

# 红萍的应用技术研究

黄毅斌 刘 晖 应朝阳 徐国忠 主编

中国农业科学技术出版社

# 红萍的应用技术研究

黄毅斌 刘 晖 应朝阳 徐国忠 主编

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

红萍的应用技术研究 / 黄毅斌等主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2017. 10

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2508 - 3

I. ①红… II. ①黄… III. ①蕨类植物 - 研究 IV. ①Q949. 36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 023899 号

责任编辑 李 雪 徐定娜

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) 82105169 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)  
(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82109707

网 址 [http://www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京科信印刷有限公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 39. 5

字 数 1 024 千字

版 次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

定 价 68. 00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

# 《红萍的应用技术研究》

## 编 委 会

主 任：刘中柱 翁伯琦 唐龙飞

副 主 任：黄毅斌 刘明香 应朝阳 王义祥

主 编：黄毅斌 刘 晖 应朝阳 徐国忠

参编人员：林永辉 郭燕玲 邓素芳 李艳春 韩海东

陈志彤 钟珍梅 罗旭辉 王成已 陈 恩

李春燕 杨有泉 陈 斌 郑向丽 王俊宏

刘明香 唐龙飞 王义祥 姚宇红 黄秀声

陈敏健 李振武 冯德庆 陆 燕 林忠宁

陈钟佃

# 红萍的特性与利用

## (代序)

作为世界上最早养殖和利用红萍的国家，红萍作为水生绿肥、饲料或饵料在中国传统农业体系中已有几千年的历史。早在公元 540 年，贾思勰所著的《齐民要术》中就有红萍的记载，明朝末期以来，东南沿海许多地方府志都有红萍作为稻田肥料的记述。从地域而言，红萍最早是由福建、浙江、广东传播到南方各省，因此在长江流域以南的中国稻区，都有养殖利用红萍的历史习惯。随着红萍新品种的育成和越夏越冬技术的研究改进，红萍的利用区域已过长江、跨黄河、越长城，北抵东北的松花江畔，西临西北的秦岭山麓。

### 一、红萍的特性

红萍也称绿萍、红浮萍等，在植物分类上属槐叶萍目、满江红科、满江红属 (*Azolla* spp.)。“满江红”，也是著名的词牌名之一，传唱最广的是岳飞的《满江红·怒发冲冠》。词牌“满江红”，可能来源于夏秋季节的红萍在花青素作用下呈现出绯红的颜色。

红萍起源于晚白垩纪之前（约 5 800 万年前），是具有生物固氮功能的蕨类和藻类的共生体，蕨类为其叶腔中生存的鱼腥藻 (*Anabaena azollae*) 提供碳水化合物，鱼腥藻则可将空气中的氮气吸收并转化为有机态氮，进而合成氨基酸和蛋白质。因此，红萍在贫瘠的水质条件下仍能繁殖生长。

红萍的最佳生长温度为 15 ~ 28℃、湿度 65% ~ 85%、光强 6 000 ~ 12 000 lx，最佳生长条件下，3 ~ 4 d 可以产量翻倍；红萍固氮能力强，固氮量在 150 ~ 450 kg N/ (hm<sup>2</sup> · 年)，固氮效率高于大豆、三叶草等豆科植物。红萍具有很强的富集钾的能力（红萍含 K 1.99% ~ 2.56%），水稻吸收水体中钾的峰值为 8 mg/kg、临界浓度为 2 mg/kg，而红萍的峰值为 0.85 mg/kg、临界浓度为 0.1 mg/kg，即红萍可以吸收并富集水稻无法利用的钾。红萍光合作用高效，红萍由蕨和藻两种不同植物组成，拥有各自不同的光合色素，可以在较大光域范围内进行光合作用。红萍营养全面，适口性好，干物质含粗蛋白 25% ~ 35%、粗脂肪 2.5% ~ 3.1%、粗纤维 7% ~ 11%，还含有钾、钙、硫、硒、钼等矿质元素。

### 二、红萍的综合利用

红萍在生产中的应用已取得巨大的经济、社会和生态效益。新中国成立以来，红萍作为

水生绿肥在全国推广,1977年,红萍的养殖面积已达7万亩\*,1978年以后,红萍的应用面积不断扩大并日趋多样化,1980年起,“稻—萍—鱼”等红萍综合利用模式得到大面积推广,至20世纪90年代中期,全国每年推广“稻—萍—鱼”模式达百万亩,新增稻谷6000多万公斤,新增产值2亿多元。90年代后期至今,红萍的应用领域扩展到“稻—萍—鱼、稻—萍—鸭、稻—萍—螺—蟹”等生态农业模式。据不完全统计,目前约有生态农业100多万亩,每亩新增经济效益400多元,共新增收入4亿多元。

(1) 稻田绿肥。红萍作为稻田肥料,主要作为基肥,共有两种方式:①利用冬闲田养萍,每亩投放200~250 kg萍母,翌年春繁后可亩产鲜萍3000~4000 kg,水稻插秧前倒萍作为基肥使用;②在早稻田套养红萍为晚季水稻供肥,早稻插秧后放入红萍养殖,每亩放萍量为150~200 kg,早稻收割后,红萍翻压入土作为晚稻的肥料,每亩可产鲜萍1500~2000 kg。

(2) 禽、畜、鱼的绿色饲料。红萍营养丰富、个体适中(仅1~2 cm<sup>2</sup>),是猪、鸭、鱼的优质绿色饲料,可以提高产品质量、降低生产成本,可为有机禽、畜、鱼产品生产提供廉价的饲料源。

(3) 稻—萍—鱼、稻—萍—鸭生态农业模式。中国传统的稻作体系,一直将红萍作为肥料来源,20世纪80年代以来,研究发展出的“稻—萍—鱼”“稻—萍—鸭”生态农业模式,不但增加了稻田的产出,而且可以减少50%~70%的化肥和农药使用。而在有机稻米生产中,可以将红萍作为全部的肥料来源。①稻—萍—鱼生态农业模式:在养鱼占地10%情况下,保持水稻产量,节约肥料、农药70%,鱼产量300~400 kg/亩。②稻—萍—鸭生态农业模式:每亩放养15~30只鸭子,经过连续3年以上的种养,可实现不使用化肥和农药,达到有机稻米生产标准。

(4) 减少温室气体,控制水体污染。大气中的甲烷(CH<sub>4</sub>)有20%~30%来自稻田农业生产的排放,而研究发现,稻—萍—鱼模式CH<sub>4</sub>的排放量比常规稻田减少34.6%。另外,红萍对养殖水体中铵态氮和总磷的去除率为38.90%和38.43%。

(5) 作为太空生命生态保障系统(CELSS)的核心生物部件。红萍的生长特性适合于在CELSS中的应用。①生长迅速,增殖天数为3~5 d。②可以进行湿润养殖,解决太空的失重问题。③非常强的吸收CO<sub>2</sub>和释放O<sub>2</sub>能力,在立体叠层养殖情况下,可占较小的空间为宇航员供氧。④用于宇航员尿液净化,是可再利用的生物部件。⑤可加工成沙拉等食品,也可养鱼等,可形成食物链循环。

(6) 可作为中药原料。作为中草药,红萍可益气补血,扶正解毒,主治气血两虚症。以红萍为主要原料的“安多霖胶囊(阿多拉)”是抗癌辅助药,获得卫生部的“准”字号认证,已大量生产,取得显著的经济效益。

此外,由于红萍是一种萍藻共生的水生蕨类植物,具有共生固氮能力,是良好的固氮植物研究材料,同时又是蕨类藻类共生的模式植物,所以也是很好的植物共生研究材料。

\* 1亩≈667 m<sup>2</sup>, 1 hm<sup>2</sup> = 15 亩,全书同。

### 三、红萍的种质资源

由于大部分红萍资源在自然条件下不产生生殖器官(孢子果)或无齐全的雌雄生殖器官,因此,红萍种质资源主要依靠营养体培养的方式进行保存。位于福建省农业科学院的国家红萍种质圃,是由农业部批准建立的目前世界上收集品系最多的红萍资源圃,拥有在全球收集到的6个大种共505个红萍品系,建立茎尖组培、温室水培和网室土培的三级长期保存体系。国家红萍种质圃的建设,为我国未来的红萍研究与应用奠定了良好的基础。

今年是国家红萍资源中心成立30周年,本书汇编了红萍研究中心科研人员撰写的相关论文,以之纪念。感谢福建省农业科学院农业生态研究所及原福建省农业科学院红萍研究中心全体同事为本书的编写所付出的心血,感谢唐龙飞研究员的指导和帮助。本书的相关研究和出版得到国家绿肥产业技术体系(CARS-22)、农业部作物种质资源保护和利用(红萍种质资源收集、编目与利用)项目、福建省科技计划项目(2016R1016-1)、国家红萍种质圃(福州)、农业部福州农业环境科学观测实验站、福建省丘陵地区循环农业工程技术研究中心、福建山地草业工程技术研究中心、福建省农业科学院重点科技创新团队(STIT2017-1-9)的资助。另外,本书的出版还得到福建省“百千万人才工程”人选培养资金和福建农业科学院出版基金的资助。在此,向给予本书顺利出版提供帮助的领导、同事和相关单位致以衷心的感谢!

黄毅斌、翁伯琦

2017年7月

# 目 录

## 第一章 红萍的品种选育与良种繁育

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 我国红萍育种概况及其展望                             | 3  |
| 生物技术在满江红研究中的应用                           | 8  |
| 满江红有性杂交研究及其鉴定                            | 15 |
| 红萍有性杂交研究(综述)                             | 24 |
| 满江红三腺亚属种及种间杂种雄性育性初步研究                    | 33 |
| 回交萍3号的育种及其应用前景                           | 37 |
| 满江红孢子果空间诱变效应的研究Ⅰ. 高空条件对不同品系满江红孢子果生长发育的影响 | 43 |
| 满江红孢子果空间诱变效应的研究Ⅱ. 空间条件对不同品系满江红耐荫性的影响     | 48 |
| 红萍杂交新品种——“榕萍1-4号”的特点与养殖利用技术              | 54 |
| 杂交萍稻田套养的耐荫性初试                            | 64 |
| 建立“榕萍1-4号”萍母繁育基地及其养殖技术                   | 67 |
| 回交满江红3号(MH3-1)若干抗逆特性研究                   | 70 |
| 卡洲满江红抗逆性研究                               | 78 |
| 卡洲满江红夏季繁殖力与多抗性初步观察                       | 86 |
| 卡洲萍周年繁殖力与抗逆性研究                           | 91 |
| 卡洲满江红抗性研究的田间验证Ⅰ. 早稻田套养为晚稻田供肥             | 96 |

## 第二章 红萍的病虫害及防治技术

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 红萍主要虫害及防治                            | 101 |
| 红萍的病虫害及其防治                           | 103 |
| 萍丝虫生物学特性与防治的研究Ⅰ. 摇蚊的形态特征             | 109 |
| 萍丝虫生物学特性与防治的研究Ⅱ. 伊尼诺多足摇蚊的生活习性及对红萍的危害 | 115 |
| 萍丝虫生物学特性与防治的研究Ⅲ. 萍丝虫防治的研究            | 128 |
| 萍丝虫的生物学特性与防治的研究Ⅳ. 应用紫外线灭蚊灯诱捕萍摇蚊的效果   | 132 |
| B. t. i 防治萍丝虫效果研究                    | 136 |
| 萍螟、萍灰螟择食性与产卵选择性探讨                    | 138 |
| 二种防治萍螟、萍灰螟的高效低毒农药                    | 140 |
| 满江红的螺害研究Ⅰ. 萝卜螺的生物特征与对红萍的危害           | 142 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 红萍抗（椎实）螺能力研究初报 .....     | 146 |
| 红萍霉腐病发生特点及其防治的初步研究 ..... | 151 |

### 第三章 稻田养萍与利用

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| 稻田养萍在肥料和饲料上的价值 .....                            | 157 |
| 满江红对稻田土壤生产力的影响（1985—1987 年） .....               | 164 |
| 稻田养萍高产低耗多用的探索 .....                             | 173 |
| “周年养萍”研究初报 .....                                | 177 |
| 亩产 650 kg 粮、8 000 kg 肥的新套套——介绍稻田“周年养萍” .....    | 183 |
| 稻田养萍施肥问题 .....                                  | 185 |
| 用 <sup>15</sup> N 示踪法研究红萍在稻田中的肥效 .....          | 188 |
| <sup>15</sup> N 示踪法研究灌溉稻田土施红萍和兰绿藻效益及其氮素去向 ..... | 193 |
| 施用尿素、红萍对水稻生长及其氮素利用效率的影响 .....                   | 198 |
| 红萍在稻田氮素平衡中的作用 .....                             | 207 |
| 淹水稻田养红萍及其固氮作用 .....                             | 214 |
| 稻田养萍减少化学氮肥挥发损失效果的研究 .....                       | 215 |
| 提高稻田尿素氮利用率若干方法与机理探讨 .....                       | 223 |
| 生物钾肥的应用及其对水稻生长的有效性 .....                        | 231 |
| 卡洲萍稻底套养的消长及其经济效益 .....                          | 240 |
| 卡洲萍田间消长规律研究初报 .....                             | 246 |
| 红萍的养殖与利用（一） .....                               | 253 |
| 红萍的养殖与利用（二） .....                               | 255 |
| 红萍的养殖与利用（三） .....                               | 257 |
| 红萍的养殖与利用（四） .....                               | 259 |

### 第四章 稻—萍—鱼生态模式

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 稻萍鱼立体农业技术及其增产原理 .....         | 263 |
| 稻—萍—鱼初探 .....                 | 274 |
| 稻萍鱼共生是提高稻田产值的好途径 .....        | 275 |
| 稻萍鱼高产共生体系研究 .....             | 279 |
| 稻—萍—鱼模式研究结果简述 .....           | 288 |
| “稻萍鱼”与“垄畦栽”结合试验示范初报 .....     | 292 |
| 免耕法再生稻在“稻、萍、鱼”田中的应用效果初报 ..... | 297 |
| “坑塘式”稻萍鱼立体模式研究 .....          | 301 |
| 再生稻在稻萍鱼田中的应用效果初报 .....        | 304 |
| 稻—萍—鱼体系对稻田土壤环境的影响 .....       | 308 |
| 福建省稻田“稻萍鱼”生产技术规程 .....        | 313 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 稻萍鱼生物群体中鱼食鲜萍量公式的推导·····                               | 318 |
| 稻—萍—鱼的研究Ⅱ. 萍在稻萍鱼体系中的作用·····                           | 320 |
| 红萍在稻萍鱼体系中的部分作用研究·····                                 | 325 |
| 红萍在“稻萍鱼”“稻萍鸭”模式中的作用·····                              | 329 |
| 红萍钾在稻萍鱼共生系中循环利用研究·····                                | 336 |
| 红萍氮在稻萍鱼体系中的有效性·····                                   | 344 |
| 稻—萍—鱼系统中红萍氮素吸收利用及有效性研究·····                           | 349 |
| 稻萍鱼体系中红萍供氮的特点·····                                    | 357 |
| $^{15}\text{N}$ 示踪法研究稻萍鱼体系中红萍氮素的利用及对水稻生长的影响·····      | 364 |
| 闽北山垄田稻萍鱼共生体系与萍体氮素循环利用效率研究·····                        | 372 |
| 从稻萍鱼体系研究到稻田人工生物圈·····                                 | 379 |
| 稻萍鱼田的农药使用·····                                        | 383 |
| 稻田高效、低耗、低污染的持续农业模式研究·····                             | 385 |
| 稻田人工生物圈的调控技术研究·····                                   | 393 |
| 稻田人工生物圈的环保效应研究·····                                   | 399 |
| 稻田人工生物圈的技术和效益研究·····                                  | 405 |
| 调控稻田人工生物圈及其新耕作体系研究Ⅰ. 田长期定位试验结果初报·····                 | 411 |
| 调控稻田人工生物圈及其新耕作体系研究Ⅱ. 建宁基点及泰宁联系点连续五年中<br>试结果与效益分析····· | 418 |
| 调控稻田人工生物圈及其新耕作体系研究Ⅲ. 外源喷水系统的增氧效果研究·····               | 426 |
| 调控稻田人工生物圈及其新耕作体系研究Ⅳ. 综合调控技术对水稻生长和稻田<br>生态环境的影响·····   | 433 |
| 稻萍鸭生态系统的主要生态效应探讨·····                                 | 442 |
| 稻田养鱼的发展特点和发展趋势初探·····                                 | 445 |
| 稻田养鱼饵料周年供应技术·····                                     | 449 |
| 稻田养鱼病害防治技术·····                                       | 450 |

## 第五章 红萍与空间生命生态保障系统

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 受控生态生保系统内红萍载人供氧特性研究·····                              | 453 |
| 红萍对受控密闭系统中 $\text{O}_2 - \text{CO}_2$ 浓度变化影响研究初报····· | 462 |
| 红萍供氧装置及其试验研究·····                                     | 466 |
| 红萍湿养栽培供 $\text{O}_2$ 装置研制·····                        | 472 |
| 受控密闭舱内红萍载人供氧特性·····                                   | 482 |
| 模拟微重力环境对红萍群体光合作用的影响研究·····                            | 489 |
| 不同光照强度下红萍在湿养条件中光合作用的对比试验·····                         | 497 |
| 红萍的光合作用和光抑制的若干探索·····                                 | 501 |
| 低光照密闭环境下红萍湿养品种筛选·····                                 | 507 |
| 湿养条件下红萍产量与能耗的关系研究·····                                | 517 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| CELSS 系统中红萍和蔬菜初步整合试验研究 | 526 |
| 高密度水产养殖自控生态型大棚的水质净化技术  | 532 |
| 新食物链生态系统中水流速度对净化效果的影响  | 538 |

## 第六章 红萍的其他应用

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 4 种红萍周年喂养草鱼和尼罗罗非鱼的适口性研究 | 547 |
| 尼罗罗非鱼摄取红萍与消化率的研究        | 551 |
| 鱼类利用红萍氮的示踪法研究           | 555 |
| 红萍作为鱼饲料的利用效果            | 559 |
| 红萍—福寿螺—革胡子鲶的食物链         | 562 |
| 生态型多层养鳖装置的试验研究          | 566 |
| 红萍净化水产养殖循环水体的研究         | 571 |
| 红萍在植物治污方面的应用研究进展        | 578 |
| 红萍青贮方法及其饲喂适口性初试         | 584 |
| 新耕作体系中红萍配合颗粒饵料的研究       | 586 |
| 红萍——反刍动物的潜在饲料源          | 593 |
| 红萍吸盐改土作用的研究             | 596 |
| 红萍发酵过程中一些营养及理化特性的变化     | 599 |
| 红萍 LPC 提取方法的研究          | 604 |
| 红萍有机肥制作的研究              | 616 |

# 第一章

## 红萍的品种选育与良种繁育



# 我国红萍育种概况及其展望

唐龙飞 郑德英

(福建省农业科学院红萍研究中心, 福州 350013)

**摘要:** 本文回顾了我国红萍养殖、品种引进及红萍种质改良等方面的先期研究。较详细地介绍了福建省农业科学院红萍研究中心在红萍种质改良与育种方面(包括有性杂交育种、萍藻重建共生体、辐射诱变育种、回交育种等)所作出的努力。对回交萍优良株系 MH3-1 的种性特征作了描述。未来红萍育种应注意选育饲料料型、耐盐型、高富集型的红萍品种,在上述已采用的红萍育种方法基础上再结合抗虫基因导入、原生质体杂交融合以及基因电击法等技术,可望使红萍育种取得更有效的成果。

**关键词:** 红萍育种; 种质资源改良; 概况与展望

红萍(*Azolla*, 即满江红)是较早为中国劳动人民所认识和利用的水生植物。有关红萍形态与若干用途的记述可见于《齐民要术》《本草纲目》等著名的古代典籍中(Chu LC, 1979)。在长期的劳动实践中,中国农民逐渐认识了红萍在稻田中具有生长迅速、肥效高、易于养殖管理等优点,并用它作为水稻生产中的绿肥。浙江省温州,福建省长乐、闽侯,江苏省震泽、蒲庄,湖南省湘西和广西壮族自治区武鸣等地是我国养殖、利用红萍较早的地方(刘中柱,等,1989)。另外,中国农民在利用红萍作为猪、鸡、鱼、鸭等畜鱼禽饲料方面积累了丰富的经验(魏文雄,等,1986; Chu LC, 1979)。由于长期的闭关自守,20世纪70年代前,我国稻田养用的红萍均系本地萍品系(*Azolla pinnata* var. *imbricata*)。尽管20世纪60年代中期全国养萍面积发展到7万亩,但由于本地萍种性的缺陷,在稻田中生长的时间短,年生物产量不能满足水稻生产的需要。加之自20世纪70年代以来我国化肥产量剧增,化肥在农田中大量使用,红萍的养殖受到了冲击。驯化、培育出具有繁殖速度快、品质好、抗性强、田间生长周期长的红萍品种已成为农牧业生产上的迫切需要。70年代中后期,我国开始进行红萍种质资源征集、保存与利用的研究。中国科学院植物研究所首先从德国引进蕨状满江红(俗称细绿萍, *A. filiculoides*)具有抗寒性强、起繁强度低、长速快等特点,该萍种首先在浙江温州等地养殖以后推广全国进行大面积生产应用,取得良好效果。福建省农业科学院从国际水稻研究所、国际原子能机构以及凯特林实验室等单位引进了七大种、几十个株系的萍种,从中筛选出具有抗热、耐荫能力强的高抗性品种卡洲满江红(*A. caroliniana*)在我国的福建、湖南、浙江等地及菲律宾大面积推广。这些在分类上归属三膜亚属的红萍品种在大田生产上表现出许多优于中国本地萍的种性,为红萍的育种准备了丰富的基因材料。

## 1 我国先期红萍品种改良的尝试

红萍既可无性繁殖,又有有性世代。多数红萍可在其生长的某一时期产生性繁殖器官——孢子果。随着杂交技术被普遍用于农作物的育种,20世纪70年代中后期,红萍研究人员也开始试用这一技术进行红萍品种的改良。实验首先集中于易产孢子果的红萍品种上。1979年,江苏徐州地区农业科研人员用蕨状满江红分别和洋州萍(*A. rubra*)及湖北当阳萍(*A. pinnata*)进行杂交,大孢子果的萌发率为2%~10%。同年,湖北当阳县红萍研究所也用蕨状满江红与湖北当阳萍、山东郯城萍(*A. pinnata*)以及日本满江红(*A. japonica*)进行正、反交,获得121个单株苗。1985年,福建省宁德地区农科所也获得几个当地萍与蕨状满江红杂交的品系。此外,浙江省农业科学院、广东省农业科学院也相继开展了红萍有性杂交育种的尝试。然而,由于缺乏行之有效的鉴定手段,对上述杂种苗的真伪性还难以分辨,对杂种的生物学特性亦缺乏系统的资料描述。因此,该阶段宣布所育出的新萍种还不能被确认。

## 2 红萍种质改良与育种的新努力

福建省农业科学院红萍研究中心自1985年3月成立以来,把萍种的引进、利用与改良工作作为重点。经过多年研究取得了进展,培育出一些新萍种,并已在生产上推广应用。

### 2.1 红萍有性杂交育种

1986年,魏文雄等人用小叶萍(*A. microphylla*)为母本、细绿萍为父本进行杂交,筛选出四株种性较好的杂交株系。采用脂酶同功酶谱生化分析、表皮毛细胞数及小孢子果泡腔块钩毛横隔数等形态学鉴别及其他生理指标的测定,证实了所获得的红萍杂交苗的可靠性(魏文雄,等,1986)。研究还表明,不同杂交组合之间的亲和性有很大差异,有些孢子果组合,如以细绿萍为母本,小叶萍为父本的杂交后代几乎全是白化苗与褪绿苗,有的还出现不同程度的畸形苗。之后,他们又取得了以墨西哥萍(*A. mexicana*)为母本、细绿萍为父本的杂种后代。在生产上,选育出种间杂交新品种杂交榕萍1-4号(经品种审定后正式定名为“榕萍1号”),在福建、湖南、浙江、东北三省以及内蒙古等省区推广5万公顷(1公顷=10 000平方米,全书同)。并已被国际水稻研究所以及巴西、印度等8个国家引种。

### 2.2 萍藻重建共生体

1987年,林沧、刘中柱等发现,采用切除大孢子果顶端的囊群盖和漏斗状膜的方法可以彻底清除大孢子果内所含的鱼腥藻源,由这种去顶孢子果萌发而成的幼苗将发育为无藻萍。在此基础上,他们寻找到合适的重组时期将带异源或同源鱼腥藻的囊群盖移接于去顶孢子果上,实现了萍藻交换并重新组成共生体的目的,建立起新的蕨藻共生体(林沧,等,1988)。经用特异性强、灵敏度高的红萍体内鱼腥藻单克隆抗体检测,证明这种重建的萍藻共生体内的鱼腥藻确系人工外源引入的藻种。这是世界上第一个有确切证据证明萍藻重建共

生体试验成功的报道。

由于红萍蕨体内鱼腥藻的转换,使重组体的某些生理特性产生变化。试验表明,将抗热小叶萍的体内鱼腥藻重组到抗寒的蕨状满江红后,该重组萍提高了抗热的性能。另外,重组萍吸收外离子的能力也有了显著的变化。采用萍藻重建共生体方法育成的新种(*Afma* 1035)已成为红萍育种上的新材料,并被引种到国际水稻研究所、比利时鲁汶大学及日本三重大学生物系等国外科研单位。

## 2.3 红萍辐射诱变育种

1988年,郑伟文等利用 $\text{Co}^{60}-\gamma$ 射线对红萍孢子果及茎尖材料进行了1 000~1 500伦琴剂量的照射。取得了一批小叶萍、重组萍的变异株系,其中,以小叶萍辐照的突变株088萍表现最好,它具有耐热性强、耐盐及耐低磷等特点。在福建省的气候条件下能不需特殊降温措施而自然越冬,在0.6%盐浓度的营养液中能继续生长,能在0.3 mg/kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ 溶液中连续生长三周仍不出现缺磷症状。该品种作为国际土壤肥力评价试验网红萍分网的供试品种,被引种到印度尼西亚等东南亚国家,在当地表现较好。

## 2.4 红萍回交育种及其后代种性特征

1990年,郑德英、唐龙飞等发现,虽然种间杂交萍仅产生雄性孢子果,且小孢子败育率高达87.4%~99.5%,但仍有部分正常可育、具有授精能力的小孢子,只要选择适当的受体材料和合适的杂交时期,就可以利用它进行杂交得到新的杂种后代。他们选用耐热性强的小叶萍为母本,用繁殖速率高、品质好的种间杂交榕萍1-4号小孢子进行回交,在调整了适当的授精时期后,取得了回交的后代。经过室内外系统筛选比较,选育出具有耐热性强,在大田繁殖快的优良株系。红萍回交育种的成功,使人们能有意识地强化某些萍种的优良性能(如抗热、吸收力强、高蛋白质含量等),从而培育出更适合人类需要的新萍种。通过两年的回交试验与系统选育,获得了1株回交萍的优良品系(MH3-1),其主要性能如下。

### 2.4.1 抗热性强

室内极限耐热试验表明,在每天中午42~45℃水温中处理5小时、夜温28~30℃下连续生长6 d,该品种增产5%,参试小叶萍、榕萍1-4号, MH3-3以及088萍均减产,减幅在6%~63%。1991年7月8日至8月20日的夏季高温期,对12种红萍进行田间小区测定, MH3-1萍在参试的所有三胞亚属红萍中居首位,其生物量翻番时间为4.8~7.7 d。

### 2.4.2 耐盐性好

在6种红萍(卡洲萍、杂交榕萍1-4号、MH3-1、088萍、澳洲羽叶萍和斯里兰卡羽叶萍)耐盐性对比试验中, MH3-1萍表现最佳。在0.4%盐浓度下生长10 d, 10 g萍体增至43.2 g,在0.6%盐浓度下可增到20.9 g,居参试各萍种之首。经过耐盐诱导(即在0.6%盐浓度培养液中预培两周后进行其他耐盐试验), MH3-1可进一步提高耐盐性,在0.8%盐浓度下能保持持续增长的趋势,甚至在1.0%盐浓度下仍能生长。

### 2.4.3 生物量大

MH3-1萍的适长温度范围广,在短期低温(-5℃左右)或高温(45℃左右)的逆境

中, 萍体的生理代谢没有受到破坏性影响, 产量测定中都未减产。因此, 在福建的自然气候条件下, 全年生物累积量高, 在稻田养殖的时期长。

由于该品种的上述优点, 目前已被引种到福建省的长泰、福清、建宁、邵武、建阳、福州郊区、南平, 浙江省的杭州、温州, 湖南省的长沙、常德以及山西省的太原等地的稻田、鱼塘中养用。人工育成的红萍改良种在生产上发挥出越来越大的作用, 红萍育种的潜在意义与效益被更多的人所认识和了解。

### 3 未来红萍育种工作的设想

近几年来, 我们虽已育出一些在农牧业生产上有价值的红萍新品种(系), 但现有的萍种仍不能满足迅速发展的大农业需要。在不放弃杂交育种的前提下, 采用现代生物技术进行红萍的种质改良工作已势在必行。

#### 3.1 红萍育种工作的策略

随着传统农业向现代农业转化的进程加快, 单纯利用红萍作为稻田绿肥已难以被农民所接受。因此, 新一代红萍育种目标应考虑农牧业生产上多层次利用和综合效益, 注意培育饲料型、耐盐型及高富集型红萍品种。

##### 3.1.1 饲料型品种

这种红萍应是固氮力强、蛋白质含量高、周年生物累积量多、品质好的品种。它可作为稻—萍—鱼耕作体系中的重要能量与物质生产者, 即先利用红萍固定空气中的氮, 吸收水体中水稻不能利用的微量无机营养生产蛋白质等供作鱼的饵料, 再以鱼粪、萍体残渣等形式加到土壤中腐解并被水稻吸收利用。它也可先充当禽畜配合饲料中的主要或重要成分, “过腹”后再以畜禽排泄物形式“还田”。具体的品种选择标准为: 年固氮量超过  $500 \text{ kg/hm}^2$  (鲜重), 粗蛋白含量在 25% 以上, 年生物累积量达到  $150\,000 \text{ kg/hm}^2$  (鲜重), 木质素含量低于 40%。

##### 3.1.2 耐盐型品种

这种红萍可用作滨海滩涂和盐碱地改良的先锋植物。它既可以吸收海滩围垦地中过多的盐分达到脱盐的目的, 又可因地制宜地充当沿海丘陵红壤地的绿肥, 起到改良土壤的作用。具体的品种选择标准为: 在 0.6% 盐浓度下能正常生长繁殖, 经过两周耐盐预培养, 在 0.8% ~ 1.0% 盐浓度的溶液中能持续增长, 年生物累积量达  $100\,000 \text{ kg/hm}^2$  (鲜重)。

##### 3.1.3 高富集型品种

这种红萍有比其他品种更强的吸收能力, 在水液中生长迅速。它可作为对锶、硒等某种元素或含多种重金属元素的工业废水富集的植物。从而用它作初始原料加工、作物特殊肥料、净化和处理污水等。

#### 3.2 探索红萍育种的有效途径

从近年来红萍育种的结果可以看出, 通过有性杂交育种可选择到吸收力强、生物量多和品质好的品种; 通过辐射诱变可以选择抗不良环境, 如抗热、耐盐, 耐低磷的变异体。这些