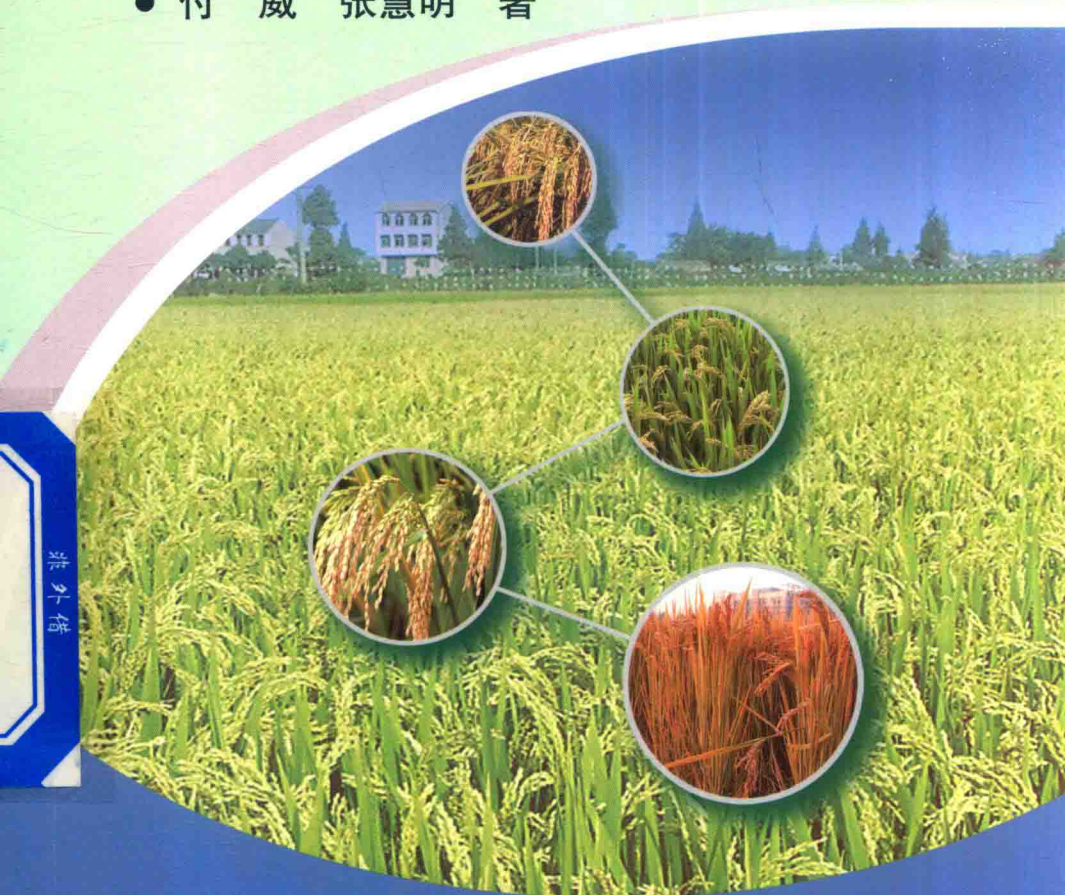


水稻精量旱穴播机 关键部件研究及整机设计

• 付 威 张慧明 著

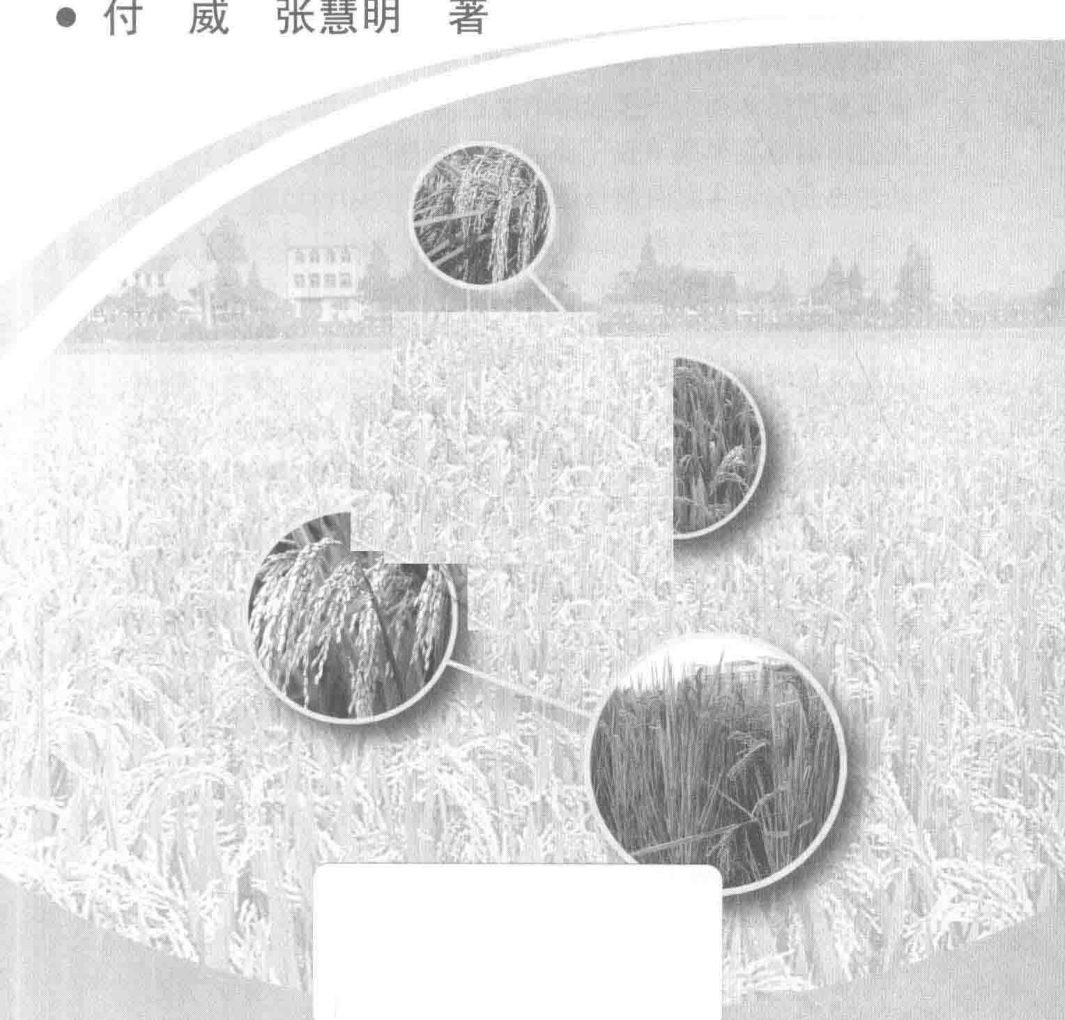


非
外
借

中国农业科学技术出版社

水稻精量旱穴播机 关键部件研究及整机设计

• 付 威 张慧明 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水稻精量旱穴播机关键部件研究及整机设计 / 付威, 张慧明著.
—北京: 中国农业科学技术出版社, 2017. 11
ISBN 978 - 7 - 5116 - 3026 - 1

I. ①水… II. ①付…②张… III. ①水稻 - 穴播机 - 机械设计
IV. ①S223. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 063527 号

责任编辑 贺可香
责任校对 李向荣

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010)82106638 (编辑室) (010)82109702 (发行部)
(010)82109709 (读者服务部)
传 真 (010)82106650
网 址 <http://www.castp.cn>
经销者 全国各地新华书店
印刷者 北京富泰印刷有限责任公司
开 本 880mm × 1 230mm 1/32
印 张 5
字 数 150 千字
版 次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
定 价 26.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

1 绪论

1.1 我国研究水稻旱直播技术的目的和意义

水稻 (*Oryza sativa*) 是草本稻属中的一种,也是稻属中作为粮食的最主要的一种,又称为亚洲型栽培稻。水稻是人类重要的三大粮食作物(水稻、小麦、玉米)之一,世界上近一半人口以大米为食。据联合国粮农组织(FAO)统计,全世界有111个国家生产水稻,总收获面积为1.59亿 hm^2 ,由此可见,水稻在粮食生产中占有极其重要的地位。

我国是水稻的起源地之一,距今已有7 000多年的栽培历史。国内常年稻谷消费总量保持在1.9亿~2.0亿 t,其中85%以上用作口粮。我国稻谷(早稻、中稻和一季晚稻、双季晚稻)种植面积2 949万 hm^2 (4.42亿 666.7m^2)左右,占世界种植总面积的19%,仅次于印度,位居第二;稻谷总产19 335万 t,占世界水稻总产的28.2%,远超印度,居世界第1位;稻谷平均单产 $6.56\text{t}/\text{hm}^2$,是我国粮食作物中单产最高的作物。2013年,我国稻谷种植面积达到3 031万 hm^2 (4.55亿 666.7m^2),产量20 361.22万 t(图1.1、图1.2)。我国水稻面积和产量逐年增长,常年种植面积约3 000万 hm^2 ,产量2亿t以上,在我国粮食生产中占有举足轻重的影响和地位。

水稻生产机械化对提高我国水稻生产能力具有着极其重要的作用,机械化种植是水稻生产全程机械化中最薄弱的环节也是最

目 录

1 绪论	(1)
1.1 我国研究水稻旱直播技术的目的和意义	(1)
1.2 研究的目的是和意义	(13)
1.3 研究的主要内容	(14)
2 水稻种子物理力学特性研究	(17)
2.1 试验材料与方法	(17)
2.2 水稻物理力学特性测试结果分析	(21)
3 水稻精量旱穴播机总体设计	(25)
3.1 新疆、宁夏等地水稻播种农艺要求	(25)
3.2 设计原则	(26)
3.3 总体设计方案	(27)
3.4 整机的传动方案	(28)
3.5 工作原理	(29)
4 播种机单体设计研究	(31)
4.1 播种机单体设计	(31)
4.2 平行四杆设计	(32)
4.3 水稻精量旱穴播机单体受力模型分析	(33)
4.4 双圆盘开沟器的选型	(37)
4.5 圆盘开沟器阻力分析	(38)
4.6 双圆盘工作阻力测试	(39)
4.7 梁架应力有限元仿真分析	(51)

5	电液比例株距调节系统的设计研究	(54)
5.1	电液比例控制系统的基本组成	(54)
5.2	电液比例控制系统的设计	(55)
5.3	电控系统的设计	(57)
5.4	液压系统设计	(70)
5.5	液压系统仿真分析	(79)
6	播种成穴性试验及分析	(98)
6.1	播种成穴性台架试验	(98)
6.2	播种成穴性对比试验	(108)
6.3	型孔式排种器成穴性分析	(111)
7	地轮动力传递性能试验	(115)
7.1	滚动阻力的计算	(115)
7.2	地轮动力传递的性能试验研究	(118)
8	田间试验	(132)
8.1	试验条件	(132)
8.2	田间生产试验	(133)
8.3	水稻长势情况测定	(136)
8.4	产量测定	(137)
8.5	经济效益分析	(138)
9	总结与展望	(140)
9.1	总结	(140)
9.2	展望	(143)
	参考文献	(144)

1 绪论

1.1 我国研究水稻旱直播技术的目的和意义

水稻 (*Oryza sativa*) 是草本稻属中的一种,也是稻属中作为粮食的最主要的一种,又称为亚洲型栽培稻。水稻是人类重要的三大粮食作物(水稻、小麦、玉米)之一,世界上近一半人口以大米为食。据联合国粮农组织(FAO)统计,全世界有111个国家生产水稻,总收获面积为1.59亿 hm^2 ,由此可见,水稻在粮食生产中占有极其重要的地位。

我国是水稻的起源地之一,距今已有7 000多年的栽培历史。国内常年稻谷消费总量保持在1.9亿~2.0亿 t,其中85%以上用作口粮。我国稻谷(早稻、中稻和一季晚稻、双季晚稻)种植面积2 949万 hm^2 (4.42亿 666.7m^2)左右,占世界种植总面积的19%,仅次于印度,位居第二;稻谷总产19 335万 t,占世界水稻总产的28.2%,远超印度,居世界第1位;稻谷平均单产 $6.56\text{t}/\text{hm}^2$,是我国粮食作物中单产最高的作物。2013年,我国稻谷种植面积达到3 031万 hm^2 (4.55亿 666.7m^2),产量20 361.22万 t(图1.1、图1.2)。我国水稻面积和产量逐年增长,常年种植面积约3 000万 hm^2 ,产量2亿t以上,在我国粮食生产中占有举足轻重的影响和地位。

水稻生产机械化对提高我国水稻生产能力具有着极其重要的作用,机械化种植是水稻生产全程机械化中最薄弱的环节也是最

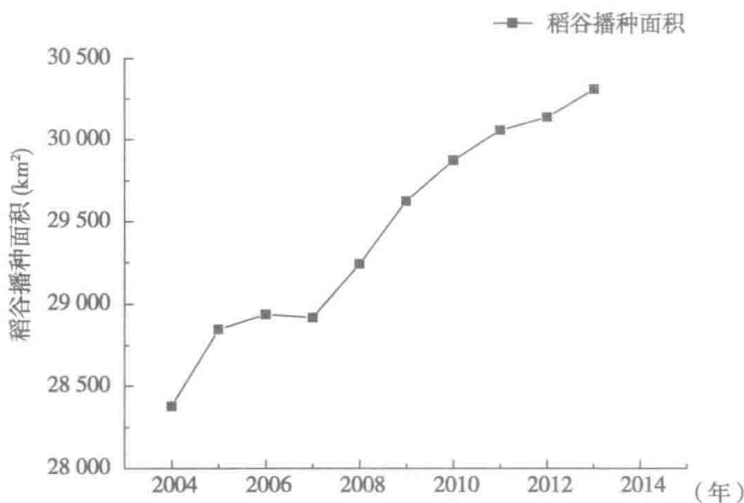


图 1.1 2004—2013 年中国稻谷播种面积

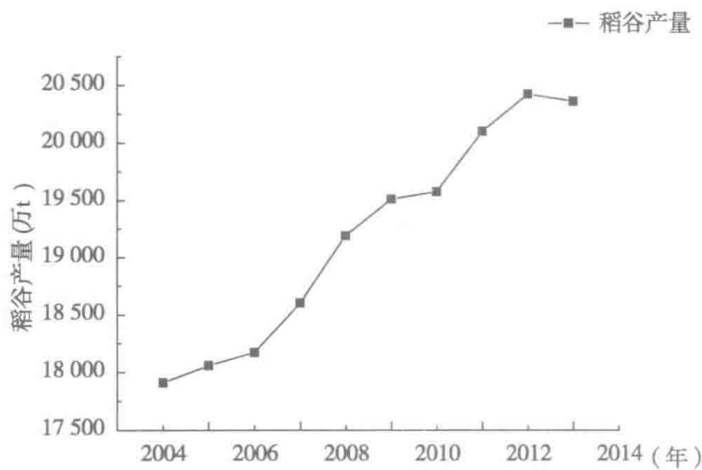


图 1.2 2004—2013 年中国稻谷产量

大的难点。2012 年全国水稻耕种收综合机械化水平 69.04%，其中机耕水平 93.59%，机收水平 73.59%；加上水稻机械直播、机械移栽面积，2012 年水稻种植机械化水平仅为 31.77%。2014 年，水稻机械化种植超过 38%，2015 年，水稻机械化栽植水平预计超过 39%。尽管如此，相对我国其他粮食作物其机械化水平仍然偏低（如玉米种植机械化程度为 72.48%，小麦为 84.37%）。水稻种植机械化发展缓慢严重制约了水稻生产机械化的发展，机械化水平低下已成为制约我国水稻生产的瓶颈。为此，农业部指出：加快发展水稻生产机械化，提高劳动生产率，减轻水稻生产的劳动强度，降低生产成本，增加产量和收益，是提高水稻综合生产能力，保障我国粮食安全的一项战略举措。

1.1.1 水稻旱直播播种技术

水稻旱直播采用“足墒下种，播后覆土”的方法，在旱地状态下直接将种子播入田里，免去了“先育苗、后移栽”的工序，与育秧移栽种植相比，水稻旱直播是一种轻简种植方式，它具有降低成本，提高农民收入，以及节水省肥，减少污染等特点。一方面，水稻旱直播省去了育苗、移栽等多项生产环节，简化了工艺流程；同时节省了育秧移栽种植过程中所需生产物资以及人工，降低了生产成本，更加有利于机械作业。另一方面，旱直播田经旋耕犁翻细耙碎后，具有较好的土壤保水性，直播的水稻根系生长好，有较强的吸水能力，抗旱能力明显增强。

水稻直播分为水直播和旱直播，有条播、穴播（点播）和撒播等方式，世界上采用直播方式的国家主要有美国、澳大利亚、意大利等欧美发达国家。亚洲地区的水稻种植机械化水平以日本、韩国为最高，但主要采用育秧、移栽方式。我国大部分地区采用育秧移栽种植模式，工序较多，移栽机械成本较高，还需配备其他播种机械设备，所以我国水稻育秧移栽种植的机械化发

展较慢,目前我国水稻移栽种植模式主要还是采用人工移栽,具有劳动强度大,占用人员多,作业效率低等特点。

水稻机械直播栽培技术省去了育秧和移栽两个环节其中水稻精量穴播技术直接将稻种穴播到大田,实现了有序种植,符合农艺要求,田间通风采光好,病虫害少,植株吸收养分能力和抗倒能力增强,解决了人工撒播的稻种在田间无序分布,水稻生长疏密不均,通风透气采光性差,易感染病虫害和易倒伏等问题。随着化学除草剂效果的显著提高,近年来直播稻在新疆水稻种植区发展迅速,直播面积占水稻种植面积 40% 以上,但缺乏精量播种机械及稳定高产栽培技术,大多采用人工撒播的方式,管理粗放,产量低而不稳,种植风险较大。研究结果表明,水稻旱直播比育苗移栽稻节水 25% ~ 50%,产量比移栽提高 5.33% (421.5 kg/hm²)。随着劳动力成本的上升,灌溉条件的改善以及高效除草剂的研制成功,很多发展中国家,逐步改水稻育秧移栽为水稻直播。在我国,水稻机械旱直播面积正逐年增长。

1.1.2 我国水稻机械旱直播技术研究现状

我国作为水稻的起源地之一,水稻直播栽培历史悠久,北魏杰出农学家贾思勰著的《齐民要术》中就有关于直播发芽稻种的记载,水稻的种植方式由最初的直播旱种发展到现在的移栽种植,已经有 7 000 多年历史。我国水稻旱直播的出现可追溯到 11 世纪的宋代,那时所谓的“旱地育秧”或称为“水稻旱秧田法”与现在的水稻旱直播技术类似,并一直延续到近代。但是由于当时水稻旱直播耕作技术以及栽培技术较为落后,灌溉条件以及除草技术不能得到有效的保证,所以该项技术一直到近代都没能得到推广。

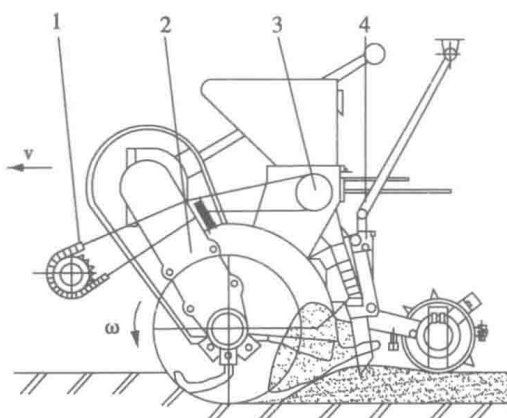
我国的水稻机械直播技术始于 20 世纪 60 年代,最初的水稻直播机是由小麦条播机演化而来。1958 年,浙江绍兴县柯桥公

社农具建造厂试制成功第一台人力稻谷直播机；外形如小麦播种机，木质结构，通过人力拉动前进播种，作业效率为 $0.2\text{hm}^2/\text{h}$ 。20 世纪 60 年代初，河北省芦台农场将国产 BG-24 谷物播种机改装为 14 行水稻旱直播机，行距 25cm 。1965 年，南京农机化所和浙江省机械所研制出 14 行水稻起垄直播机，在当地水稻直播机械化作业中发挥了重要作用。我国水稻直播机械的研究在 70 年代得到了较大的进展。1976 年，在东风-2 型水稻移栽机基础上，改造成东风-2 型水稻直播机；该水稻直播机为 6 行，行距 0.36m ，幅宽为 2.2m ，作业速度 0.8m/s ，1 天可播种 5hm^2 。1979 年，吉林省农科院机耕所将 2BZ-6 播种机改装成 2BSH-10 水稻旱种播种机，行距 38cm ，该机于 1981 年通过科研鉴定。20 世纪 80 年代，水稻直播机研发以 2BD 系列为主。80 年代初，广西大学机械电气工学院的杨坚、韦林研制出 2BD-8 自走型分流式小型水稻直播机，该直播机具有结构简单、不伤种、播种量调节范围宽等特点。采用电磁振动式播种，按播种量分档加接分流盘，有效提高了直播机的各项工作性能指标。

1994 年，华中农业大学农业工程系研制出 2BS-14G 型水稻直播机，并通过了农业部农机化局的鉴定，取得了国家实用新型专利，该机可与耕整机机头或机动移栽机机头配套构成作业机组，可一次完成平地、开沟、作畦、播种和压种 5 道工序；播量可在 $30 \sim 150\text{kg}/\text{hm}^2$ 任意调节，播种精度高、质量好，较好地解决了杂交水稻精量播种的技术难题。

2007 年，王林力等研制出 2BDY-160 型偏心顶杆式精量播种机，该机的排种器采用偏心机构，由种轮带动推种杆、连杆等运动，偏心轴固定不动，推种杆在种轮中伸缩，推种杆与种轮形成的型孔深度随推种杆的运动而变化，从而实现了播种机的精量排种，该机减少了种子损伤，实现了精量播种，并且可以方便地

调节播种量。试验表明,该播种机播种量 $1\sim 3$ 粒/穴的合格率达95%以上,破碎率低,能满足水稻的精量播种要求。2007年,镇江市农业机械技术推广站研制的2BD(H)-120型水稻旱直播机,选用可调窝眼轮式排种器,可以通过调节窝眼的大小,可以满足不同地区播量的需要(图1.3)。



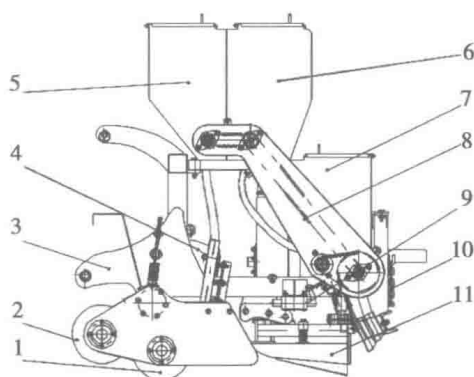
1. 动力传动; 2. 碎土装置; 3. 排种装置; 4. 播种头及升降机构

图 1.3 2BD(H)-120 型水稻旱直播机

2009年,李庆荣等提出一种新型气力式水稻单粒精密播种机工作原理,并研制出气力式水稻单粒精密播种机。该机主要由供种机构、选种机构、吸排种机构组成,利用振动原理采用电磁振动供种,通过选种机构选出单粒种子,由吸排种机构通过负压吸种和正压排种。通过对不同水稻品种进行试验研究,该播种机整机播种单粒率高于85%,空穴率均低于6%,合格率大于90%,综合播种性能良好。

2012年中国农业机械化科学研究院在原有直播机的基础上进行改进,研制出一种新型水稻旱直播机,该直播机具有土壤整平,种肥分施,覆盖效果好等特点。该旱直播工作效率可达到

1.2 ~ 1.3 hm^2/h , 播种量可达到 30 ~ 200 kg/hm^2 (图 1.4)。



1. 基肥开沟器; 2. 整平螺旋; 3. 悬挂架; 4. 齿轮箱; 5. 排基肥装置;
6. 排种装置; 7. 排覆肥装置; 8. 链传动组件; 9. 液压驱动装置; 10. 覆土链;
11. 船形托板

图 1.4 2BD-11 型水稻旱直播机

华南农业大学罗锡文等从 1998 年起对水稻精量穴播技术进行研究, 根据水稻种植农艺要求以及水稻直播的技术难点, 基于农机与农艺相结合的理念, 提出了同步开沟起垄水稻精量穴播技术, 同步开沟起垄施肥水稻精量穴播技术和同步开沟起垄喷施水稻精量穴播技术, 经过多年的试验和改进, 研制成功系列水稻精量穴播机, 包括普通型、同步施肥型、同步喷施型、简易型和同步施肥铺膜旱播型 (图 1.5、图 1.6), 实现了行距可选 (20cm、25cm、30cm 三种固定行距和 20cm + 30cm 宽窄行距)、穴距可调 (10 ~ 25cm 多级可调)、播量可控 (3 ~ 10 粒/穴或 10 ~ 20 粒/穴), 作业效率大于 5 666.7 m^2/h , 为本文 2BDH-20 型水稻精量旱穴直播机的研究提供了依据。

从 2006 年开始, 水稻精量穴播机先后在广东、广西壮族自治区 (以下简称广西)、海南、湖南、湖北、江西、安徽、上海、江苏、浙江、河南、河北、辽宁、黑龙江、云南、四川、重

庆、贵州、新疆维吾尔自治区（以下简称新疆）、宁夏回族自治区（以下简称宁夏）等 20 省、区、市及泰国、老挝、缅甸、越南和苏丹进行了生产试验、示范和推广应用。应用结果表明，采用水稻精量穴播技术，杂交稻亩（1 亩 $\approx 667\text{m}^2$ 。全书同）产可达 600kg 以上，常规稻亩产可达 550kg 以上，比人工撒播、人工



图 1.5 2BD-10 水稻精量旱穴直播机



图 1.6 2BD-20 水稻精量旱穴直播机

抛秧和人工移栽可分别增产 10%、8% 和 6% 以上, 亩节本增效分别可达 50 元、75 元和 125 元以上。2012 年, 在新疆一师六团一连, 采用水稻精量穴播技术(水直播)的亩产量为 971.1kg/亩(品种: A 稻 8 号); 在温宿县托乎拉乡四大队, 采用水稻精量旱穴播技术的亩产量为 966.9kg(品种: A 稻 8 号); 在浙江杭州市余杭区, 采用同步施肥水稻精量穴播技术和水稻好氧栽培技术的亩产量为 888.7kg/亩(品种: 甬优 12)。2013 年, 在新疆一师一团, 采用水稻精量旱穴播技术亩产量为 1 029.4kg(品种: 高丰 1 号); 在浙江杭州市余杭区, 采用同步施肥水稻精量穴播技术的亩产为 822.4kg(品种: 春优 84)。2014 年, 在新疆生产建设兵团第一师一团, 采用水稻精量旱穴播技术平均亩产量为 1 042.97kg(品种: 高丰 1 号)。

1.1.3 国外水稻机械旱直播技术研究现状

随着劳动力成本的上升, 灌溉条件的改善以及高效除草剂技术的成熟, 许多国家逐步采用水稻直播方法替代水稻移栽方式, 欧美等发达国家建立了水稻直播栽培体系, 直播已成为美国、澳大利亚、意大利及其他一些欧洲国家水稻种植的主要形式。美国是最早实现水稻机械化种植的国家之一, 其中 80% 的水稻种植面积采用机械旱直播, 20% 采用水直播。澳大利亚水稻种植也全部采用机械直播, 其中 90% 以上采用飞机直播。意大利是欧洲最大水稻生产国, 20 世纪 60 年代, 50% 以上的水稻种植面积采用移栽的方式, 截至 80 年代末, 水稻直播面积已达到水稻种植总面积的 98%, 基本实现了水稻机械化种植。近几年来, 随着新型直播稻技术的推广以及淡水资源的缺乏, 菲律宾、泰国、马来西亚及韩国等国家的旱直播稻面积也在不断增加。

17 世纪, 美国开始种植水稻。虽水稻种植历史不足 400 年, 但其现代化的直播稻生产技术却取得了引人瞩目的成果, 近 10

年来水稻单产一直居于世界前 5 名 ($8\,000\text{kg}/\text{hm}^2$ 以上), 成为世界水稻主要出口国之一。美国是北美区域的主要水稻生产国, 种植面积 120万 hm^2 , 主要分布在美国东南部的阿肯色、路易斯安娜、密西西比、得克萨斯和西部的加利福尼亚等州。由于自然条件和生产传统的差异, 西部加州以水直播为主, 东南部阿肯色等州一般采用旱直播方法。旱直播有条播及撒播两种, 70% 以上是牵引式条播机播种, 一般采用大型拖拉机牵引谷物播种机进行条播。JOHN DEER 1590 谷物条播机, 播种机宽 7m , 生产率可达 $67\text{hm}^2/\text{d}$ 。旱田条播行距 $17\sim 20\text{cm}$, 播深 1.5cm , 机播速度 $1.5\sim 3\text{m}/\text{s}$, 播后镇压, 旱直播播种量 $90\sim 120\text{kg}/\text{hm}^2$ ($430\text{粒}/\text{m}^2$) (图 1.7)。由于机械化程度高, 美国水稻种植规模是日本的 10 倍, 而成本却仅为日本的 $1/10$ 。



图 1.7 JOHN DEER 1590 条播机

19 世纪 60 年代, 澳大利亚开始种植水稻。20 世纪 30 年代, 澳大利亚的现代水稻产业才发展起来, 尽管澳大利亚的水稻产业规模较小, 却是世界上效益最好的水稻产业之一。澳大利亚 96% 的大米产于新南威尔士州西南的 Riverina 平原。澳大利亚的稻农平均每人种植 80hm^2 的水稻, 均采用直播的方法, 其中约 90% 的水稻是飞机播种 (采用飞机将萌芽的水稻种子播种到水

田)。飞行员利用全球卫星定位系统精确导航并准确地将水稻种子播撒到恰当的位置，种子在泥土中 2~3d 就长根长叶，10d 之后秧苗就会露出水面。2003 年澳大利亚成为世界上第一个也是唯一的一个平均水稻产量达到 $10\text{t}/\text{hm}^2$ 的国家。

日本的农业以水稻为主，近 50% 的耕地种植水稻，日本可称为“稻作之国”。其农业机械化也是以水稻生产为主的机械化。日本的农业机械化的发展始于 1947 年，经过近 40 年发展，水稻生产已基本实现了机械化。日本政府非常重视农业科技，研究和开发、推广了大量适合本国农业条件的新技术和新机具，在水稻生产机械化方面达到了世界领先水平，近年来机械直播技术发展很快。

20 世纪 90 年代前期，日本农业研究中心和日本爱知县农业综合试验场分别开发了圆盘开沟式不耕起播种机（免耕旱直播机），该机先用强制驱动的圆盘开沟，再用双圆盘开沟器开沟，作出 Y 形沟，然后施肥播种、镇压和覆土。作业速度 $1\text{m}/\text{s}$ ，作业效率 $4\,000\text{m}^2/\text{h}$ ，作业幅宽 2.4m（图 1.8）。



图 1.8 日本免耕旱直播机