐稻12号 / 122
 - 十二、藤系138 / 123



十三、绥粳1号 / 123

十四、绥粳5号 / 124

十五、吉农大30 / 124

参考文献 / 129

第4章 分子育种技术在耐盐碱水稻育种中的应用 / 146

第1节 耐盐碱基因的研究现状 / 146

一、耐盐碱基因的发掘和利用 / 146

二、耐盐碱基因的克隆和利用 / 152

第2节 分子标记辅助育种技术在耐盐碱水稻育种中的应用 / 156

一、分子标记的开发 / 156

二、基因定位 / 160

三、耐盐碱水稻基因定位 / 175

四、分子标记辅助育种 / 180

第3节 分子设计育种 / 187

一、分子设计育种概念 / 187

二、分子设计育种的原理与方法 / 188

三、分子设计育种的研究现状 / 195

四、分子设计育种展望 / 200

第4节 全基因组育种在耐盐碱水稻育种中的策略及应用 / 201

一、全基因组育种概念 / 201

二、全基因组选择育种的优势 / 202

三、全基因组育种策略 / 203

四、全基因组辅助育种的关键技术 / 206

五、全基因组育种研究进展 / 211

六、目前存在的问题 / 212

- 七、全基因组育种展望 / 213
- 参考文献 / 214
- 第 5 章 基因编辑技术在耐盐碱水稻育种过程中的应用 / 241
 - 第 1 节 ZFNs、TALENs 基因编辑技术、RNAi 技术在耐盐碱水稻育种过程中的应用 / 243
 - 一、ZFNs 技术及其应用 / 243
 - 二、TALENs 技术及其应用 / 247
 - 三、RNAi 技术及其应用 / 253
 - 第 2 节 CRISPR-Cas9 技术在水稻耐盐碱育种中的应用 / 261
 - 一、CRISPR-Cas9 技术概述 / 261
 - 二、CRISPR-Cas 系统的研究历史 / 261
 - 三、CRISPR-Cas 系统的分类 / 263
 - 四、CRISPR/Cas9 对 PAM 区域的识别 / 266
 - 五、影响 CRISPR/Cas9 系统编辑效率的因素 / 266
 - 六、CRISPR/Cas9 系统优势 / 268
 - 七、CRISPR-Cas9 系统在植物基因组编辑中的应用 / 270
 - 八、基因组编辑技术应用于作物改良的基本原则 / 276
 - 参考文献 / 279
- 第 6 章 耐盐碱水稻区域试验及品种审定 / 297
 - 第 1 节 区试联合体的申报 / 297
 - 一、联合体的组建与申报 / 298
 - 二、耐盐碱水稻区试联合体工作的开展 / 299
 - 第 2 节 耐盐碱水稻品种区试评价体系 / 300
 - 一、耐盐碱水稻审定生态区划 / 300
 - 二、耐盐碱水稻品种区域化试验体系 / 303



三、耐盐碱水稻品种区试的合理布局 / 312

第3节 耐盐碱水稻品种审定 / 316

一、我国农作物及水稻品种审定的基本标准 / 317

二、耐盐碱水稻品种审定标准 / 319

三、水稻品种全生育期耐盐性鉴定技术规程 / 321

参考文献 / 327

第7章 耐盐碱水稻品种选育和推广的展望 / 329

第1节 耐盐碱水稻品种选育的展望 / 329

一、常规育种与株型选育 / 330

二、借助分子技术选育耐盐碱水稻 / 336

第2节 耐盐碱水稻的推广价值 / 339

参考文献 / 342

附录 水稻芽期抗盐性筛选鉴定流程 / 345

一、所需试剂及设备 / 345

(一) 设备 / 345

(二) 试剂 / 346

(三) 溶液配制 / 346

二、芽期耐盐性鉴定 / 346

(一) 种子处理 / 346

(二) 置床培养 / 347

(三) 指标测定 / 347

三、芽期鉴定标准 / 347

四、评价方法 / 348

第 1 章 栽培稻的进化历程

第1节 栽培稻的起源

一、栽培稻的祖先种

世界上共有两个栽培稻种，分别是亚洲栽培稻（*Oryza sativa* L.）和非洲栽培稻（*Oryza glaberrima* Steud.）。研究表明，这两个栽培稻种均为二倍体，染色体 $2n=24$ ，其中，亚洲栽培稻种为AA染色体组，非洲栽培稻种为A^sA^s染色体组，两者杂交第一代高度不育。亚洲栽培稻栽培历史悠久，变异广泛、多样，产量高，目前已遍布全球的热带、亚热带、温带、寒温带稻区。非洲栽培稻仅分布于西非尼日尔河上游的低湿地带，因其高秆、少蘖、低产，种植面积日趋缩小。两个栽培稻种的主要农艺性状的差异见表1-1。

表1-1 亚洲栽培稻与非洲栽培稻农艺性状的比较

性状	亚洲栽培稻	非洲栽培稻
叶片	有茸毛	无茸毛
叶舌	长、前端尖、分裂	短、前端圆
穗形	松散	紧凑
二次枝梗	多	甚少或无
柱头色	白色-紫色	紫色

续表

性状	亚洲栽培稻	非洲栽培稻
谷粒稃毛	有（少数光亮）	无，光壳
谷粒色泽	秆黄等	黑褐及黄褐色
糙米色泽	白色，少数赤红、紫色	赤色
休眠性	弱-中	强
再生性	有	无

（引自《水稻育种学》，1996）

二、亚洲栽培稻的起源

近一个世纪以来，关于亚洲栽培稻起源地的研究，观点纷陈，存在着多种解释。其中，主要的起源地学说有印度起源说，喜马拉雅山东南麓起源中心说和中国起源说。

（一）印度起源说

20世纪70年代前，大多国外学者支持亚洲栽培稻起源于印度的学说。Vavilov（1951）根据作物起源的显性基因中心理论，认为亚洲栽培稻起源于印度北部。论据是喜马拉雅山南麓印度北部为高纬地区，该地区地形复杂，稻种变异多，野生稻与栽培稻具有密切的生态相关性。加藤茂苞（Kato, 1928）曾将亚洲栽培稻分为印度型（Indica）和日本型（Japonica）；松尾孝岭（Matsuo, 1952）则进一步将栽培稻划分为A、B、C三个类型，其中A代表日本型，B代表爪哇型，C代表印度型。他们推断，中国的籼稻（即Indica）由印度传入，最初由南亚及东南亚边境经中国的云贵高原，或是由中南半岛进入珠江流域和长江中下游。但中国栽培稻来源于印度这一学说，缺乏考古学、民族学和驯化栽培学方面的证据，不符合稻种起源和栽培历史的真实性。

（二）喜马拉雅山东南麓起源中心说

20世纪80年代，国际上大多学者倾向亚洲栽培稻起源于喜马拉雅山东南麓的印度东北部、不丹、尼泊尔、缅甸北部、中国的西南部绵延长达3 200 km的狭长地区，称之为“亚洲栽培稻的起源中心”。由于多年生普通野生稻，一年生尼瓦拉野生稻和杂草型稻从喜马拉雅山麓直到湄公河流域呈带状连续分布，且地方稻种类型复杂，形成了栽培品种的多样化区域，为驯化中心提供了依据。再结合语言学、古气候学和人种学的资料，张德慈（Chang, 1976）推断，栽培驯化的最原始中心位于包括印度东北部的阿萨姆地区，孟加拉北部连接缅甸的三角区到泰国、老挝和越南北部及中国西南部的区域，驯化可能在该中心的内部或边界多点地、独立地同时发生。渡部忠世（1977）通过多年的实地考察，详细分析了亚洲各地古庙宇、宫殿等不同年代遗址残存土基中的稻谷形状及历史变迁，提出了“阿萨姆~云南”起源说，推断亚洲栽培稻起源于印度的阿萨姆丘陵和中国的云南高原。

（三）中国起源说

1. 中国栽培稻的起源地

主张栽培稻起源于中国的早期学者如Roschevicz（1931）等指出，中国的神农氏早在公元前2800—2700年就已经知道了种植“五谷”（麦、稷、黍、菽、稻）。河南仰韶发现的稻谷痕迹也有4 000多年，认为中国的稻作历史至少早于印度1 000年，并认为印度的水稻来自中国。关于中国栽培稻究竟起源于何处，有各种不同的意见，目前有代表性的意见主要有以下几种。

（1）起源于华南。这一假说最早由丁颖（1949, 1957, 1961）提出。他根据中国5 000年来稻作文化创建过程，稻作民族地理上的接壤关系，各栽培稻类型的生长发育特性与华南气候特点以及华南现存野生稻特性的关系等，认为中国栽培稻种起源于华南地区的普通野生稻。在研究了中国野生稻的分布和早期新石器时



代出土的农具后，李润权（1985）认为，在中国范围内追溯稻作栽培稻的起源中心应该在江西、广东和广西三省（份区），其中西江流域是最值得重视的。华南确实是普通野生稻种的分布区，南起海南崖县羊栏乡（ $18^{\circ} 15' N$ ），北至江西东乡（ $28^{\circ} 14' N$ ），东起台湾桃园（ $121^{\circ} 15' E$ ），西达云南景洪（ $100^{\circ} 47' E$ ）。这一带温暖湿润，河塘湖沼分布广泛，适合稻类作物生长，并且发现有万年以前的新石器时代早期文化遗存，但缺乏早期稻作遗存材料的支持，目前支持者渐少。

（2）起源于云贵高原。柳子明（1975）认为，中国云贵高原海拔变化大，形成了包括热带、亚热带和温带的各种气候条件，植物资源丰富，栽培稻变异丰富，这无疑有利于稻种的演变分化；云贵高原背靠青藏高原和喜马拉雅山脉，长江、西江、元江、澜沧江、怒江均发源于此，流向贯穿华中、华南、西南及印度支那各地。源于云贵高原的稻种沿着这些河流分布到各流域地区，其中一支可能通过缅甸或马来传播到印度东部恒河流域。

菲律宾张德慈（1978）认为中国栽培稻可能起源于尼泊尔—阿萨姆—云南地区，经由云南引入黄河流域，并由越南经海路引入长江盆地。不过，王象坤（1993）的研究认为，云南是亚洲栽培稻的一个重要的多样化中心和变异中心，但从总体看，云南称为栽培稻的次生起源中心较为适宜。

（3）起源于长江下游。20世纪80年代长江下游说逐步成为中国稻种起源的主流学说之一。安志敏（1984）认为中国的稻作农耕以长江流域为最早，稻类农作物的发现也最集中，从考古学上可以证明它是稻作农耕的起源地，长江中、下游可能是它的起源中心。杨式挺（1982）根据河姆渡遗址大量稻谷发现，长江流域古今野生稻的存在，栽培稻生长的自然条件，考古发现的稻谷遗迹，以及中国古籍的有关记载，认定长江流域，特别是长江下游的东南沿海地区是中国栽培稻的一个起源区，并认为中国史前栽培稻的分布，是以长江下游为中心逐级扩大的。汤圣祥（1993）等通过电镜扫描对河姆渡出土炭化稻谷进行亚显微结构研究，发现河姆渡古稻谷中存在少量普通野生稻。加上江西东乡现有大片自生自长普通野

生稻的事实，该发现为中国栽培稻起源于长江下游提供了直接证据。

(4) 起源于长江中游—淮河上游。张居中(1994)在综合研究确定栽培稻起源地的四个前提条件与淮河流域稻作遗存资料后，提出栽培稻起源地应包括长江、淮河两大流域和整个华南地区。他认为确定栽培稻最初起源地的四个前提条件为：一是该地必须发现我国最早的栽培谷稻遗存；二是该地当时还必须有栽培稻的野生祖先种普通野生稻；三是该地当时要具备适于栽培稻及其野生祖先种生长发育的气候与环境条件；四是当时该地或附近要有以栽培稻为主要食品并具有将野生稻驯化为栽培稻的能力的古人类群体，以及相应的稻作农业工具。王象坤(1995)在分析湖南彭头山和河南贾湖稻作遗存材料后，结合确定栽培稻起源地的四个前提条件，将南中国起源中心缩小到长江中游—淮河上游，排除了起源于华南的可能。

2. 中国起源说的理论依据

中国栽培稻属亚洲栽培稻。中国不仅是栽培稻的最早起源地之一，而且也是稻作栽培历史最悠久的国家之一。其依据是：

(1) 普通野生稻的分布。普通野生稻在中国南方分布广泛，东起台湾桃园(121° 15' E)，西至云南景洪(100° 47' E)，南起海南岛三亚(18° 09' N)，北至江西东乡(28° 14' N)，海拔30~600m的河流两岸沼泽地、草塘和山坑低湿处均有发现。在已收集到的中国3733份普通野生稻材料(中国农业科学院品资所，1991)可分为直立、半直立、倾斜和匍匐4种株型，极大多数是多年生类型。此外，在耕作栽培较粗放的地区，稻田中常混生着和栽培稻十分相似的杂草。实际上，杂草型稻是野生稻与原始栽培稻“渐渗杂交”(introgression)的后代，是自然选择压力下出现的特殊适应型，其出现时间距今十分久远。杂草稻对基因的交流、稻种的演变具有不可忽视的作用。上述研究证实，中国具有栽培稻的祖先——普通野生稻的生存和演化的基础。

(2) 古气象学的研究。新石器时代长江流域的气候较现在更为温暖潮湿，温度约高3~4℃，降雨量多800 mm，普通野生稻的生长在远古时期可能到达长江



流域，北限可达苏、鲁交界处（游修龄，1986）。野生稻在中国古代文献上游种种记载，泛称“伬”“稻”“离”“櫓”“旅”稻，含有落地自生的意思。古籍中有关野生稻的记载达16处之多，西起长江上游的四川，中经湖北襄阳、江陵，下达浙北、苏南，折向苏中、苏北和淮北，直达渤海湾的沧州，是一条弧线。直到公元4世纪时，长江中、下游一些地方还可能分布有多年生普通野生稻（游修龄，1987）。诚然，对这些古籍中记载的落地自生的“野稻”，是否属于现代概念的普通野生稻，尚有不同的看法。但近期研究证明，7 000年前的太湖地区确实曾生长和繁衍过普通野生稻（Sato，1991）。

（3）考古挖掘。迄今，中国已发掘出大量新石器时代遗址，其中含有稻的遗存（炭化稻谷，米粒及茎叶）就有109处之多（汤圣祥，1994），遍布于中国长江流域、华南和西南。已知7个年代最古老的稻谷遗存，长江下游占3个（浙江桐乡罗家角，7 040 ± 150 BP；余姚河姆渡6 945 ± 130 BP；慈溪董家岙，距今约7 000年），长江中游占3个（湖北城背溪，距今约7 000年；陕西李家村，距今约7 000年；湖南彭头山，距今约7 800年），加上江苏二涧村（距今约7 000年）。河姆渡的出土稻谷，堆积成层，刚出土时呈金黄色，颖壳上的稃毛及谷芒清晰可见，籼粳并存，还存在很少量的普通野生稻谷粒，反映了原始栽培稻种的杂合性。鉴于种植栽培稻之前必定有相当长时期的野生稻驯化过程，因此有理由相信，中国原始稻作至少已有8 500年以上的历史，中国是稻作栽培历史最悠久的国家。中国发现的大量新石器时期稻作遗迹，有力地证实了中国稻作起源的独立性，否定了中国籼稻原产于印度的见解。

三、非洲栽培稻的起源

非洲栽培稻（*O. glaberrima*）起源于热带西非，约有3 500年的历史（Chang，1976），其原始多样化中心（初级起源中心）位于马里境内的尼日尔河沼泽地带，次级多样化中心在塞内加尔、冈比亚和几内亚。大多数非洲栽培稻对短光周期敏感，虽然品种间在粒型的宽狭、长短上出现变异，但无籼、粳之别，只有深

水、浅水和陆稻类型上的差异。籽粒的果皮通常为红色。非洲栽培稻具有对于旱气候的特殊适应性和热带非洲病虫的良好抗性，但由于高秆和低产，并未在整个非洲大陆传播和种植，今年由于亚洲栽培稻的引入，非洲栽培稻的种植面积日趋缩小，有的地区将非洲栽培稻与亚洲栽培稻以一定比例混合种植，以求在中等产量水平上的稳产。

（一）非洲栽培稻起源的野生稻祖先

近源野生稻种长雄蕊野生稻（*O. longistaminata*）和巴蒂野生稻（*O. barthii*）被认为是*O. glaberrima*的祖先种，这些野生种分布在非洲栽培稻生长的地区甚至以外的地区。

1. 长雄蕊和巴蒂野生稻

Sampath和Rao（1951）提出，长雄蕊野生稻是人类通过选择从展颖野生稻（*O. glumaepatula*）。其理由是在稻属所有种中，展颖野生稻分布最为广泛，并且在亚洲它产生了普通野生稻。这一观点得到了Richaria（1960）、Seetharaman（1962）、Gopalakrishnan（1964）等多位学者的认可。其中，一些学者认为巴蒂野生稻起源于非洲栽培稻与长雄蕊野生稻之间的杂种，这和多年生的野生稻（*O. rufipogon*）情况相似。

提出非洲栽培稻起源问题的这一说法是在Chatterjec（1948）对稻属校对后不久。Chatterjec在稻属校订中将所有美洲、非洲和部分亚洲的多年生野生稻都归于展颖野生稻。虽然长雄蕊野生稻与近缘稻种之间很难产生杂种。当人们逐渐认识到长雄蕊野生稻具有很强的生殖隔离的特点后，多数学者就不再认为非洲栽培稻起源于巴蒂野生稻了。Sampath等随后提出，长雄蕊野生稻可能衍生出长雄蕊野生稻和巴蒂野生稻的中间类型，这些类型通过相互杂交产生巴蒂野生稻，再由巴蒂野生稻产生非洲栽培稻。

多数学者认为，巴蒂野生稻是非洲栽培稻起源的野生种祖先。巴蒂野生稻的分布范围虽不及长雄蕊野生稻，但比非洲栽培稻要广得多。巴蒂野生稻不像长雄



蕊野生稻长得那么密集，它是一年生野生稻，靠种子繁殖。主要生长在沟溪、沼泽地带，稻田、沟渠、老稻田也经常出现。这种野生稻无浮生习性，不能耐洪水，其生长地濒临长雄蕊野生稻的栖生地。Porteres（1950，1956，1959）认为，虽然巴蒂野生稻产生了非洲栽培稻，但其某些变异可能来自长雄蕊野生稻。其他学者则确认非洲栽培稻是从巴蒂野生稻单一起源的。

尽管巴蒂野生稻具备作为非洲栽培稻祖先种的若干特性，如广泛、重叠的分布，遗传关系密切，具有一定的变异性等，但由此就认定是非洲栽培稻的起源祖先种仍有欠缺。因为既然亚洲稻和非洲稻都是为着籽粒产量而被驯化的，但很难想象在非洲栽培稻的驯化过程中，人类却朝向小粒、少分蘖、无二次枝梗的产量构成因素去选择，虽然在穗粒数上有了一定的改进，但这未必能够补偿其他产量组分的损失。非洲栽培稻每穗枝梗数也较多，总的来说，巴蒂野生稻是否确实具有作为栽培种所需要的变异范围和潜力，还是一个问题。如果假定非洲栽培稻的起源系来自亚洲栽培稻，则以上所涉及的困难就会解决。有一个很好的证据表明巴蒂野生稻是由非洲栽培稻与亚洲栽培稻的杂种再与非洲栽培稻回交而产生的。

2. 亚洲栽培稻是非洲栽培稻的祖先种

（1）形态学。典型的非洲栽培稻穗小无毛，而亚洲栽培稻穗小有毛。然而，目前普遍认为，很难找到这两个种所特有的性状，而非洲栽培稻的叶舌较短属于例外。当亚洲和非洲栽培稻混合生长在田间时，种植者往往无法对其加以区分，以致曾有人提议把这两个种合并起来。守岛对这两个种的17种性状做了比较研究，将每种性状的差异分为11个级别，以此对大批品种进行分类。除叶舌长度外，两个种的其余性状的变异范围都互相重叠。非洲栽培稻通常比亚洲栽培稻变幅小，但对氯酸钾的抗性和落粒性除外。其他像抗旱性、种子休眠性也有些差异，非洲栽培稻抗旱性较差，休眠性较强，而亚洲栽培稻的某些品种在这些性状上却有极端表现。这一研究表明，这两个种在许多性状上都很相似。

（2）可交配性的杂种的育性。一些研究者对亚洲与非洲栽培稻之间的杂交做过研究，要得到它们的杂种并不困难。杂交成功率比亚洲栽培稻种品种间杂交成

功率也低不太多。亚洲栽培稻品种间杂交成功率为51%，非洲栽培稻品种间杂交成功率为62%，巴蒂野生稻种内杂交成功率为58%，亚洲栽培稻与非洲栽培稻杂交成功率在39%~42%，亚洲栽培稻与巴蒂野生稻杂交成功率32%~38%，非洲栽培稻与巴蒂野生稻杂交成功率在59%~62%。

两个栽培种的杂交种子发芽表现正常，一般超过90%。F1杂种正常生长，并表现出杂种优势。但杂种通常表现不育，偶尔轻度可育。正是这一特性涉及种的分类地位，说明这两个种间存在一种“似近而远”的关系。但也表明，它们杂种的不育性具有同亚洲栽培种品种间杂交相同的性质，只是不同程度高些而已。冈彦一（1968）推断，这种不育性属配子体不育，主要受一种互补基因支配。

Ramanujam（1938a）报道，亚洲栽培稻与非洲栽培稻杂交表现高度可育，但这种高度可育的情况没能得到其他研究者的验证。盛永和粟山（1957）研究了13个杂种，百分率不到1%。Bouharmont（1962a）在同样的研究所得的数值为2.4%~14.0%。守岛等（1962）曾将21~39个非洲栽培稻与5个亚洲栽培稻杂交，得到的最高染色花粉百分率为10%，多数不能结实。

（3）杂种细胞学。有报道说，亚洲栽培种、非洲栽培种和巴蒂野生种之间的杂种，其减数分裂进行正常。这类杂种偶尔会出现2个单价染色体或落后染色体等少量不正常现象。但是，在Nayar（1958）研究的杂种细胞中，大约有20%单个的四价体和多达8个单价体的现象。Yeh和Henderson（1962）看到单价体频率很高。某些杂交组合的单价体出现频率很高可能是由于脱联会所引起，且受遗传控制。这许多独立的研究表明亚洲栽培稻、非洲栽培稻与巴蒂野生稻之间的杂种出现的异常现象的频率和范围，并未超过亚洲栽培稻类型间杂交的异常程度。

两个栽培种单倍染色体的形态学和减数分裂配对的比较研究，进一步证明了其紧密关系。胡兆华（1960）看到，它们的核型相似，其单倍体减数分裂的配对情况也无任何差异。但是，Bouharmont（1962）观察到在染色体长度上有差异。多年生野生稻（*O. rufipogon*）单倍体体细胞染色体组的长度为 $(16.7 \pm 0.3) \mu\text{m}$ ，亚洲栽培稻为 $(17.0 \pm 0.4) \mu\text{m}$ ，非洲栽培稻为 $(13.8 \pm 0.3) \mu\text{m}$ 。终变期二价