

# 国家水生蔬菜种质资源圃（武汉）水生蔬菜种质资源 保存现状及创新利用

刘玉平, 孙亚林, 王直新, 黄新芳, 匡晶, 周凯, 钟兰, 季群, 刘正位,  
李峰, 李双梅, 彭静, 黄来春, 杨英楠, 邢俊浩, 钱紫燕, 王海宁,  
王莹, 柯卫东, 朱红莲

(武汉市农业科学院蔬菜研究所, 武汉 430207)

**摘要:** 我国水生蔬菜主要包括莲、茭白、芋、荸荠、慈姑、蕹菜、菱、芡实、水芹、莼菜、香蒲、豆瓣菜等12类, 在我国有着悠久栽培历史, 是我国特色水生经济作物。国家水生蔬菜种质资源圃(武汉)长期从事水生蔬菜种质资源的收集、保存、评价与利用工作, 目前已经成为世界上保存水生蔬菜种类、资源数量、生态型和类型最丰富的资源圃。截至2024年12月, 资源圃收集保存国内外水生蔬菜种质资源3449份, 建立了完善的保存体系, 筛选出140份优异种质资源, 推动了水生蔬菜基因组解析、遗传多样性和重要性状的分子标记等基础研究, 有力促进了水生蔬菜新品种的选育、品种结构的优化和产业的可持续发展。本文总结和回顾了近20年来水生蔬菜资源圃种质资源收集保存现状, 以及水生蔬菜种质资源创新利用所取得的进展, 并对种质资源的收集、保存、鉴定评价及共享服务机制进行了展望, 以期为我国水生蔬菜种质资源的保护和有效利用及产业发展提供参考。

**关键词:** 水生蔬菜; 种质资源圃; 保存; 利用

## Conservation Status and Innovative Utilization of Aquatic Vegetable Germplasm Resources in the National Aquatic Vegetable Germplasm Repository (Wuhan)

LIU Yuping, SUN Yalin, WANG Zhixin, HUANG Xinfang, KUANG Jing, ZHOU Kai, ZHONG Lan, Ji Qun,  
LIU Zhengwei, LI Feng, LI Shuangmei, PENG Jing, HUANG Laichun, YANG Yingnan, XING Junhao,  
QIAN Ziyang, WANG Haining, WANG Ying, KE Weidong, ZHU Honglian

(Institute of Vegetables, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430207)

**Abstract:** China's aquatic vegetables mainly include 12 categories, such as lotus, water bamboo, taro, water chestnut, arrowhead, water spinach, water caltrop, gorgon eurgale, water dropwort, water shield, common cattail and watercress. They have a long cultivation history in China and are characteristic aquatic economic crops. The national aquatic vegetable germplasm repository (Wuhan) has long been engaged in the collection, conservation, evaluation and utilization of aquatic vegetable germplasm resources and has become the richest germplasm repository in terms of the types, resource quantity, ecological types and forms of aquatic vegetables in the world. As of December 2024, the germplasm repository has collected and conserved over 3,449 accessions of aquatic vegetable germplasm resources from both domestic and international sources, establishing a comprehensive conservation system. A total of 140 elite germplasm resources have been identified. These efforts have significantly propelled fundamental research on the genome annotation, genetic diversity, and molecular markers of important traits in aquatic vegetables. They have also effectively promoted the breeding of new varieties, optimization of variety structure, and sustainable development of the aquatic vegetable

收稿日期: 2025-01-08

网络出版日期:

URL:

第一作者研究方向为水生蔬菜种质资源育种, E-mail: liuyuping118@126.com

通信作者: 朱红莲, 研究方向为水生蔬菜种质资源与育种, E-mail: zhuhonglian2014@163.com

柯卫东, 研究方向为水生蔬菜种质资源与育种, E-mail: wdke63@163.com

基金项目: 国家园艺种质资源库(NHGRC); 农业农村部政府购买服务(19240430); 国家现代农业产业技术体系(CARS-24)

Foundation projects: National Horticultural Germplasm Bank (NHGRC); Ministry of Agriculture and Rural Affairs Government Purchased Service(19240430); National Modern Agricultural Industry Technology System (CARS-24)

industry. This paper summarizes and reviews the current situation of the collection and conservation of germplasm resources in the aquatic vegetable repository in the past 2 decades, as well as the progress made in the innovative utilization of aquatic vegetable germplasm resources, and looks forward to the research directions regarding the collection, conservation, identification, evaluation, and sharing mechanisms of germplasm resources, in order to provide references for the conservation, the effective utilization and industrial development of China's aquatic vegetable germplasm resources in the future.

**Key words:** aquatic vegetable; germplasm repository; conservation; utilization

水生蔬菜是指在淡水中生长的、其产品可供作蔬菜食用的维管束植物，是我国传统的独具特色的一类经济作物，主要包括莲藕(*Nelumbo nucifera*)、茭白(*Zizania latifolia*)、芋(*Colocasia esculenta*)、水芹(*Oenanthe* spp.)、慈姑(*Sagittaria* spp.)、荸荠(*Eleocharis dulcis*)、蕹菜(*Ipomoea aquatica*)、芡实(*Euryale ferox*)、菱角(*Trapa* spp.)、莼菜(*Brasenia schreberi*)、香蒲(*Typha* spp.)、豆瓣菜(*Nasturtium officinale*)12类。这些蔬菜不仅富含多种维生素和矿物质，还具有独特的风味及药用价值，对农业产业结构的优化和居民膳食结构的丰富化起到了重要作用<sup>[1]</sup>。为我国水生蔬菜产业发展提供了重要的物质保障<sup>[2]</sup>。中国是世界上水生蔬菜综合开发利用水平最高、产业发展基础最好的国家，其种植面积和产量均居世界首位，据产业技术体系统计，水生蔬菜的种植面积已超过 86.6 万  $\text{hm}^2$ ，形成了以长江流域为核心，珠江流域和黄河流域为主要产区，并辐射全国的产业布局<sup>[3]</sup>。

我国是大部分水生蔬菜的起源中心，在长期的自然选择和栽培驯化中，孕育出众多适应不同环境的品种，形成了极为丰富的种质资源。我国历来重视水生蔬菜种质资源的收集与保存，“国家种质武汉水生蔬菜种质资源圃”于 1990 年由原农业部依托武汉市农业科学院蔬菜研究所挂牌成立，2003 年在国债项目“国家种质武汉水生蔬菜资源圃改建与扩建”支持下，资源圃的面积由最初的 0.4  $\text{hm}^2$  扩大至 5.3  $\text{hm}^2$ 。2012 年，因城市扩张建设，经原农业部批准，资源圃整体搬迁至武汉市江夏区郑店街，占地面积 13.3  $\text{hm}^2$ ，设置有资源保存区、资源评估区、引种隔离区、温室大棚以及办公区等，水生蔬菜种质资源保存能力达到 3500 份。2022 年国家水生蔬菜资源圃成为第一批 72 个国家级农作物、农业微生物种质资源库（圃）之一<sup>[4]</sup>，更名为“国家水生蔬菜种质资源圃（武汉）”。资源圃是我国唯一的国家级水生蔬菜资源圃，主要从事水生蔬菜种质资源的收集、保存、鉴定评价和利用研究，已收集保存国内外 12 类水生蔬菜种质资源，是全球保存水生蔬菜种类和资源数量最丰富的资源圃。此外，江苏苏州、江西广昌和南昌、福建建宁、浙江金华、广西南宁等地也保存了部分种类的水生蔬菜种质资源，各单位保存的资源种类不同，可为国家水生蔬菜资源圃的提供补充和备份。本文总结了水生蔬菜资源圃近 20 年来水生蔬菜种质资源收集、保存、评价和利用，并对未来种质资源的收集保存和创新利用提出了展望和建议。

## 1 资源圃水生蔬菜资源的保存现状

### 1.1 资源收集情况

我国大规模收集水生蔬菜种质资源始于 20 世纪 80 年代初，在国际作物遗传资源委员会“中国莲藕、茭白资源征集”、国家科学技术委员会“水生蔬菜资源圃建立及保存技术研究”“水生蔬菜资源的收集繁殖和鉴定编目”等项目资助下，主要对我国长江流域及以南地区水生蔬菜资源进行收集，收集保存了水生蔬菜种质资源 1000 余份。2001 年以后，在科技部科技基础性工作专项“多年生和无性繁殖作物种质资源收集、保存和鉴定”、原农业部“948”项目“水生蔬菜种质资源及关键生产技术引进”及原农业部保种项目的资助下，本圃扩大了水生蔬菜资源考察收集的范围，先后对我国 20 多个省（直辖市）及水生蔬菜种质资源较丰富的国家的水生蔬菜种质资源进行考察收集，重点对我国东北地区、西南地区、东南沿海及重要湖泊、河流和山地的野生资源进行收集。特别是 2015 年启动的“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”，共接收来自 19 个省、市、自治区的农科院、推广中心等单位移交的水生蔬菜种质资源 1429 份。

资源收集中的几点重要发现：（1）发现不同生态类型的莲（*Nelumbo nucifera*）资源。从泰国、新加坡、马来西亚等低纬度地区收集莲资源为莲的热带生态型，表现为终花期在 11 月上中旬，根状茎不膨大或略微膨大。从我国黑龙江、吉林等高纬度地区收集的莲资源为温带生态型，表现为 5 月中旬开始结藕，立叶较少，株高 40 cm 左右。从美国收集到美洲黄莲（*Nelumbo lutea*）温带和亚热带 2 个新生态型。（2）收集到一些国内著名的水生蔬菜地方品种，主要包括安徽潜山雪湖贡藕、绩溪水芋和庐江芹芽、广西的荔浦芋、贺州香芋、栗木莲藕、桂林白慈、广东的肇庆芡实、乐昌香芋、北乡马蹄、江西的登龙粉芋、全南荸荠、湖南的寸三莲、汉寿玉臂藕、毛俊香芋等。（3）收集到一些稀有野生资源：抚远野莲、梁山古代莲、普兰店古代莲、癞子菱角、澄江菱等。特别是收集到野生莼菜，莼菜是我国二级保护植物，野生莼菜的分布非常稀少，在湖南宜章县莽山、桂东县寒口乡、茶陵县湖里湿地和江西兴国县社富乡和贵溪县龙虎山收集到野生莼菜。

## 1.2 资源保存

水生蔬菜种质的繁殖方式主要分为无性繁殖和有性繁殖。大多数水生蔬菜种质以无性繁殖为主，通过匍匐茎、根状茎扩大生长范围，并在一定时期形成球茎、膨大根状茎等休眠器官，这些器官既是食用部位，也是繁殖的关键部分。而少数水生蔬菜种质，如菱角、芡实、蕹菜等，以有性繁殖为主，通过自花授粉或常异花授粉产生种子，用种子进行更新和保纯。

资源圃主要采用田间保存方式，一般为缸或池，实行一品一缸或一品一池的隔离保存。根据不同水生蔬菜的生长习性和生态要求，选用不同规格的保存设施，这样可以有效防止根状茎、匍匐茎、水中茎等相互穿插导致的混杂现象。例如，芋、蕹菜等只需土壤湿润或浅水（1~2cm）即可，莲、茭白等则需要水位在 10~20cm，而菱、芡等则要求水位在 50~100cm。由于种质资源来源广泛，生态型多样，一些热带、亚热带地区的种质资源引种到温带后，冬季难以越冬，因此必须在温室或大棚中保存，以确保其安全越冬。尽管水生蔬菜种质多为无性繁殖，但地方品种资源或野生资源往往是混杂群体，且无性繁殖个体也可能出

现突变。因此，每份种质资源必须保存一定的群体大小，以保持原有的遗传变异性。水生蔬菜种质资源各作物保存设施规格、繁殖更新器官与数量及易引起混杂的繁殖器官如表 1。

截至 2024 年底，国家水生蔬菜种质资源圃(武汉)已保存来自国内 26 个省级行政区以及 13 个国家的水生蔬菜种质资源 3449 份（表 2），是目前世界上保存水生蔬菜种类、资源数量、生态型和类型最丰富的资源圃<sup>[5]</sup>。

此外，国家水生蔬菜种质资源圃还积极开展了莲藕、芋、荸荠、慈姑等水生蔬菜茎尖组织培养，取得了较大的进展，成功诱导形成了试管繁殖器官<sup>[6-10]</sup>。其中，荸荠、芋的试管球茎可以在人工控制的环境下长期保存，已对部分重要资源和难以越冬、越夏的资源进行离体保存，有效降低了资源丢失的风险。离体保存技术为水生蔬菜种质资源的长期安全保存提供了新的手段，也为后续的种质创新和遗传研究提供了有力支持。

表 1 水生蔬菜种质资源保存、繁殖更新情况

Table 1 Conservation, propagation and renewal of aquatic vegetable germplasm resources

作物名称	保存池规格	更新繁殖器官	更新繁殖数量（株/份）	易引起混杂的繁殖器官
Crop name	Specification of conservation pool	Propagated organs	No. of propagated specimens (plants/accessions)	Reproductive organs contributing to admixture
莲 Lotus	6 m <sup>2</sup>	根状茎	4	种子
茭白 Water bamboo	3 m <sup>2</sup>	短缩茎	6	分株
芋 Taro	旱地	球茎、根茎	7	匍匐茎
蕹菜 Water spinach,	旱地	种子、匍匐茎	8	少量异花授粉种子
水芹 Water dropwort	3 m <sup>2</sup>	地上茎、根状茎	30	种子
荸荠 Water chestnut	3 m <sup>2</sup>	球茎	10	种子
菱 Water caltrop	6 m <sup>2</sup>	果实	6	果实
莼菜 Water shield	33 m <sup>2</sup>	根状茎、短缩茎	50	种子
豆瓣菜 Watercress	6 m <sup>2</sup>	种子、匍匐茎	50	异花授粉种子
慈姑 Arrowhead	3 m <sup>2</sup>	球茎、珠芽	6	种子
芡实 Gorgon eurgale	33 m <sup>2</sup>	种子	5	种子
蒲菜 Common cattail	3 m <sup>2</sup>	根状茎	6	种子

### 1.3 资源鉴定编目

在国家科技基础条件平台建设专项、农业部行业标准制订和修订项目的支持下，先后起草完成《莲种质资源描述规范和数据标准》<sup>[11]</sup>、《茭白种质资源描述规范和数据标准》<sup>[12]</sup>、《芋种质资源描述规范和数

据标准》<sup>[13]</sup>、《蕹菜种质资源描述规范和数据标准》<sup>[14]</sup>、《水芹种质资源描述规范和数据标准》<sup>[15]</sup>、《菱种质资源描述规范和数据标准》、<sup>[16]</sup>《荸荠种质资源描述规范和数据标准》<sup>[17]</sup>、《芡实种质资源描述规范和数据标准》<sup>[18]</sup>、《蒲菜种质资源描述规范和数据标准》<sup>[19]</sup>、《慈姑种质资源描述规范和数据标准》<sup>[20]</sup>等 10 种水生蔬菜的描述规范和数据标准和《莲种质资源描述规范》<sup>[21]</sup>、《茭白种质资源描述规范》<sup>[22]</sup>、《芋种质资源描述规范》<sup>[23]</sup>等 3 部行业标准。该系列规范和行业标准分别从基本信息、形态特征和生物学特性、品质特性、抗逆性、抗病虫性、其他特征特性 6 个方面选择和规范了 90 余个描述符。该系列规范和标准的起草进一步规范了我国水生蔬菜种质资源鉴定与评价，促进我国水生蔬菜种质资源信息平台的建设与共享。

对保存在圃内的水生蔬菜资源按照各个作物的数据描述规范和数据标准，进行了规范化整理和数据补充采集。在品质性状鉴定方面，水生蔬菜主要食用根茎和幼嫩的叶，品质性状主要测试干物质、淀粉、维生素 C 和蛋白质等，完成莲、茭白、芋、荸荠、慈姑、豆瓣菜等 1100 份水生蔬菜品质性状数据整理<sup>[24-29]</sup>；在抗病性状鉴定方面，建立芋疫病抗性鉴定方法和荸荠杆枯病鉴定方法<sup>[30-31]</sup>，完成 350 份芋资源和 30 份荸荠资源抗病性鉴定。依据新版植物志，规范了水生蔬菜种质资源的学名，将原先 12 个科 13 个属 34 个种整理成 12 科 15 属 22 个种（含 2 个近缘种）。截止 2024 年 12 月，编目入圃资源保存总数为 2999 份（表 2），其中地方品种 1935 份，野生资源 735 份，选育品种和遗传材料等 329 份。目前已经完成 12 种水生蔬菜种质资源 2999 份的共性数据和特性数据整理工作，整理数据值 26 万余个，提供了 1478 份资源的图像 1662 张，并上报国家园艺种质资源信息网（[www.nhgrc.cn](http://www.nhgrc.cn)），为水生蔬菜种质资源共享利用提供坚实的基础。

表 2 水生蔬菜种质资源保存编目概况

Table 2 Overview of cataloging and preserving aquatic vegetable germplasm resources in the repository

序号 No.	作物名称 Crop Name	保存种质份数 No. of germplasm accessions preserved	编目种质份数 No. of catalogued germplasm accessions		种 Species
			总计 Total	国外引进 No. Imports from aboard	
			1	莲	
2	茭白	338	262	3	菰 ( <i>Zizania latifolia</i> )
3	芋	1171	1190	28	滇南芋 ( <i>Colocasia antiquorum</i> ) 芋 ( <i>Colocasia esculenta</i> ) 大野芋 ( <i>Leucocasia gigantea</i> ) 海芋 ( <i>Alocasia macrorrhiza</i> ) 千年芋 ( <i>Xanthosoma sagittifolium</i> )
4	蕹菜	109	78	2	蕹菜 ( <i>Ipomoea aquatica</i> )
5	水芹	278	190	4	水芹 ( <i>Oenanthe javanica</i> ) 中华水芹 ( <i>Oenanthe sinensis</i> )
6	荸荠	170	154	3	荸荠 ( <i>Eleocharis dulcis</i> )
7	菱	229	143	1	细果野菱 ( <i>Trapa incisa</i> ) 欧菱 ( <i>Trapa natans</i> )

8	蕹菜	15	13	0	蕹菜 ( <i>Brasenia schreberi</i> )
9	豆瓣菜	19	18	5	豆瓣菜 ( <i>Nasturtium officinale</i> )
10	慈姑	158	132	3	野慈姑 ( <i>Sagittaria trifolia</i> ) 利川慈姑 ( <i>Sagittaria lichuanensis</i> ) 小慈姑 ( <i>Sagittaria potamogetonifolia</i> )
11	芡实	53	38	0	芡实 ( <i>Euryale ferox</i> )
12	蒲菜	66	60	0	水烛 ( <i>Typha angustifolia</i> ) 宽叶香蒲 ( <i>Typha latifolia</i> )
合计 Total		3449	2999	87	22

#### 1.4 优异种质发掘

在分析种质资源多年的鉴定数据基础上，按照《农作物优异种质资源评价规范》的选择原则<sup>[32-35]</sup>，并结合我国水生蔬菜科研和生产的实际，筛选出 140 份优异种质资源，占资源总数的 5.48%，其中莲 32 份，茭白 11 份、芋 54 份、荸荠 29 份、慈姑 2 份、蕹菜 1 份、菱 5 份、芡实 1 份、水芹 2 份、香蒲 1 份、豆瓣菜 2 份，优异资源为遗传研究和品种改良提供宝贵材料（图 1）。发掘黄湾贡藕、沔城藕等粉质莲藕资源 5 份，该类资源具有皮白、煨汤口感粉糯的特点；发掘 81-35 和 81-43 优异亲本资源 2 份，该类型资源具有入泥浅（低于 30cm）、产量高、配合力高的特点；发掘芦林湖藕、武植 2 号等藕带脆嫩资源 2 份，藕带表皮白色，平均长 58cm，粗 1.4cm，单支重 90g 以上；发掘美人茭、姜湖茭白等商品性好资源 2 份，该类型资源肉质茎白色，肉质细嫩，单个重 150g 以上，采收期长，纤维素少；发掘荔浦芋、phichit 芋等高淀粉芋种质 6 份，淀粉含量达 25% 以上；发掘高要黄肉芋、雨林红梗等芋肉颜色特异的种质 3 份，该类资源芋数量极少，芋肉颜色为黄色或红色，而一般资源芋肉颜色为白色；发掘泗角荸荠、资阳芥、余干芥、六合芥等优良平脐资源 7 份，该类资源肉厚，易削皮，商品性好，单个球茎质量达 45g 以上。



A:南强短节（整藕质量高）；B:黄湾贡藕（粉质）；C:芦林湖藕（藕带脆嫩）；D:大紫红（脆质）；E:洪山李桥芋（子芋质量高）；F:高要黄肉芋（芋肉黄色）；G:美人菱（高产、商品性好）；H:姜湖茭白（净茭率高）；I:泗角荸荠（平脐、品质优）；J:黑龙潭慈姑（淀粉高）；K:溧阳水芹（耐低温，纤维素含量低）；L:癞子菱角（两角圆钝）

A:Nanqiangduanjie (The whole lotus root weight is high) ; B:Huangwangongou (The lotus root tastes powdery) ; C:Lulinhuoou(The lotus sprout tastes crispy and tender); D:Dazihong (The lotus root tastes crispy) ; E:Hongshanliqiaoyu (The weight of cormels is high) ; F:Gaoyaohuangrouyu (The flesh color of taro is yellow) ; G:Meirenjiao (The fleshy stems have high yield and good marketability) ; H:Jianghujiabai (The rate of net water bamboo is high) ; I:Sijiaojiao (The navel part of the bulb is flat with elite comprehensive characters) ; J:Heilongtancigu(The bulbs are high in starch content); K:Liyangbaiqin(The plant is cold tolerant, and the stem has a low cellulose content); L:Laizilingjiao (Both horns of the fruit are rounded and blunt)

图 1 部分水生蔬菜优异资源

Fig. 1 Part of elite and rare aquatic vegetable germplasm resources

## 2 种质资源的创新利用

近 20 年来，国家水生蔬菜资源圃向中国科学院北京植物研究所、北京市农林科学院、中国农科院作物研究所、西南林业大学、华中农业大学、江苏省农业科学院、湖北省农科院等高校及科研院所提供资源利用 7300 份次，用于开展品种选育、倍性鉴定、基因组测序、起源及亲缘关系、遗传多样性、传粉生物学、抗性鉴定等方面研究。向江苏、安徽、广西、云南、四川、重庆、河南、山东等 20 余省、市、县的农技推广部门、合作社、企业、种植户等提供资源 3000 份次，直接应用于农业生产、水体净化、生态园区的建设等。

## 2.1 支撑基础研究

在基因组研究方面,完成了中间湖野莲的基因组测序<sup>[36]</sup>,组装基因组大小在 792 Mb 左右,注释了 36385 个基因。此外,武汉大学、浙江大学、江苏省农业科学院、南京农业大学、扬州大学先后完成了莲<sup>[37]</sup>、茭白<sup>[38]</sup>、菱<sup>[39]</sup>、芋<sup>[40]</sup>、水芹<sup>[41]</sup>、芡实<sup>[42]</sup>等基因组测序,水生蔬菜高质量基因组完成成为研究植物遗传进化、重要功能基因分子机理和分子遗传育种提供重要支撑。

在遗传多样性研究方面,对 296 份不同地理位置的莲花种质进行重测序分析<sup>[43]</sup>,发现美洲黄莲(*Nelumbo lutea*)与莲(*Nelumbo nucifera*)具有较远的遗传距离,可明确划分为两个种。遗传多样性分析表明,野莲的多样性从南到北呈递减趋势,东南亚和云南地区野莲多样性高于长江流域和东北地区野莲,推测云南和东南亚地区可能为亚洲莲的起源中心。此外,栽培莲中的子莲和藕莲亲缘关系较远,推测它们可能自不同区域的野莲驯化而来。对来自我国 16 个省份的 234 份多子芋和多头芋种质资源进行遗传多样性分析<sup>[44]</sup>,这些资源可分为 8 个组,分组与地理来源相关性不大,最终筛选出 41 份核心种质资源,可代表总体 99.71% 的遗传变异。对国内和东南亚的 69 份二倍体芋资源进行遗传多样性分析<sup>[45]</sup>,可以分为 5 个群,其中,野芋和匍匐茎魁芋遗传关系较近,槟榔芋与花用芋遗传关系较近,野芋的遗传多样性最高,槟榔芋的遗传多样性最低。对 158 份水芹种质资源遗传聚类分析<sup>[46]</sup>,可分为线叶水芹(*Oenanthe linearis*)和水芹(*Oenanthe javanica*)两个组,与表型聚类结果一致,线叶水芹进一步细分线叶型和深裂叶型两种。利用 SNP(单核苷酸多态性)标记对 111 份慈姑种质的遗传多样性分析<sup>[47]</sup>,未能将野慈姑亚种(*S. trifolia* subsp. *trifolia*)和华夏慈姑亚种(*S. trifolia* subsp. *leucopetala*)区分成两个独立的分支,可能是由于慈姑为异花授粉作物,两个亚种之间可以杂交。对 19 份豆瓣菜多样性进行分析<sup>[48]</sup>,发现基于表型分析可将其划分为 2 类,群体结构分析和 PCA 分析均将其归为一组,表明豆瓣菜资源虽然表型上存在变异,但遗传基础狭窄,遗传多样性不高。对 27 份莼菜种质进行遗传多样性分析<sup>[49]</sup>,野生资源的核苷酸多样性高于栽培品种,栽培品种与野生资源之间的遗传分化较小,说明目前莼菜栽培品种的人工驯化程度较低。通过表型和分子标记对种质资源进行遗传多样性分析,有助于解析我国水生蔬菜种质资源的亲缘关系和遗传背景差异,为种质资源的收集、保存以及遗传育种工作提供了重要的理论基础。

在产量性状方面,邢俊浩<sup>[24]</sup>对 205 份核心莲资源的 22 个农艺性状调查,筛选出整藕质量大于 3.50 kg 的莲地方种质 2 份:巴河藕、南强短节,通过全基因组关联分析(GWAS),找到与主藕质量相关联 SNP 位点 2 个,获得 6 个候选基因,找到与主藕节间质量的 SNP 位点 2 个,获得 2 个候选基因。Liu 等<sup>[50]</sup>构建了莲藕高密度 SNP 遗传图谱,共鉴定出 14 个与主藕数量和藕形指数相关的显著 QTL,确定 *cqREI-LG2* 为主效 QTL, *NnBEL6* 为候选基因,并验证了其在马铃薯块茎膨大中的作用。刘正位等<sup>[51]</sup>以圆柱形莲子资源‘中间湖野莲’和圆球形莲子资源‘清迈野莲’为亲本,构建了 F<sub>2</sub> 遗传群体,利用 197 个 SSR 标记对亲本及 F<sub>2</sub> 单株进行基因分型,找到了单粒质量、开花数、心皮数、饱粒数等 6 个莲子产量性状关联的 28 个 QTL 位点。



在品质性状方面，对 205 份莲藕核心种质的淀粉、粉脆质地等性状进行鉴定，发现选育品种的淀粉含量等营养品质性状低于地方品种与野生资源。野莲资源淀粉含量更高，但粉质特性并不突出，说明莲淀粉含量与粉脆特性相关性较低。糖含量是影响鲜食莲子口感的重要因素，对 45 份子莲资源的可溶性固形物、蔗糖、果糖、葡萄糖等 7 个品质性状鉴定，筛选出蔗糖含量高（25mg/g 以上）的种质 3 份，分别为太空 2 号、宣莲、广昌白花莲（未发表）。Song 等<sup>[52]</sup>以古代莲（低甜度）、建选 17（高甜度）为材料，通过莲子发育转录组分析，鉴定到一个在莲叶子叶中优势表达的基因 *NnSUS1*，两个品种的 CDS 区域没有检测到变异，但在启动子区域发现了两个 SNP 和一个插入/缺失（indel）。这些变异可能影响 *NnSUS1* 基因的表达调控，从而导致可溶性糖含量的差异。

## 2.2 支撑育种

水生蔬菜除菱角、芡实、蕹菜、豆瓣菜 4 种作物用种子繁殖外，其他几乎都用无性繁殖，育种方法主要依靠系统选育、诱变育种，育种效率较低，近年来系统开展了芋、荸荠、慈姑、菱、蕹菜等作物的传粉生物学<sup>[53-57]</sup>和种子生物学<sup>[58-62]</sup>研究，在杂交育种技术方面取得突破，为水生蔬菜种质创制、新品种选育提供了新途径。

利用发掘的优异种质，通过系统选育、杂交育种和诱变育种等手段，获得了一批优异株系，选育出了适应不同消费需求的水生蔬菜新品种 28 个，获得新品种保护权 7 项。

在莲育种上，以 81-35 为骨干亲本，先后杂交选育出鄂莲 5 号、鄂莲 7 号<sup>[63]</sup>、鄂莲 9 号、鄂莲 10 号<sup>[64]</sup>、鄂莲 11 号、鄂莲 12 号、鄂莲 13 号和鄂莲 14 号等<sup>[65]</sup>；以 81-43 为骨干亲本杂交选育出鄂莲 6 号<sup>[66]</sup>、白玉藕和鄂莲 15 号等系列莲藕品种。这些藕品种具有入泥浅、藕形美观、产量高的显著特点。它们既有粉质藕，也有脆质藕，满足不同口感需求。同时，早熟、中熟和晚熟品种配套齐全，能够实现全年均有鲜藕供应。以芦林湖藕为骨干亲本选育出了白玉簪 1 号、白玉簪 2 号、白玉簪 3 号等系列藕带品种，比传统的地方品种增产 20% 以上。利用太空莲 36 号和建选 17 号为骨干亲本选育了鄂子莲 1 号、翠玉<sup>[67]</sup>、翠丰、超新星等系列子莲新品种，莲籽单粒鲜重由 3 g 提高到了 4.4 g，单粒重量提高了 45% 以上，单位面积产量提高了 40% 以上。

在茭白育种上，从古夫茭变异单株中选育出鄂茭 3 号，从鄂茭 2 号变异株中选育出鄂茭 4 号。在芋育种上，从四川多子芋资源走马羊红禾系统选育出鄂芋 1 号<sup>[68]</sup>，从井冈山芋头变异单株系统选育出鄂芋 2 号，以荔浦芋为亲本杂交选育出魁芋新品种汉青红<sup>[69]</sup>，成为我国首个通过杂交选育的芋新品种。在荸荠育种上，从台湾荸荠实生后代选育出鄂荸荠 2 号，从团风荸荠诱变选育鄂荸荠 3 号，从四角大芥系统选育出鄂荸荠 4 号。在菱育种上，以嘉鱼菱为母本，汉川红菱为父本，通过人工杂交、系谱选择而成的早熟菱新品种六月菱<sup>[70]</sup>。在水芹育种上，从玉祁水芹的实生后代经单株选择育成鄂水芹 1 号。这些新品种具有优质、丰产、易采挖等特点，适应不同的消费习惯，对水生蔬菜种业带来了显著的变革。

## 2.3 支撑产业提升

水生蔬菜优异种质在农业产业结构调整和产业可持续发展中发挥重要作用，为水生蔬菜产业高质量发展做出了重要贡献。水生蔬菜资源圃利用优异种质选育的水生蔬菜新品种资源已在国内水生蔬菜主要产区直接利用，近10年累计利用面积267万 $\text{hm}^2$ 以上，创造经济效益2000亿元以上。其中鄂莲系列莲藕新品种资源已成为国内莲藕主栽品种，在黄河流域、长江流域、珠江流域20多个省、市、自治区的主产区大面积利用，在国内主产区覆盖率达85%以上。鄂子莲系列品种逐渐受到消费者青睐，特别是鄂子莲1号主要种植于武汉近郊作为鲜食子莲，其粒大饱满、口感清甜，深受市场欢迎，在湖北种植面积逐年扩大<sup>[71]</sup>。白玉簪系列藕带品种资源产量达400~500 $\text{kg}/667\text{m}^2$ ，较传统品种提高20%以上，成为湖北省藕带产区主栽品种，推动了藕带加工业的发展，藕带加工年产值达50亿元以上。菱、荸荠、茭白、芋等水生蔬菜新品种资源在主产区均进行了示范利用。水生蔬菜优异种质的利用，支撑一批企业成为国家、省、市的龙头企业，扶持了一大批合作社、种植户，带动周边农民脱贫致富。

另外，资源圃还加强对水生蔬菜著名地方品种开发利用，一方面是对著名地方品种的提纯复壮，对湖北浠水县地方品种巴河藕，仙桃地方品种沔城藕，潜江市地方品种黄湾贡藕和汉川地方品种杨林沟芋头开展提纯复壮，然后返回原产地种植，取得良好经济效益和社会效益。沔城藕是一个古老的地方品种，距今已有一千多年历史，是著名的“仙桃三宝”之一，生吃如秋梨般清甜，熟食如板栗般粉扑，由于长期种植，出现品种混杂退化、产量下降和品质变差的情况<sup>[72]</sup>，提纯复壮后的沔城藕品质恢复如初，产量由750 $\text{kg}/667\text{m}^2$ 提高到1500 $\text{kg}/667\text{m}^2$ ，市场销售价格较其他品种高2元/ $\text{kg}$ ，极大激发了农户的种植积极性，在沔城回族镇已发展到133 $\text{hm}^2$ 以上。另一方面，对已经消失的品种进行扩繁并返回到原产地，以恢复当地生态环境，蔡甸莲花湖藕因独特的风味在宋代被列为贡品，但因城市湖泊治理被清理而导致消失，利用水生蔬菜资源圃内先前收集保存的莲花湖藕，经扩繁后返回原产地种植，逐渐恢复了当地生态。这些著名地方品种资源的利用，有力地促进了当地国家地理标志保护产品的保护，使古老传统的地方品种焕发了新的生机，不仅有助于保护生物多样性，还促进地方经济发展和农民增收。

## 3 展望

### 3.1 加强水生蔬菜种质资源收集

通过国家水生蔬菜种质资源圃（武汉）30多年积累以及“第三次农作物种质资源普查与收集行动”的开展，已对我国大部分地区的水生蔬菜种质资源进行了考察收集，但国内部分地区水生蔬菜野生资源、特色地方品种仍有遗漏，另外资源圃国外资源占比还较低，因此，为了有效保护水生蔬菜资源，计划重点开展以下工作：一是开展野生资源的收集方法的研究，通过明确收集目标与范围、合理确定取样数量、科学设置取样点分布以及利用现代技术辅助取样等方法，更全面、准确地收集野生资源，为后续的研究、保护和利用工作奠定坚实的基础。二是水生蔬菜种质资源的定向收集，对我国云南、四川、贵州等偏远地区水

生蔬菜野生资源、特色地方品种以及柬埔寨等东南亚国家水生蔬菜种质资源进行考察收集，不断完善水生蔬菜核心种质资源库。三是加强国际交流和合作，与种质资源丰富的国家和地区合作，制定科学的引进与收集策略，有目的地引入或收集国外珍贵资源，从而提高资源圃内国外资源的数量与占比。

### 3.2 加强水生蔬菜种质资源保存技术研究

目前水生蔬菜种质资源的保存方式主要以田间种植保存为主，保存形式较单一，在植物病虫害、极端天气等因素影响下，种质资源存在混杂和丢失的风险，因此为了安全有效的保存种质资源，亟待重点开展以下工作，一是进一步提升资源圃硬件设施，改善水生蔬菜种质资源保存条件，如建立隔离圃、人工气候室等，并规范资源维护和更新程序，防止资源混杂和丢失，保障资源安全；二是进一步优化种质资源离体保存技术，延长离体保存时间，降低保存成本，对珍稀或难以常规保存的品种进行离体保存。三是加强顽拗型种子（茭白、水芹、莼菜、慈姑、芡实、菱等）保存技术的研究，完善资源保存方式。

### 3.3 加强水生蔬菜种质资源鉴定评价和挖掘利用

国家水生蔬菜种质资源圃（武汉）保存水生蔬菜资源数量居世界第一位，尽管在种质资源的收集与保存方面取得了显著成就，但目前基础研究较薄弱，已开展精准鉴定的资源仍十分有限。随着表型组学和分子生物学的快速发展，为水生蔬菜种质资源的鉴定评价以及挖掘利用提供了强大的技术支撑。在此背景下，我们计划在前期工作的基础上，重点从以下三个方面开展工作，一是继续完善水生蔬菜种质资源的鉴定，特别是第三次全国农作物种质资源普查接收的资源，进行系统全面的数据采集，进一步挖掘优异种质资源；二是推进主要水生蔬菜种质资源的精准鉴定工作，重点聚焦产量、品质、抗莲腐败病、抗芋疫病、耐盐、宜机化等性状和基因型的精确评估，并挖掘育种性状相关的优异基因，为新种质创制及育种利用提供基因资源；三是搭建水生蔬菜种质资源数据挖掘平台，充分借助人工智能、云计算等前沿技术手段<sup>[73]</sup>，深入剖析海量种质资源数据，为高效筛选水生蔬菜资源提供有力保障。

### 3.4 完善水生蔬菜种质资源共享服务机制

在国家科技基础条件平台建设项目的支持下，水生蔬菜种质资源共享服务机制已基本建立，并在全社会实现种质资源实物与数据共享，然而，当前仍存在共享服务效率不高，服务反馈不及时等问题，未来我们将从三方面优化服务：一是创新服务形式，提高服务水平。开展形式多样的活动，如定期开展科普宣传和现场展示活动，让参观者更直观认识和了解水生蔬菜种质资源；二是增强服务意识，主动靠前服务。面向科研院所、龙头企业和规模种植户，提供种质资源实物、科学数据和栽培技术等一站式服务。同时，密切追踪用户的最新需求，精准筛选并提供契合用户需求的种质资源，为科研、生产等活动提供坚实有力的资源支撑，促进水生蔬菜优异资源共享利用；三是深化面向水生蔬菜主产区的专题服务，持续开展以“乡村振兴和产业可持续发展”为主题的专题服务，巩固前期工作成效，发挥优异种质资源对产业的支撑作用，促进水生蔬菜产业高质量发展。

## 参考文献

- [1] 柯卫东,黄新芳,李建洪,严守雷,刘义满,李峰. 我国水生蔬菜科研与生产发展概况. 长江蔬菜,2015(14):33-37  
Ke W D, Huang X F, Li J H, Yan S L, Liu Y M, Li F. Overview of the research and production development of aquatic vegetables in China. Journal of Changjiang Vegetables, 2015(14):33-37
- [2] 吴曼,宗义湘,赵帮宏,朱红莲. 中国水生蔬菜产业发展现状、存在问题及发展思路. 长江蔬菜,2019(2):35-41  
Wu M, Zong Y X, Zhao B H, Zhu H L. Development status, problems and development ideas of aquatic vegetables industry in China. Journal of Changjiang Vegetables. 2019(2):35-41
- [3] 柯卫东,李峰,黄新芳,刘义满,彭静. 水生蔬菜种质资源研究及利用进展. 中国蔬菜,2007 (B08):72-75  
Ke W D, Li F, Huang X F, Liu Y M, Peng J. Research and utilization progress of germplasm resources of aquatic vegetables. China Vegetables,2007(B08):72-75
- [4] 农业农村部种业管理司. 关于第一批拟确定国家级农作物、农业微生物种质资源库的公示. (2022-12-08) [ 2022-12-08 ] .  
[http://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810\\_6406720.htm](http://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm)  
Department of Seed Industry, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Announcement on the first batch of national crop and agricultural microbial germplasm repositories. (2022-08-10) [ 2022-12-08 ] . [http://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810\\_6406720.htm](http://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm)
- [5] 国家种质武汉水生蔬菜资源圃. 植物遗传资源学报, 2021, 22 (04): 1175  
National Germplasm Wuhan Aquatic Vegetable Repository. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22 (04): 1175
- [6] 柯卫东,彭静,刘玉平,刘义满,黄新芳,叶元英,李双梅,李峰,朱红莲,黄来春,赵春,李明华. 试管藕诱导技术: CN201010552971. 9  
Ke W D, Peng J, Liu Y P, Liu Y M, Huang X F, Ye Y Y, Li S M, Li F, Zhu H L, Huang L C, Zhao C, Li M H. Test tube lotus rhizome induction technology:CN201010552971. 9
- [7] 刘玉平,柯卫东,王芸,孙亚林,黄新芳,王燕韦,李明华,黄来春,钟兰,周凯,匡晶,刘正位,季群,赵春. 一种脱毒试管芋的育苗方法: CN112931207A  
Liu Y P, Ke W D, Wang Y, Sun Y L, Huang X F, Wang Y W, Li M H, Huang L C, Zhong L, Zhou K, Kuang J, Liu Z W, Ji Q, Zhao C. A seedling raising method of virus-free test tube taro: CN112931207A
- [8] 刘玉平,柯卫东,叶元英,黄新芳,黄来春. 芋脱毒快繁技术研究. 中国蔬菜,2007(B08):30-32  
Liu Y P, Ke W D, Ye Y Y, Huang X F, Huang L C. Studies on Technology for Virus-elimination and Rapid Propagation of Taro (*Colocasia esculenta*). China Vegetables, 2007(B08):30-32
- [9] 朱红莲,柯卫东,汪李平. 培养条件对慈姑试管球茎形成的影响. 中国蔬菜,2007(B08):35-37  
Zhu H L, Ke W D, Wang L P. Effect of culture condition on micro-tuber induction of *Saginata sagittifolia* L.. China Vegetables,2007(B08):35-37
- [10] 彭静,柯卫东,李峰,黄来春,李汉华. 荸荠的组培快繁与大田种植. 中国蔬菜,2007(B08):33-35  
Peng J, Ke W D, Li F, Huang L C, Li H H. Tissue culture and rapid propagation of Chinese water chestnut [*Eleocharis tuberosa* (Roxb.) Roem. et Schult.] and its plantation in the fields. China Vegetables,2007 (B08):33-35
- [11] 柯卫东, 李峰. 莲种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2005  
Ke W D, Li F. Descriptors and data standard for lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.). Beijing: China Agriculture Press,2005
- [12] 刘义满, 柯卫东. 茭白种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2005  
Liu Y M, Ke W D. Descriptors and data standard for water bamboo [*Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf]. Beijing: China Agriculture Press,2005.
- [13] 黄新芳,柯卫东. 芋种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006  
Huang X F, Ke W D. Descriptors and data standard for taro [*Colocasia esculenta* (Linn.) Schott]. Beijing: China Agriculture Press,2006
- [14] 刘义满,柯卫东. 蕹菜种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006  
Liu Y M, Ke W D. Descriptors and data standard for water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.). Beijing: China Agriculture Press,2006
- [15] 叶元英,柯卫东. 水芹种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006  
Ye Y Y, Ke W D. Descriptors and data standard for Water Dropwort (*Oenanthe* spp.). Beijing: China Agriculture Press,2006
- [16] 彭静,柯卫东. 菱种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2013  
Peng J, Ke W D. Descriptors and data standard for water caltrop (*Trapa* spp.). Beijing: China Agriculture Press,2013
- [17] 李峰,柯卫东. 荸荠种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2013  
Li F, Ke W D. Descriptors and data standard for water chestnut *Eleocharis dulcis* (Burm. f.) Trin. ex Hensch.. Beijing: China Agriculture Press,2013

- [18] 柯卫东,朱红莲. 芡实种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2013  
Ke W D, Zhu H L. Descriptors and data standard for gorgon eurgale (*Euryale ferox* Salisb.). Beijing: China Agriculture Press,2013
- [19] 李双梅, 柯卫东. 蒲菜种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2013  
Li S M, Ke W D. Descriptors and data standard for common cattail (*Typha* spp.). Beijing: China Agriculture Press,2013
- [20] 李峰, 柯卫东. 慈姑种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2013  
Li F, Ke W D. Descriptors and data standard for arrowhead *Sagittaria trifolia* L. var. *sinensis* (Sims) Makino. Beijing: China Agriculture Press,2013
- [21] NY/T 2938-2016. 芋种质资源描述规范  
NY/T 2938-2016. Descriptors for taro germplasm resources
- [22] NY/T 2937-2016. 莲种质资源描述规范  
NY/T 2937-2016. Descriptors for lotus germplasm resources
- [23] NY/T 2941-2016. 茭白种质资源描述规范  
NY/T 2941-2016. Descriptors for water bamboo germplasm resources
- [24] 邢俊浩. 莲藕主要农艺性状鉴定与群体遗传结构分析. 武汉: 华中农业大学, 2023  
Xing J H. Identification of main agronomic traits and analysis of population genetic structure of lotus root. Wuhan: Huazhong Agricultural University. 2023
- [25] 黄新芳,彭静,柯卫东,刘义满,孙亚林,董红霞,李峰,刘玉平,朱红莲,李双梅,叶元英,黄来春,李明华,王芸,钟兰,周凯. 206份芋种质资源品质性状分析. 植物遗传资源学报,2014,15(3):519-525  
Huang X F, Peng J, Ke W D, Liu Y M, Sun Y L, Dong H X, Li F, Liu Y P, Zhu H L, Li S M, Ye Y Y, Huang L C, Li M H, Wang Y, Zhong L, Zhou K. Analysis on quality characters of 206 taro [*Colocasia esculenta* (Linn.) Schott] germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2014,15(3):519-525
- [26] 黄新芳,孙亚林,杨英楠,柯卫东,彭静,董红霞,刘玉平,李峰,李双梅,朱红莲,刘义满,黄来春,李明华,周凯,匡晶,刘正位,王芸,钟兰,季群,王直新. 多子芋种质资源主要农艺及品质性状鉴定评价与优异种质筛选. 中国蔬菜,2024(7):92-98  
Huang X F, Sun Y L, Yang Y N, Ke W D, Peng J, Dong H X, Liu Y P, Li F, Li S M, Zhu H L, Liu Y M, Huang L C, Li M H, Zhou K, Kuang J, Liu Z W, Wang Y, Zhong L, Ji Q, Wang Z X. Identification and evaluation on the main agricultural and qualitative traits and screening of elite and rare germplasm resource in taro with numerous cormels germplasm resources. China Vegetables,2024(7):92-98
- [27] 李峰,彭静,李双梅,黄来春,柯卫东,李明华. 荸荠种质资源品质性状综合评价. 湖北农业科学,2013,52(21):5241-5244  
Li F, Peng J, Liu Y P, Ye Y Y, Liu Y M, Huang L C, Zhu H L, Li S M, Ke W D. Comprehensive evaluation on quality characters of Chinese water chestnut. Hubei Agricultural Sciences,2013,52(21):5241-5244
- [28] 李峰,彭静,刘玉平,叶元英,刘义满,黄来春,朱红莲,李双梅,柯卫东. 慈姑种质资源的品质性状分析. 中国蔬菜,2012(02X):48-53  
Li F, Peng J, Liu Y P, Ye Y Y, Liu Y M, Huang L C, Zhu H L, Li S M, Ke W D. Quality traits analysis of corm in arrowhead germplasm. China Vegetables,2012(02X):48-53
- [29] 李双梅,黄新芳,彭静,朱红莲,刘玉平,李明华,钟兰,季群,匡晶,柯卫东. 豆瓣菜种质资源主要营养成分及重金属含量测定与评价. 中国农学通报,2022,38(36):56-61  
Li S M, Huang X F, Peng J, Zhu H L, Liu Y P, Li M H, Zhong L, Ji Q, Kuang J, Ke W D. Main nutrient components and heavy metal contents of watercress germplasm resources: determination and evaluation. Chinese Agricultural Science Bulletin,2022,38(36):56-61
- [30] DB42/T 2106—2023. 芋疫病抗性室内离体接种鉴定技术规程  
DB42/T 2106—2023. Code of practice for identification of taro to leaf blight in room
- [31] 李峰,柯卫东,李双梅,彭静,李明华,孙亚林. 荸荠种质资源对秆枯病的田间抗性鉴定. 中国蔬菜,2013(02X):82-85  
Li F, Ke W D, Li S M, Peng J, Li M H, Sun Y L. Identification of Field Resistance to Stem Blight in Chinese Water Chestnut Resources. China Vegetables,2013(02X):82-85
- [32] NY/T 2183-2012. 农作物优异种质资源评价规范. 茭白  
NY/T 2183-2012. Evaluating standards for elite and rare germplasm resources—water bamboo [*Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf.]
- [33] NY/T 2182-2012. 农作物优异种质资源评价规范. 莲藕  
NY/T 2182-2012. Evaluating standards for elite and rare germplasm resources—lotus root [*Nelumbo nucifera* Gaertn.]
- [34] NY/T 2327-2013. 农作物种质资源鉴定评价技术规范. 芋

NY/T 2327-2013. Technical code for evaluating crop germplasm resources—Taro [*Colocasia esculenta* (Linn. ) Schott]

- [35] 黄新芳,柯卫东,刘义满,李峰,江用文,熊兴平,孙亚林,董红霞,叶元英,刘玉平,彭静,李双梅,朱红莲,黄来春,王芸,钟兰,周凯,李明华. 芋优异种质资源鉴定评价研究. 长江蔬菜,2013(18):85-91  
Huang X F, Ke W D, Liu Y M, Li F, Jiang Y W, Xiong X P, Sun Y L, Dong H X, Ye Y Y, Liu Y P, Peng J, Li S M, Zhu H L, Huang L C, Wang Y, Zhong L, Zhou K, Li M H. Evaluation on elite and rare germplasm resources of taro. Journal of Changjiang Vegetables, 2013(18):85-91
- [36] Wang Y, Fan G, Liu Y, Sun F, Shi C, Liu X, Peng J, Chen W, Huang X, Cheng S, Liu Y, Liang X, Zhu H, Bian C, Zhong L, Lv T, Dong H, Liu W, Zhong X, Chen J, Quan Z, Wang Z, Tan B, Lin C, Mu F, Xu X, Ding Y, Guo A Y, Wang J, Ke W. The sacred lotus genome provides insights into the evolution of flowering plant. The Plant Journal, 2013, 76(4): 557-567
- [37] Gui S, Peng J, Wang X, Wu Z, Cao R, Salse J, Zhang H, Zhu Z, Xia Q, Quan Z, Shu L, Ke W and Ding, Y. Improving *Nelumbo nucifera* genome assemblies using high-resolution genetic maps and BioNano genome mapping reveals ancient chromosome rearrangements. The Plant Journal, 2018, 94: 721-734
- [38] Guo L B, Qiu J, Han Z J, Ye Z H, Chen C, Liu C J, Xin X F, Ye C Y, Wang Y Y, Xie H Q, Wang Y, Bao J D, Tang S, Xu J, Gui Y J, Fu F, Wang W D, Zhang X C, Zhu Q H, Guang X M, Wang C Z, Cui H F, Cai D G, Ge S, Tuskan G A, Yang X H, Qian Q, He S Y, Wang J, Zhou X P, Fan L J. A host plant genome (*Zizania latifolia*) after a century - long endophyte infection. The Plant Journal, 2015, 83(4): 600-609
- [39] Lu R S, Chen Y, Zhang X Y, Feng Y, Comes H P, Li Z, Zheng Z S, Yuan Y, Wang L Y, Huang Z J, Guo Y, Sun G P, Olsen K M, Chen J, Qiu Y X. Genome sequencing and transcriptome analyses provide insights into the origin and domestication of water caltrop (*Trapa* spp., Lythraceae). Plant Biotechnology Journal, 2022, 20(4): 761-776
- [40] Yin J M, Jiang L, Wang L, Han X Y, Guo W Q, Li C H, Zhou Y, Denton M, Zhang P T. A high-quality genome of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), one of the world's oldest crops. Molecular Ecology Resources, 2021, 21(1): 68-77
- [41] Liu J X, Liu H, Tao J P, Tan G F, Dai Y, Yang L L, Feng K, Wang H, Li T, Liu Y H, Duan A Q, Fang F, Shu S, Xiong A S. High-quality genome sequence reveals a young polyploidization and provides insights into cellulose and lignin biosynthesis in water dropwort (*Oenanthe sinensis*). Industrial Crops and Products, 2023, 193: 116203
- [42] Wu P, Zhang L K, Zhang K, Yin Y L, Liu A L, Zhu Y, Fu Y, Sun F F, Zhao S P, Feng K, Xu X W, Chen X H, Cheng F, Li L J. The adaptive evolution of *Euryale ferox* to the aquatic environment through paleo-hexaploidization. The Plant Journal, 2022, 110(3): 627-645
- [43] Liu Z, Zhu H, Zhou J, Jiang S, Wang Y, Kuang J, Ji Q, Peng J, Wang J, Gao L, Bai M, Jian J, Ke W. Resequencing of 296 cultivated and wild lotus accessions unravels its evolution and breeding history. The Plant Journal, 2020, 104(6): 1673-1684
- [44] Wang Z X, Sun Y L, Huang X F, Li F, Liu Y P, Zhu H L, Liu Z W, Ke W D. Genetic diversity and population structure of eddoe taro in China using genome-wide SNP markers. PeerJ, 2020, 8: e10485
- [45] 王直新,孙亚林,黄新芳,刘玉平,朱红莲,李峰,李明华,柯卫东. 基于 SNP 标记的二倍体芋种质群体结构和遗传多样性分析. 分子植物育种,2024,22(10):3236-3246  
Wang Z X, Sun Y L, Huang X F, Liu Y P, Zhu H L, Li F, Li M H, Ke W D. Population structure and genetic diversity analysis of diploid taro based on SNP markers. Molecular Plant Breeding, 2024,22(10):3236-3246
- [46] Ji Q, Zhu H L, Huang X F, Zhou K, Liu Z W, Sun Y L, Wang Z X, Ke W D. Uncovering phylogenetic relationships and genetic diversity of water dropwort using phenotypic traits and SNP markers. PLoS ONE, 2021, 16(7): e0249825
- [47] Ji Q, Li F, Huang X F, Li S M, Wang Z X, Liu, Z W, Huang L C, Yang Y N, Zhu H L, Ke W D. Assessment of phylogenetic relationships and genetic diversity of *Sagittaria trifolia* using phenotypic traits and SNP markers. PLoS ONE,2024, 19(6): e0302313
- [48] 季群,李双梅,朱红莲,柯卫东. 基于表型性状及 SNP 标记的豆瓣菜种质资源遗传多样性分析. 中国蔬菜,2021(2):64-71  
Ji Q, Li S M, Zhu H L, Ke W D. Genetic diversity analysis of watercress germplasm resources based on phenotypic traits and SNP markers. China Vegetables,2021(2):64-71
- [49] 朱红莲,杜娟,刘正位,孙亚林,李明华,彭静,周凯,柯卫东. 我国野生莼菜考察及遗传多样性研究. 植物遗传资源学报,2020,21(6):1586-1595  
Zhu H L, Du J, Liu Z W, Sun Y L, Li M H, Peng J, Zhou K, Ke W D. Investigation and genetic diversity of wild water shield (*Brasenia schreberi*) in China. Journal of Plant Genetic Resources,2020,21(6):1586-1595
- [50] Liu Y, Song H, Zhang M, Yang D, Deng X, Sun H, Liu J, Yang M. Identification of QTLs and a putative candidate gene involved in rhizome enlargement of Asian lotus (*Nelumbo nucifera*). Plant Molecular Biology. 2022;110:23 - 36.
- [51] 刘正位,郭丹丹,彭静,朱红莲,匡晶,季群,王直新,丁毅,柯卫东. 莲子产量相关性状的 QTL 定位. 园艺学报, 2020,47 (8): 1565 - 1576

- Liu Z W, Guo D D, Peng J, Zhu H L, Kuang J, Ji Q, Wang Z X, Ding Y, Ke W D. QTL mapping of six seed yield related traits in lotus. *Acta Horticulturae Sinica*,2020,47 (8): 1565 - 1576
- [52] Song H, Xin J, Yang D, Dong G, Deng X, Liu J, Zhang M, Chen L, Su Y, Yang H, Yang M, Sun H. NnSUS1 encodes a sucrose synthase involved in sugar accumulation in lotus seed cotyledons. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2024c;210: 108591.
- [53] 孙亚林,柯卫东,黄新芳,董红霞,张龙辉,何燕红. 芋花粉活力测定及最佳贮藏方法的选择. *中国农学通报*,2015,31(4):62-67  
Sun Y L, Ke W D, Huang X F, Dong H X, Zhang L H, He Y H. Determination of taro pollen viability and choice of the best storage method. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2015,31(4):62-67
- [54] 李峰,李双梅,柯卫东,刘玉平,彭静. 荸荠花粉活力测定及贮藏寿命研究. *湖北农业科学*,2016,55(10):2564-2566  
Li F, Li S M, Ke W D, Liu Y P, Peng J. Study on viability and storage life of *Heleocharis dulcis* pollen. *Hubei Agricultural Sciences*,2016,55(10):2564-2566.
- [55] 李峰,刘玉平,黄新芳,孙亚林,彭静. 培养基配方对慈菇花粉萌发与花粉贮藏寿命的影响. *中南农业科技*,2023,44(4):249-251  
Li F, Liu Y P, Huang X F, Sun Y L, Peng J. The impact of culture medium formula on the germination of arrowhead pollen and the storage life of pollen. *South-Central Agricultural Science and Technology*,2023,44(4):249-251
- [56] 李双梅,柯卫东,彭静,黄新芳,李明华. 菱传粉生物学研究. *中国蔬菜*,2019(8):54-58  
Li S M, Ke W D, Peng J, Huang X F, Li M H. Studies on pollination biology of water caltrop. *China Vegetables*,2019(8):54-58
- [57] 李双梅,柯卫东,叶元英,黄来春. 莼菜传粉生物学及杂交技术研究. *中国蔬菜*,2011(12):70-74  
Li S M, Ke W D, Ye Y Y, Huang L C. Studies on pollination biology and hybridization of *Brasenia schreberi*. *China Vegetables*,2011(12):70-74
- [58] 孙亚林,柯卫东,黄新芳,董红霞,何燕红. 芋种子萌发特性的研究. *中国蔬菜*,2016(5):58-62  
Sun Y L, Ke W D, Huang X F, Dong H X, He Y H. Studies on characteristics of taro seed germination. *China Vegetables*,2016(5):58-62
- [59] 李双梅,柯卫东,李峰,黄新芳. 不同处理方法对荸荠种子发芽的影响. *中国蔬菜*,2011(8):55-59  
Li S M, Ke W D, Li F, Huang X F. Effects of different treatments on seeds germination of water nut. *China Vegetables*,2011(8):55-59
- [60] 钟兰,李峰,李双梅,黄来春,刘玉平,柯卫东. 慈姑种子发芽特性研究. *中国蔬菜*,2015(2):42-44  
Zhong L, Li F, Li S M, Huang L C, Liu Y P, Ke W D. Studies on seed germination characteristics of arrowhead. *China Vegetables*,2015(2):42-44
- [61] 李双梅,柯卫东,黄新芳,彭静,李明华,钟兰,王芸,王春丽. 菱果实形态发育变异调查研究. *湖北农业科学*,2019,58(22):126-130  
Li S M, Ke W D, Huang X F, Peng J, Li M H, Zhong L, Wang Y, Wang C L. Investigation on variation of fruit morphology development of water caltrop. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019,58(22):126-130
- [62] 李双梅,柯卫东,朱红莲. 不同处理方法对莼菜种子发芽的影响. *中国蔬菜*,2013(05X):76-79  
Li S M, Ke W D, Zhu H L. Effect of different treatments on seed germination of water shield (*Brasenia schreberi* J. F. Gmel). *China Vegetables*, 2013(05X):76-79
- [63] 柯卫东,刘义满,黄新芳,李峰,彭静,朱红莲,黄来春. 莲藕新品种‘鄂莲7号’. *园艺学报*,2010,37(11):1885-1886  
Ke W D, Liu Y M, Huang X F, Li F, Peng J, Zhu H L, Huang L C. A new lotus root cultivar 'Elían 7'. *Acta Horticulturae Sinica*,2010,37(11):1885-1886
- [64] 柯卫东,彭静,朱红莲,孙亚林,刘玉平,李峰,黄新芳,李双梅,刘义满,黄来春,赵春,李明华,匡晶,刘正位. 早熟莲藕新品种鄂莲10号选育. *长江蔬菜*,2017(18):92-93  
Ke W D, Peng J, Zhu H L, Sun Y L, Liu Y P, Li F, Huang X F, Li S M, Liu Y M, Huang L C, Zhao C, Li M H, Kuang J, Liu Z W. Breeding of Elían No. 10, a new cultivar of early-maturing lotus root. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2017(18):92-93
- [65] 刘正位,匡晶,朱红莲,彭静,王芸,柯卫东. 莲属植物资源和育种研究进展. *园艺学报*,2020,47(9):1845-1858  
Liu Z W, Kuang J, Zhu H L, Peng J, Wang Y, Ke W D. Germplasm resources and genetic breeding of *Nelumbo*: a systematic review. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020,47(9):1845-1858
- [66] 柯卫东,刘义满,黄新芳,李峰,彭静,朱红莲,黄来春. 莲藕新品种鄂莲6号的选育. *长江蔬菜*,2009(08X):30-31  
Ke W D, Liu Y M, Huang X F, Li F, Peng J, Zhu H L, Huang L C. New lotus cultivar, Elían No. 6. *Journal of Changjiang Vegetables*. 2009(08X):30-31
- [67] 朱红莲,季群,匡晶,周凯,刘正位,黄来春,柯卫东. 鲜食子莲新品种‘翠玉’. *园艺学报*,2023,50(S01):99-100  
Zhu H L, Ji Q, Kuang J, Zhou K, Liu Z W, Huang L C, Ke W D. A new fresh seed lotus cultivar 'Cuiyu'. *Acta Horticulturae Sinica*. 2023,50(S01):99-100
- [68] 黄新芳,刘玉平,柯卫东,刘义满,叶元英,李双梅,李茂年,彭静,李峰,黄来春,朱红莲,李明华,孙亚林. 早中熟芋新品种鄂芋1号的选育. *长江蔬菜*,2011(16):55-56  
Huang X F, Liu Y P, Ke W D, Liu Y M, Ye Y Y, Li S M, Li M N, Peng J, Li F, Huang L C, Zhu H L, Li M H, Sun Y L. Breeding of a new early-mid ripening

taro cultivar, E'yu No. 1. *Journal of Changjiang Vegetables*,2011(16):55-56

[69] 孙亚林,王直新,刘玉平,黄新芳,朱红莲,柯卫东. 芋新品种‘汉青红’. *园艺学报*,2024,51(S2):115-116

Sun Y L, Wang Z X, Liu Y P, Huang X F, Zhu H L, Ke W D. A new taro cultivar ‘Hanqinghong’. *Acta Horticulturae Sinica*, 2024,51(S2):115-116

[70] 李双梅,柯卫东,彭静,黄新芳,李明华. 早熟菱新品种‘六月菱’. *园艺学报*,2021,48(S02):2857-2858

Li S M, Ke W D, Peng J, Huang X F, Li M H. A new early-maturing water caltrop cultivar ‘June-Water Caltrop’. *Acta Horticulturae Sinica*,2021,48(S02):2857-2858

[71] 李峰,柯卫东,黄新芳,朱红莲,钟兰,彭静,李双梅,周雄祥,宗义湘,吴曼,袁田垚. 湖北省莲产业发展调研报告. *湖北农业科学*, 2020, 59 (23): 101-106+109

Li F, Ke W D, Huang X F, Zhu H L, Zhong L, Peng J, Li S M, Zhou X X, Zong Y X, Wu M, Yuan T Y. Research report on lotus industry development in Hubei province. *Hubei Agricultural Sciences*,2020, 59 (23): 101-106+109

[72] 湖北日报. “沔城藕”历时5年提纯复壮,成为国家地理标志产品——浓浓家乡味,还是粉糯香甜“那一口”. 2023-07-01. [https://news.hubeidaily.net/mobile/c\\_1594207.html](https://news.hubeidaily.net/mobile/c_1594207.html)

Hubei Daily. “Miancheng lotus root” has undergone a five-year process of purification and rejuvenation, and has become a product with national geographical indication—rich in the flavors of home, still tender and sweet, "that particular taste. 2023-07-01. [https://news.hubeidaily.net/mobile/c\\_1594207.html](https://news.hubeidaily.net/mobile/c_1594207.html)

[73] 潘恺,方洵,陈丽娜,曹永生. 基于云计算的农作物种质资源数据挖掘平台研究. *植物遗传资源学报*,2015,16(3):649-652

Pan K, Fang W, Chen L N, Cao Y S. Research of crop germplasm resources data mining platform based on cloud computing. *Journal of Plant Genetic Resource*,2015,16(3):649-652