

# 水稻

## 带钵移栽秧盘制备工艺

## 优化及其环境适应性



李连豪 等 □ 著



科学出版社

# 水稻带钵移栽秧盘制备工艺优化 及其环境适应性

李连豪 等 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书比较全面地概括了水稻带钵移栽秧盘制备过程遇到的问题和对环境突变的适应性,对水稻带钵移栽秧盘概念、结构、制备配套装备开发及制备工艺优化以及对干旱、温度及风力突变等环境因素突变的适应性等问题进行了阐述。第1章中详细列举了国内外专家、学者对该领域相关问题的研究进展,指出本书所涉及研究工作的重要性和必要性。第2章介绍带钵移栽秧盘设计思路以及相关结构确定方法。第3章介绍带钵移栽秧盘生产系统开发。第4章对带钵移栽秧盘冷压连续生产工艺及参数优化进行了探讨。第5~7章探究带钵移栽秧盘对干旱、温度和风力等环境因素突变的适应性。第8章讨论带钵移栽秧盘模式对水稻生产综合效益的影响。第9章主要探讨本项工作的不足之处以及指出下一步工作的重点。

本书主要适用于水稻科研工作者和广大种植户。

### 图书在版编目(CIP)数据

水稻带钵移栽秧盘制备工艺优化及其环境适应性/李连豪等著. —北京:科学出版社, 2017

ISBN 978-7-03-054185-7

I. ①水… II. ①李… III. ①水稻育秧设备—研究 IV. ①S223.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 200814 号

责任编辑: 刘海晶 吴卓晶 / 责任校对: 陶丽荣

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 北京睿宸弘文文化传播有限公司

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 8 月第一次印刷 印张: 8 1/4

字数: 169 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135741 (BN12)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

《水稻带钵移栽秧盘制备工艺优化及其环境适应性》  
撰写委员会

主 任

李连豪

副主任

徐广印 周雪花 贺 超

委 员

于国明 付成果 陆 旺 李德峰

## 前 言

水稻生长期水资源短缺、育秧期温度变化异常以及移栽期风力过大等不利因素及气候特点是我国寒区水稻生产的主要瓶颈。实践证明,水稻钵育栽培技术是突破上述瓶颈的有效手段之一。目前,日本水稻钵育栽培技术处于国际领先地位,但昂贵的生产投入制约其大面积推广应用,因此,开展适合我国寒区特点的水稻钵育栽培技术研究具有重要的理论价值、现实意义和推广前景。

本书著者及其研究团队在国家“十二五”期间主持和承担的国家科技支撑计划、博士后一等资助项目、河南省教育厅高等学校重点科研项目(18857001)、河南农业大学创新基金项目(KJCX2017C03)支持下,以对我国寒区多年来已有气象资料及未来发展趋势相关研究成果的分析为界定条件,综合采用田间试验、实验室试验以及权重综合值优化等研究方法,运用钵育理念,以农作物废弃物为主原料,设计开发出一款适合我国寒区气候特点的新型水稻育秧钵育载体,并在此过程中探析带钵移栽秧盘结构设计和实现方法;以带钵移栽秧盘为研究对象,开展其对水分胁迫、温度胁迫和风力胁迫的适应性研究;同时探讨其对水稻生产综合效益的影响。

通过多年的田间试验,确定了带钵移栽秧盘结构及关键尺寸;将模具平动改为圆周运动,开发出了带钵移栽秧盘冷压连续生产系统,并得到最佳工艺参数;通过2年盆栽试验,发现在充分灌溉条件下,带钵移栽秧盘栽培模式能够降低整体需水量;通过温室温度调控试验,发现带钵移栽秧盘秧苗能减小温度胁迫的影响,提高出苗率和成苗率;在育秧期遭遇低温( $-2\sim 4^{\circ}\text{C}$ )胁迫和低温周期( $8\sim 20\text{ h}$ )条件下,带钵移栽秧盘的出苗率比平育秧盘提高 $3.1\%\sim 17.6\%$ 和 $3.4\%\sim 15.1\%$ ;在叶枕抽出期、离乳期和四叶长出期遭遇高温胁迫,带钵移栽秧盘的成苗率比平育秧盘提高 $26\%$ 、 $23.3\%$ 和 $16.4\%$ ;通过低速风洞试验,分析了风力胁迫对秧苗漂秧率的影响,结果表明:在风速 $6\sim 12\text{ m/s}$ ,漂秧率降低 $1.36\%\sim 3.05\%$ ;带钵移栽秧盘栽培模式能够提升水稻生产综合效益。

本书较全面地利用理论和实验手段探讨了带钵移栽模式技术组成及其对环境的适应性。本书共 9 章。第 1 章详细列举了国内外专家、学者对该领域相关问题的研究进展,指出本书所涉及研究工作的重要性和必要性。第 2 章介绍带钵移栽秧盘设计思路及相关结构确定方法。第 3 章介绍带钵移栽秧盘生产系统开发。第 4 章对带钵移栽秧盘冷压连续生产工艺及参数优化进行了探讨。第 5~7 章探究带钵移栽秧盘对干旱、温度和风力等环境因素突变的适应性。第 8 章讨论了带钵移栽秧盘模式对水稻生产综合效益的影响。第 9 章主要探讨了本项工作的不足之处并指出下一步工作的重点。

本书在撰写过程中,得到河南农业大学和黑龙江八一农垦大学的大力支持和帮助,在此深表感谢!

本书在撰写过程中难免出现不足之处,望广大读者不吝指教。

李连豪

2017 年 5 月

# 目 录

## 前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论                     | 1  |
| 1.1 研究的目的是和意义                | 1  |
| 1.2 国内外研究进展                  | 2  |
| 1.2.1 东北地区气候未来发展趋势           | 2  |
| 1.2.2 水稻育秧载体                 | 3  |
| 1.2.3 水分、温度胁迫对水稻生育性状与生态指标的影响 | 5  |
| 1.2.4 风力胁迫对农业生产的影响           | 9  |
| 1.2.5 水稻品质影响因素研究             | 9  |
| 1.2.6 水稻土壤特性影响因素             | 11 |
| 1.3 研究目标与研究内容                | 12 |
| 1.3.1 研究目标                   | 12 |
| 1.3.2 研究内容                   | 12 |
| 1.4 研究方法及技术路线                | 13 |
| 第 2 章 水稻带钵移栽秧盘设计             | 14 |
| 2.1 带钵移栽秧盘设计思想               | 14 |
| 2.2 带钵移栽秧盘早期探索               | 16 |
| 2.2.1 结构及其实现方法               | 16 |
| 2.2.2 应用中存在的问题               | 17 |
| 2.3 带钵移栽秧盘结构设计               | 17 |
| 2.3.1 总体结构                   | 17 |
| 2.3.2 主要设计参数                 | 18 |
| 2.3.3 操作过程                   | 18 |
| 2.4 关键结构及尺寸                  | 19 |
| 2.4.1 横向设计尺寸                 | 19 |
| 2.4.2 单行钵孔总数                 | 19 |
| 2.4.3 单穴钵孔                   | 20 |
| 2.4.4 立边厚度                   | 22 |
| 2.4.5 纵向尺寸                   | 23 |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 2.4.6 通气孔及纵向进给孔 .....                | 26        |
| 2.5 结构强度分析 .....                     | 26        |
| 2.6 小结 .....                         | 28        |
| <b>第3章 带钵移栽秧盘生产系统开发 .....</b>        | <b>29</b> |
| 3.1 早期水稻育秧载体实现装置及存在的问题 .....         | 29        |
| 3.1.1 早期水稻育秧载体生产装置 .....             | 29        |
| 3.1.2 存在的问题 .....                    | 30        |
| 3.2 带钵移栽秧盘生产系统总体设计 .....             | 30        |
| 3.2.1 设计思路 .....                     | 30        |
| 3.2.2 总体设计 .....                     | 30        |
| 3.2.3 作业过程 .....                     | 31        |
| 3.2.4 系统主要技术参数 .....                 | 31        |
| 3.3 主要工作部件设计 .....                   | 32        |
| 3.3.1 搅拌装置 .....                     | 32        |
| 3.3.2 成型装置 .....                     | 34        |
| 3.3.3 退盘条复位装置 .....                  | 37        |
| 3.3.4 附属装置 .....                     | 37        |
| 3.4 生产性试验 .....                      | 38        |
| 3.4.1 试验准备 .....                     | 38        |
| 3.4.2 主要性能指标 .....                   | 38        |
| 3.4.3 试验方法 .....                     | 39        |
| 3.4.4 试验结果与分析 .....                  | 39        |
| 3.5 小结 .....                         | 40        |
| <b>第4章 带钵移栽秧盘冷压连续生产工艺及参数优化 .....</b> | <b>41</b> |
| 4.1 材料与设备 .....                      | 41        |
| 4.1.1 原材料 .....                      | 41        |
| 4.1.2 设备 .....                       | 41        |
| 4.2 研究方法 .....                       | 42        |
| 4.2.1 成型工艺流程 .....                   | 42        |
| 4.2.2 影响因素和考核指标 .....                | 42        |
| 4.3 结果与分析 .....                      | 43        |
| 4.3.1 成型辊旋转线速度对带钵移栽秧盘成型性能的影响 .....   | 43        |
| 4.3.2 稻草含量对带钵移栽秧盘成型性能的影响 .....       | 44        |
| 4.3.3 混料厚度对带钵移栽秧盘成型性能的影响 .....       | 44        |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 4.3.4 退盘条位置对带钵移栽秧盘性能的影响 .....         | 45        |
| 4.4 工艺参数优化 .....                      | 46        |
| 4.4.1 优化方法 .....                      | 46        |
| 4.4.2 试验设计 .....                      | 46        |
| 4.4.3 工艺参数优化 .....                    | 46        |
| 4.5 试验验证 .....                        | 48        |
| 4.6 小结 .....                          | 48        |
| <b>第5章 带钵移栽秧盘秧苗对干旱的适应性 .....</b>      | <b>49</b> |
| 5.1 试验区域气候变化趋势 .....                  | 49        |
| 5.1.1 试验区域简介及典型性分析 .....              | 49        |
| 5.1.2 气象资料获取及分析结果 .....               | 50        |
| 5.2 试验材料与方法 .....                     | 50        |
| 5.2.1 试验准备 .....                      | 50        |
| 5.2.2 试验方法 .....                      | 51        |
| 5.2.3 试验仪器 .....                      | 52        |
| 5.2.4 考核指标及观测方法 .....                 | 53        |
| 5.2.5 水稻生育期划分 .....                   | 53        |
| 5.3 充分灌溉下的需水规律 .....                  | 54        |
| 5.4 不同水分处理对水稻需水量的影响 .....             | 56        |
| 5.5 不同水分处理对水稻生长发育的影响 .....            | 62        |
| 5.5.1 有效分蘖数 .....                     | 62        |
| 5.5.2 株高 .....                        | 64        |
| 5.5.3 平均穗长 .....                      | 65        |
| 5.5.4 千粒重 .....                       | 67        |
| 5.5.5 产量 .....                        | 67        |
| 5.6 水分生产函数 .....                      | 69        |
| 5.7 水分利用效率 .....                      | 72        |
| 5.8 讨论 .....                          | 73        |
| 5.9 小结 .....                          | 74        |
| <b>第6章 带钵移栽秧盘秧苗对缓苗前温度胁迫的适应性 .....</b> | <b>75</b> |
| 6.1 试验材料与方法 .....                     | 75        |
| 6.1.1 试验材料 .....                      | 75        |
| 6.1.2 试验时间与地点 .....                   | 76        |
| 6.1.3 试验设计与方法 .....                   | 76        |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 6.1.4 | 测定指标                    | 77  |
| 6.1.5 | 仪器与设备                   | 78  |
| 6.2   | 试验结果与分析                 | 78  |
| 6.2.1 | 出苗期低温胁迫对出苗率的影响          | 78  |
| 6.2.2 | 出苗后期高温胁迫对成苗率及秧苗素质的影响    | 81  |
| 6.3   | 讨论                      | 85  |
| 6.4   | 小结                      | 86  |
| 第7章   | 带钵移栽秧盘秧苗对风力胁迫的适应性       | 87  |
| 7.1   | 材料与方法                   | 87  |
| 7.1.1 | 试验时间与地点                 | 87  |
| 7.1.2 | 试验准备                    | 87  |
| 7.1.3 | 试验装置                    | 87  |
| 7.2   | 研究方法                    | 89  |
| 7.2.1 | 考核指标                    | 89  |
| 7.2.2 | 影响因素                    | 89  |
| 7.2.3 | 试验步骤                    | 89  |
| 7.3   | 试验条件假定                  | 89  |
| 7.4   | 风力作用下漂秧形成条件及过程          | 90  |
| 7.4.1 | CK1 秧苗在风力作用下受力分析及漂秧形成过程 | 90  |
| 7.4.2 | CK 秧苗在风力作用下受力分析及漂秧形成过程  | 91  |
| 7.5   | 漂秧率影响因素分析               | 93  |
| 7.5.1 | 风力持续时间                  | 93  |
| 7.5.2 | 风力                      | 93  |
| 7.5.3 | 水层深度                    | 94  |
| 7.5.4 | 株距                      | 95  |
| 7.5.5 | 移栽深度                    | 95  |
| 7.5.6 | 影响因素交互作用分析              | 96  |
| 7.6   | 移栽作业参数优化                | 96  |
| 7.6.1 | 优化原则                    | 97  |
| 7.6.2 | 试验设计                    | 97  |
| 7.6.3 | 优化考核方法                  | 98  |
| 7.6.4 | 不同风力条件下移栽农艺优化           | 98  |
| 7.7   | 讨论                      | 106 |
| 7.8   | 小结                      | 107 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第 8 章 带钵移栽秧盘模式对水稻生产综合效益影响分析 ..... | 108 |
| 8.1 材料与方法 .....                   | 108 |
| 8.1.1 试验材料 .....                  | 108 |
| 8.1.2 试验设计及方法 .....               | 108 |
| 8.1.3 测试项目 .....                  | 109 |
| 8.1.4 测试仪器 .....                  | 109 |
| 8.2 结果与分析 .....                   | 109 |
| 8.2.1 经济效益 .....                  | 109 |
| 8.2.2 生态效益 .....                  | 111 |
| 8.2.3 社会效益 .....                  | 113 |
| 8.3 小结 .....                      | 113 |
| 第 9 章 结论与建议 .....                 | 114 |
| 9.1 主要结论 .....                    | 114 |
| 9.2 主要创新点 .....                   | 115 |
| 9.3 有待进一步研究的主要问题 .....            | 116 |
| 主要参考文献 .....                      | 117 |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 研究的目的和意义

东北三省（黑龙江省、吉林省和辽宁省）属于典型寒带区域，是我国粮食主产区。以黑龙江省为例，2012 年水稻产量 4.1 万 t，约占全国水稻总产量的 3.7%。由此可知，水稻生产在东北三省乃至全国农业生产中占有举足轻重的地位，为我国粮食增产做出了突出贡献。

多年来，东北三省水稻生产为我国粮食生产做出突出贡献的同时，由于其特殊的地理位置和气候特点，水稻生产过程也遇到了一些瓶颈，主要体现在：①种植面积难以大幅度扩大；②现有生产方式下单产水平难以较大幅度提高；③水稻品质相对下降；④有效水资源日趋短缺；⑤农业生态环境遭到破坏，日益恶化；⑥天气突变频发，诸如水稻生产过程中温度及风力变化异常等农业不利因素，易造成产量不稳定等等。

针对目前水稻生产状况，改变水稻生产方式是突破寒区水稻增产（或保持产量稳定）瓶颈的有效途径之一。

21 世纪初，东北三省水稻生产多采用平育秧移栽方式，其早期对水稻直播方式而言具有明显增产效果，但由于秧苗根部相互盘结易造成机械插秧伤根和秧苗对农业生产环境突变适应性差，易导致病害频发，不利于水稻壮苗的培育，从而影响水稻增产稳产。因此，需要探求新型水稻生产方式。

水稻生产方式的转变（就水稻移栽而言），首先应该是育秧载体的改变。实践证明，水稻钵育栽培技术是实现寒区水稻增产（稳产）的有效生产方式之一，这项技术也是在改变水稻育秧载体的基础上展开的。目前国际上研究此类技术最先进的国家当属日本，日本钵育栽培技术是采用水稻塑料钵盘作为水稻育秧载体、集专属水稻精量播种机播种和专属插秧机机械插秧为一体的一种水稻生产方式，其增产稳产效果十分明显，且对农业生产环境突变的适应性较强，能够为水稻秧苗创造适宜的生长环境。但其专属设备十分昂贵，诸如塑料钵育秧盘价格 17 元/个（2012 年国家补贴后价格，600 个/hm<sup>2</sup>），配套设备价格 30 万~35 万元/套（播种机和插秧机），整体资金投入较大，稻农不易接受，不符合我国水稻生产实际，因此其推广面积受到制约。

为解决上述问题，我国科技工作者借鉴日本钵育技术特点，灵活运用钵育理念，成功研发出适于寒区的新型水稻育秧载体（以下简称带钵移栽秧盘），并开发

出相关配套设备,构建成熟的与带钵移栽秧盘配套的栽培技术体系,其总体价格为日本相关设备价格的 1/15。不仅能实现日本钵育栽培技术同样的增产效果,而且能够提升水稻生产效益。2006~2013 年,带钵移栽秧盘栽培技术在东北三省共推广应用 4 万  $\text{hm}^2$ ,得到广大稻农认可。

带钵移栽秧盘栽培技术是为适应寒区气候特点培育壮苗而开发的新型水稻栽培方式,随着大面积的推广应用,一些科学问题也逐渐凸现:

(1) 早期利用水稻秸秆制备水稻钵育载体,其结构完全参考日本水稻塑料钵育秧盘。由于两者材料性质存在差异,在实际应用中存在诸多问题,其设计方法如何目前尚缺探讨。

(2) 实践表明,带钵移栽秧盘能够为水稻秧苗提供适宜的生长环境,对水稻生产环境突变(主要针对水分胁迫、温度胁迫及风力胁迫)具有一定适应性。但是,当水稻秧苗受到不同胁迫时,其适应性如何?对秧苗的生育性状有何具体影响?

(3) 带钵移栽秧盘对水稻生产效益具有一定的提升作用,生产效益包括经济效益、生态效益和社会效益,经济效益针对生产成本下降、产量和品质提升,生态效益针对土壤特性改善。那么其如何使水稻生产效益得到提升?

这些科学问题的回答与探索在一定程度上为带钵移栽秧盘栽培技术的进一步推广提供强有力的科学依据。

本书为探索和回答上述科学问题而展开,因此,本研究的开展对提高寒区水稻单产水平、提升稻米品质、节约水稻农业用水、提高水分利用效率、改善农业生态环境、降低天气突变频发造成水稻产量不稳定的风险、保证寒区水稻增产稳产及确保我国粮食安全具有重要的现实意义。

## 1.2 国内外研究进展

### 1.2.1 东北地区气候未来发展趋势

东北地区主要包括辽宁省、吉林省和黑龙江省,是全国热量资源较少的地区, $\geq 0^\circ\text{C}$  积温 2 500~4 000  $^\circ\text{C}$ ,无霜期 90~180 d;夏季气温高,冬季漫长、气候严寒,春、秋季时间短;年降水量为 400~1 000 mm,由东向西减少;太阳辐射量 4 800~5 860  $\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{年})$ ,与全国同纬度地区相比偏少,其分布由西南向北、向东减少。同时东北地区东、北、西三面为低山和中山环绕,中部是大平原,南北和东西相差约 15 个经纬度,因此气候及其变化的差异较大,是典型的“气候脆弱区”。

人类对耕地的过度开发对东北地区气候的变化影响很大,一些国内学者对此高度关注并进行相关研究。杨雪艳等(2010 年)利用东北地区 1971~2006 年气

温和大风数据研究东北地区大风的气候变化特征,认为未来大风气候总体呈显著下降趋势,这与东北地区气候逐渐变暖有关。赵春雨等(2009年)分析东北地区1961~2006年冬季降雪量气候变化数据,认为东北地区冬季降雪量具有明显的阶段性变化特征,在2000年之后降雪量有所增加;东北大部分地区降水呈减少趋势且降水日数呈减少趋势。孙凤华等(2006年,2008年)研究分析1905~2001年近百年月平均气温和月降水观测数据以及东北地区最高、最低温度非对称变化,认为东北地区气温整体上处于上升趋势,除夏季降水有微弱增加趋势外,其余季节降水均呈现减少趋势;最低气温的增温趋势明显高于最高气温,不利于作物的光合作用。刘实等(2010年)回顾中国学者有关东北三省冬季气温变化的研究成果并进行预测,认为未来东北气温整体升高,但局部地区不同年份气温出现突变。李百超等(2011年)研究分析黑龙江省不同地区近30年0~30 cm土层土壤湿度变化趋势,认为黑龙江省各地0~30 cm土层土壤湿度总体呈下降趋势,干旱程度和范围将扩大。赵春雨等(2009年)及严晓瑜等(2012年)分析1961~2009年的逐日最高、最低气温资料,认为东北大部分地区年极端最高气温和年极端最低气温均呈升高趋势,且后者比前者显著,东北地区年极端高温日数随时间变化呈增多趋势。付建飞等(2007年)利用辽宁省多年数据资料研究分析,认为辽宁省气候有暖干化趋势,干旱期体现在夏冬两季,气温有突变;年均温度由西南向东北、年降水由东向西都有逐渐递减的趋势,气温和降水的趋势系数存在空间变异性,将可能导致区域内地质灾害的发生频率增加且强度加大。

由以上分析可知,未来东北气温将上升,干旱程度将加剧,干旱时间将延长,高温、低温对农作物伤害概率增大,由地质灾害诱发的农业环境灾害将增多,因此,在我国寒区进行农业环境胁迫抵御措施研究具有重要的现实意义。

### 1.2.2 水稻育秧载体

水稻育秧载体是为适应水稻移栽需要而产生的一种秧苗依托物体,常规作业流程是在水稻育秧期间,将催芽后的种子撒(播)在水稻育秧载体上,并在其上面铺撒利于水稻种子生长的物质(有机质、土壤、化肥和水等),待育秧期结束(45~50 d)后,水稻秧苗依附在育秧载体上运输到田间进行机械(或人工)插秧,大多数水稻育秧载体可多年重复使用,水稻育秧载体对寒区培育壮苗和简化秧苗运输环节起着重要作用。

目前,水稻育秧载体一般有平育秧载体和钵育载体2种,平育秧载体是我国传统的水稻育秧载体,20世纪60年代便开始使用,有平育纸盘和平育硬盘2种类型,平育纸盘由蜡纸制成(600 mm×300 mm),为增加空气流动性,其上面布满均匀圆孔(直径1.5 mm),在运输时可将秧苗卷起,节约运输空间;平育硬盘由聚氯乙烯制成,规格和平育纸盘相同,其在秧苗运输时需要制作专用支架,较

浪费运输空间。平育秧载体的缺点在于移栽时需要起秧和洗秧，劳动强度较大，生产效率低，机械移栽时秧苗放在秧箱上，秧苗由分秧和插秧机构移栽到大田里，对秧苗根部损伤极大，需有较长缓苗期。

为了解决这些问题，国内一些研究机构进行水稻钵育栽培技术相关育秧载体的研究，钵育育秧载体与平育育秧载体最大的区别在于钵育育秧载体由多个单一钵体（圆形和方形）组成，播种时将种籽播撒到钵体内，从而解决秧苗根部盘结和机械插秧时对秧苗根部损伤大的问题。从 20 世纪 70 年代开始，中国农业科学院引进消化吸收日本钵育栽培技术，开展纸筒和塑料钵育软盘方面的研究，开发出方格式塑料钵盘，塑料钵盘长 60 cm，宽 30 cm，高 2.5 cm，塑料钵盘中有  $2.25\text{ cm}^2$  的小方格 800 个，每个小方格底面留有 5 mm 渗水圆孔。1985 年黑龙江省牡丹江塑料三厂生产了聚氯乙烯压塑 406 穴的秧盘硬盘。1987 年牡丹江农业科学研究所与上海第一塑料厂合作利用聚氯乙烯回收料，经吸塑制成钵体软盘，该成型技术可以根据需要制成不同钵孔规格的塑钵秧盘，如 353 穴、434 穴和 561 穴。20 世纪 90 年代，中国农业大学、浙江理工大学等研究机构科研人员开发出一种钵体和毯式结合的钵体毯式育秧盘，该育秧盘有 2 部分组成，上半部分是由聚氯乙烯制成的塑料软盘，但因其薄、软易变形，使用时需要下半部分的托盘支撑，如浙江理工大学研发的塑料软盘规格  $26\times 16$  穴、中国农业大学研发的塑料钵盘  $25\times 14$  穴和  $25\times 12$  穴钵体盘，这个时期由于水稻生产投入和产出比不高，农民受益小，此类育秧载体没有大面积推广应用。

到 21 世纪初，黑龙江八一农垦大学研究人员利用水稻秸秆粉碎压制新型水稻育秧载体，即水稻植质钵育秧盘，并进行配套装备的开发，不但解决水稻秸秆再利用问题，也能降低生产成本，得到农户的认可及大面积推广应用。

由于美国、澳大利亚、意大利及其他发达国家水稻生产一直沿用直播种植模式，其国内人员很少对水稻育秧载体进行研究和开发。采用水稻育秧移栽栽培模式的国家主要分布在亚洲。在亚洲，日本的水稻移栽技术最为先进，因此重点阐述日本水稻育秧载体的发展历程。

20 世纪 60 年代末 70 年代初，日本一些研究机构针对北海道等易受冷害的地方开始研究纸筒钵育苗栽培技术，能够有效解决水稻育苗低温害等问题。20 世纪 70 年代中期，日本北海道道立中央农业试验场科研人员为解决纸筒钵苗之间的窄根问题，在原有纸筒育苗技术基础上，开展纸制钵盘研究，并取得创新突破，即先制作成一定直径的纸筒，然后再用一种能够分解并失去黏性的胶黏剂把纸筒粘连成钵盘状。当秧苗期结束时，胶粘剂失去原有的黏性并分解掉，秧苗的营养钵体彼此间比较容易分离，并相对钵体较完整。这一育秧载体生产技术的突破，带动了水稻移栽抛秧技术的产生。虽然此纸制钵盘育出的秧苗具有苗壮、根系发达等优点，但只能一次性使用，秧盘成本较高，增加水稻生产成本，因此后期此项技术没有大规模推广应用。

20 世纪 80 年代,在日本出现长毡式育秧载体,长毡式育秧是水稻无土栽培技术,在长毡式育秧载体上铺上一层无纺织物,上面撒播水稻发芽种子(催芽),水泵循环喷出营养物质,然后用 20~30℃ 的水温进行管理,经 2 周左右,育成苗高 10~12 cm、叶龄 2.0 的小苗便可移栽插秧,此育秧方式与传统育秧箱的带土毡式苗相比,在一定程度上降低搬运强度,机械插秧时减少秧苗补给次数,提高运苗效率。不足之处在于长毡式育秧的秧苗带比较长,不方便运送秧苗到田间插秧,而且由于长毡式秧苗的根较软且韧,在插秧机移栽前就有死根现象。

20 世纪 90 年代初,日本水稻栽培学家松岛省三先生与丸井加工(株式会社)合作,开发出 3 种型号(578 穴、648 穴和 2015 穴)的塑料钵育秧盘。按照 3 种钵盘钵孔尺寸的不同,可培育出大苗、中苗和小苗 3 种秧苗类型。

21 世纪初,随着高分子树脂材料工业的发展,北海道国立农业试验场和道立中央农业试验场相关科技人员合作研制出适合大苗育秧移栽的树脂钵育秧盘,我们称为日本塑料钵盘,其外形为长方形,长 62 cm、宽 31.5 cm,每盘有 14 行,每行有 48 个穴,共 672 个钵孔,钵孔为圆台形,上口直径 16 mm,下口直径为 13 mm,钵孔深为 25 mm,下口底部为“Y”字形,较其他部位软而薄,称之为发根孔,起透水、透气的作用。此种育秧载体钵育栽植的大苗具有秧苗素质好、返青快、早熟高产、成熟度好、米质优良等优点,这些都证实了该育秧盘与移栽方式相配套的栽植技术是一种省力、优质、稳产的栽培方法,在日本得到广泛应用。

由上可知,作为一款带钵移栽秧盘,其不但能够实现与日本钵育栽培技术同样的增产效果,而且能够大大地降低水稻生产投入。作为一款新出现的育秧载体,国内外对其凸显的水土方面的科学问题研究极少,因此进行这方面研究,对完善我国水稻钵育栽培技术体系具有重要意义。

### 1.2.3 水分、温度胁迫对水稻生育性状与生态指标的影响

水分亏缺和外界温度骤升、骤降对植物的生长、产量、形态指标和生理生化指标有着严重影响,对水稻生产的影响也是如此,因此,研究如何为作物提供适宜生长环境和提高水稻对水分、温度胁迫的适应性具有重要的理论意义和实践意义。

#### 1. 水分亏缺

凡是不能满足作物基本需水要求的环境因子均可形成水分胁迫,进而造成作物水分亏缺,如干旱、高温、低温和高盐等均能形成水分胁迫,其中干旱是最重要的一种。即使在非干旱的主要农业区,也不时会受到旱灾侵袭。干旱对世界作物产量的影响,占自然逆境中首位,其危害相当于其他自然灾害之和。水分亏缺是一种最普遍的影响作物生产力的环境胁迫,水分胁迫对农作物造成的损失在所有非生物胁迫中占首位。

国内主要通过桶栽控水或者大田水层控制施加水分胁迫来研究水分亏缺对水稻秧苗生理指标、生态指标和生长发育的影响。郑家国等（2003 年）认为花后水分亏缺对稻谷产量和稻米品质有很大影响。柯传勇（2010 年）及张烈君（2006 年）认为水分胁迫抑制水稻的生长发育，株高、叶片数、茎蘖数、叶面积和叶面积指数（Leaf Area Index, LAI）增长受到限制。水分胁迫的时期、程度和历时的不同导致抑制程度不同。胁迫程度越重，历时越长，作物受到的抑制作用越大，并且这种作用具有一定的滞后性。复水后株高、叶片数、茎蘖数、叶面积和叶面积指数增长速度加快，接近或超过对照，表现出一定的补偿效应；不同生育期水分胁迫均抑制水稻叶片的光合作用。胁迫程度越重，历时越长，抑制作用越明显。复水后胁迫处理的光合速率表现出补偿效应；水分胁迫对叶片蒸腾速率和气孔导度的影响具有较长的后效性，气孔因素是影响叶片光合作用的重要因素。不同生育期水分胁迫使叶绿素浓度升高，复水后叶绿素浓度有下降趋势。柏彦超等（2007 年）采用高砂土充填的 PVC 土柱模拟地下水埋深来控制土壤水分状况，研究发现，随埋深深度的增加，水稻生物学产量及经济产量有不同程度的降低，地下水埋深过大不利于水稻作物对磷、镁、钠等元素的吸收，并妨碍成熟期籽粒中钾向秸秆的回流。季飞（2008 年）认为，水稻生育过程中抽穗开花期需水最大，拔节孕穗期次之，同时抽穗开花期也是水分亏缺敏感时期，分蘖期和灌浆期对水分亏缺则不十分敏感。不同阶段的不同程度受旱对水稻生长发育及产量的影响各不相同，相同程度受旱对产量影响最大的阶段为拔节孕穗期，抽穗开花期次之；在分蘖期实施适当的水分亏缺不会对产量构成较大影响，灌浆期采取一定程度的受旱也不会对产量构成影响，甚至在穗长、株高、千粒重等指标上要高出对照处理。不同土壤水分条件与水稻需水量和产量三者之间的相互关系非常密切，不同阶段的不同程度受旱对水稻生长发育的影响不相同。郝树荣等（2010 年）认为水分胁迫在抑制水稻茎秆、叶片、叶面积延伸生长的同时，能有效地诱导冠层结构，为旱后复水补偿效应的产生提供条件。周欢等（2010 年）认为，水分胁迫对分蘖期单株的有效穗数影响较大，轻度水分胁迫提高了单株的有效穗数、实粒数及产量，而重度胁迫则显著降低了产量；拔节孕穗期水分胁迫对产量影响较大，结实率随水分胁迫的加重而显著下降，是水稻植株生长的水分敏感时期；抽穗成熟期的水分胁迫处理对千粒重影响较大，轻度水分胁迫处理对产量及其构成因子无明显影响，而重度胁迫显著降低了各产量构成因子，从而显著降低了水稻产量。不同生育时期不同的水分胁迫处理中，以轻度水分胁迫水分利用效率最高，在分蘖期和灌浆结实期进行适当的水分胁迫处理可提高水分利用效率。王维等（2011 年）研究认为，灌浆期土壤水分亏缺引起的灌浆后期籽粒中蔗糖向淀粉合成代谢中一些关键酶活性快速下降和籽粒内容物的供应不足是籽粒淀粉积累总量减少、粒重降低的主要生理原因。高婷等（2012 年）对寒冷地区水稻需水量和水分胁迫进行系统研究分析，认为水稻需水量主要集中在分蘖期、拔节孕穗期和抽穗开花期 3 个时期；