DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20250807002

山东甘薯育种研究现状及未来展望

于 洁[1] 张文山[1] 生 媛[1] 秦 铭[2] 王梦琪[1] 孟慧慧[3] 刘 慧[3]

（[1]山东省日照市农业科学研究院，日照 276800；[2]山东省日照市农业技术服务中心，日照 276800；[3]山东省日照市农业综合执法支队，日照 276800）

摘要：作为我国甘薯种植的优势区域，山东在鲜食型甘薯产业领域占据着举足轻重的地位。近年来，随着消费市场需求的转变，国内外甘薯研究重点聚焦于确立高品质、差异化、多元化的育种目标，以及运用现代生物技术对甘薯开展遗传改良工作。本文围绕山东省甘薯产业发展状况与育种成效展开概述和深入分析，同时系统综述了近年来甘薯育种在远缘杂交、诱变育种、生物技术辅助育种、分子育种等关键技术领域所取得的进展。此外，还提出一系列建议，包括加强甘薯种质资源的引进和创新工作，建立多元化的育种目标体系，综合运用现代育种技术体系，完善甘薯加工产业链条，旨在为今后甘薯育种改良研究工作提供有益的借鉴与参考。

关键词：山东；甘薯；品种创制；育种技术

Research Status and Future Prospects of Sweet Potato Breeding in Shandong

YU Jie[1], ZHANG Wenshan[1], SHENG Yuan[1], QIN Ming[2], WANG Mengqi[1], MENG Huihui[3], LIU Hui[3]

（[1]*Rizhao Academy of Agricultural Sciences*, *Rizhao 276800*, *Shandong*; [2]*Rizhao Agricultural Technology Service Center*, *Rizhao 276800*, *Shandong*; [3]*Rizhao Agricultural Comprehensive Law Enforcement Detachment*, *Rizhao276800*, *Shandong*）

甘薯（*Ipomoea batatas*（L.）Lam.）又称番薯、白薯、红薯、山芋、地瓜等，属于旋花科（Convolvulaceae）、甘薯属（*Ipomoea*）、甘薯种（*Batatas*），一年生或多年生、具有蔓生特性的草本植物。甘薯的原产地是美洲的秘鲁、厄瓜多尔、墨西哥一带，于16世纪中叶传入我国[1-2]。作为全球第七大粮食作物，甘薯的产量高且适应性强，同时富含胡萝卜素、维生素A、维生素C、食用纤维和大量的矿物质元素等人体所需

式后补助制度，可以对推广面积突破6.67万~26.67万 hm^2 的品种给予奖励，并配套设立种业科技成果转化基金。通过制度集成创新，形成规范有序、激励有效、保障有力的现代种业治理体系。

3.4 聚焦人工智能技术，深度赋能种业全链条 通过搭建种质资源智能分析平台，整合基因组学、表型组学等多源数据，运用机器学习算法加速优异基因挖掘和表型—基因型关联分析。开发AI辅助的品种审定系统，结合图像识别技术实现DUS测试自动化，利用区块链技术构建品种溯源体系以强化知识产权保护。建设基于大数据的智能推广服务平台，通过农户种植数据实时分析实现品种精准推荐，同时运用自然语言处理技术构建全天候农技问答系统，解决传统推广手段单一难题。持续推动建立“AI+生物育种”联合实验室，引导种业企业利用生成式AI技术模拟杂交组合效应，缩短育种周期，培育具有突破性性状的新品种。

参考文献

[1] 温涛，田晓晖，龚斌磊，李谷成，郑宏运. 加快建设农业强国的实现路径——《加快建设农业强国规划（2024—2035年）》颁布实施笔谈. 西南大学学报：社会科学版，2025，51（2）：1-20，307

[2] 王连芬，李志荣，齐志伟，杨爱宾，梁晨，李争，于澎湃. 天津市种业发展现状、挑战与振兴策略. 中国种业，2024（9）：29-32

[3] 梁晨，尹超群，张云月，杨宇涵. 天津市开展农作物新品种展示示范的探索与实践. 中国农村科技，2024（9）：41-42

（收稿日期：2025-07-31）

的重要营养成分，不仅是主要的粮食作物，而且是淀粉、食品加工的重要原料，在保障粮食安全、推动乡村振兴以及应对气候变化等方面发挥着不可替代的作用[3]。

山东省是我国重要的农业生产区域，2024年甘薯产业呈现显著规模效应：种植总面积达12.87万hm^2，总产量超过550万t，总产量居全国第2位，单位面积产量居全国第1位。从地理分布特征来看，甘薯种植带主要集中于省内三大丘陵地貌区：鲁中、鲁南及胶东半岛，这些地区凭借其特有的土壤条件和地形优势，成为支撑山东省甘薯产业的核心区域。近年来，随着消费市场需求的转变，甘薯已从单纯解决温饱的作物，逐渐成为兼具营养和健康属性的食物，以健康为导向的鲜食消费占比逐年增加，这也使得甘薯育种目标在多用途、专用化方向上不断深化扩展，以满足产业化发展对品种的精细化需求[4]。传统育种的优势在于其安全性和适应性，但是在效率和精度等方面存在一些局限[5]。随着基因组学技术与生物育种手段的深度融合，甘薯育种研究正经历从传统经验选择向分子设计育种的转变。本文综述了近年来山东省在甘薯产业发展、品种创制、技术革新等方面的研究进展，以期为未来甘薯性状改良和稳定高产提供理论依据和实践指导。

1 山东省甘薯产业发展概况

1.1 甘薯的产业地位 甘薯是山东省农业经济的支柱型传统作物，2001年以来，山东省甘薯种植规模正经历结构性调整，在城镇化加速与农业现代化转型的双重作用下呈现“总量收缩、效益提升”的显著特征。全省甘薯种植面积从41.20万hm^2缩减至12.87万hm^2（降幅68.76%），与同期耕地总量减少的趋势呈现正相关性。主产区从17个地市缩小至烟台、济宁等6个核心地市，形成了“东鲜食、西淀粉”的产业带格局，其中烟台、济宁（泗水、邹城）、临沂形成三大产业集聚区，占全省种植面积70%以上。

山东省拥有适合甘薯产业发展的气候条件，能显著提高甘薯糖分的积累效率，充裕的土地资源也为甘薯的生产提供了坚实的基础[6]。鲜食型主导品种（如烟薯25、济薯33等）占全省种植总面积的70%以上，高淀粉加工型品种（如济薯25、济薯21等）占全省种植总面积约30%。然而，甘薯产业发展中还存在加工深度不足、尚未形成大型深加工企业集群等问题，鲜食型品种占主导，而高淀粉加工型、特色功能型品种数量有限，难以满足多元化市场需求。

1.2 育种成效

1.2.1 育种研究概况 传统甘薯育种长期以产量为核心指标，导致品种同质化严重，难以匹配加工与消费升级需求，因此山东省甘薯育种目标正经历从“高产单一化”向“优质专用化、功能多元化、产业链适配化”的战略转型。山东省烟台市农业科学研究院辛国胜等[7]率先提出“优质优先”育种理念，将食味品质作为首要筛选标准，成功育成国内首个集优质、高产、多抗、食味好等多种优良性状于一身的食用型甘薯新品种烟薯25。该品种可溶性糖含量达8.2%，烤制后糖心流蜜，推动了我国甘薯消费从“饱腹粮”向“功能食品”升级。山东省农业科学院针对加工短板（淀粉型品种不足），定向选育高淀粉率（济薯25烘干率44%）、高粘度、耐加工品种，支撑粉条、薯片精深加工；靶向选育高花青素品种（如济紫薯2号）、高膳食纤维品种，开发甘薯酵素、代餐粉等高附加值产品，实现价值链上移。

2001年至今，山东省共选育65个甘薯品种，23个品种通过了国家品种鉴定或山东省审定。2017年实行非主要农作物品种登记制度以后，55个品种通过国家登记（表1）。其中，有12个品种通过国家鉴定，15个品种通过山东省审定；山东省农业科学院作物研究所选育了18个，占比27.69%，济宁市农业科学研究院选育了17个，占比26.15 %，烟台市农业科学研究院选育了10个，占比15.38%，泰安市农业科学研究院选育了7个，占比10.77 %。2001–2016年全国通过国家鉴定的甘薯品种共183个[1]，其中山东选育的有12个，占全国总数的6.56%。这些育成品种产量水平得到明显提升，薯块外观更加整齐美观，核心营养成分含量显著优化，对主要病害的抗性增强，同时拓展了鲜食、加工、色素提取等多元化应用场景。

1.2.2 品种类型更加丰富 2001年起山东省的甘薯育种工作已构建起功能型品种体系，涵盖淀粉型、优质食用型、花青素型和兼用型等多个类型品种。在山东省育成的65个品种中，7个为鲜食淀粉兼用型，12个为淀粉型，5个为高花青素型，其余41个为鲜食型。在鲜食型品种中，4个为紫薯型，37个为

表 1　2001 年以来山东省选育的甘薯品种

序号	品种	类型	主要育成单位	来源	国家登记编号	国鉴编号	省审编号
1	济薯 15 号	淀粉	山东省农业科学院作物研究所	济 85003/ 济 79268		国品鉴甘薯 2001004	
2	济薯 21	鲜食淀粉兼用	山东省农业科学院作物研究所	CHGU1.002/PC94–1	GPD 甘薯（2018）370048	国品鉴甘薯 2007001	鲁农审 2007037 号
3	烟紫薯 2 号	鲜食	山东省烟台市农业科学研究院	种子岛紫 放任授粉		国品鉴甘薯 2009012	
4	烟紫薯 3 号	鲜食	山东省烟台市农业科学研究院	烟薯 0389 放任授粉	GPD 甘薯（2025）370027	国品鉴甘薯 2009012	
5	烟薯 24	淀粉	山东省烟台市农业科学研究院	冀薯 98 放任授粉		国品鉴甘薯 2010005	
6	济薯 18	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	徐薯 18 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370066		鲁农审 2008038 号
7	烟薯 23 号	淀粉	山东省烟台市农业科学研究院	冀薯 98 放任授粉			鲁农审 2010039 号
8	泰中 9 号	淀粉	泰安市农业科学研究院	徐薯 18 放任授粉			鲁农审 2010041 号
9	烟薯 25	鲜食	山东省烟台市农业科学研究院	鲁薯 8 号 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370034	国品鉴甘薯 2012001	
10	济徐 23	淀粉	山东省农业科学院作物研究所	苏薯 7 号 /AB94078–1	GPD 甘薯（2018）370049	国品鉴甘薯 2013004	
11	泰薯 14	鲜食	泰安市农业科学研究院	万薯 7 号 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370067		
12	济紫薯 3 号	高花青素	山东省农业科学院作物研究所	Ayamurasaki 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370068		
13	济薯 26	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	徐 03–31–15 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370073	国品鉴甘薯 2014002	
14	临薯 2 号	鲜食	临沂市农业科学院	6–4–51 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370078		
15	济薯 27	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	红香蕉 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370081		鲁农审 2015039 号
16	齐宁 13 号	鲜食淀粉兼用	济宁市农业科学研究院	徐薯 18/P6 16–23	GPD 甘薯（2018）370083		
17	齐宁 12 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	西农 431/ 遗 306	GPD 甘薯（2018）370084		鲁农审 2010044 号
18	齐宁 16 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	心香 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370001		
19	齐宁 18 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	济薯 26 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370002		
20	东风 8 号	高花青素	日照市兴华甘薯研究所	济紫薯 1 号 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370032		
21	泰薯 12	鲜食淀粉兼用	泰安市农业科学研究院	鲁薯 8 号 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370034		
22	齐宁 15 号	鲜食淀粉兼用	济宁市农业科学研究院	徐薯 18 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370035		
23	齐宁 17 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	渝紫薯 7 号 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370036		
24	齐宁 20 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	万薯 7 号 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370037		
25	齐宁 21 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	秦薯 7 号 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370038		
26	济薯 22 号	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	北京 553 放任授粉	GPD 甘薯（2019）370043		鲁农审 2010043 号
27	思维特	鲜食	青岛乐泉种植有限公司	遗字 138 变异选育	GPD 甘薯（2019）370064		
28	济薯 24	淀粉	山东省农业科学院作物研究所	Clear HMC 放任授粉			鲁农审 2012033 号
29	泰中 6 号	鲜食	泰安市农业科学研究院	鲁薯 8 号 放任授粉		国品鉴甘薯 2013003	鲁农审 2012034 号
30	济紫薯 1 号	高花青素	山东省农业科学院作物研究所	Ayamurasaki 放任授粉	GPD 甘薯（2021）370011	国品鉴甘薯 2015009	鲁农审 2012037 号
31	济薯 25	淀粉	山东省农业科学院作物研究所	济 01028 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370050	国品鉴甘薯 2016002	鲁农审 2015037 号
32	烟薯 26	鲜食淀粉兼用	山东省烟台市农业科学研究院	鲁薯 8 号 放任授粉			鲁农审 2015038 号
33	济薯 27	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	系红香蕉 放任授粉	GPD 甘薯（2018）370081		鲁农审 2015039 号

序号	品种	类型	主要育成单位	来源	国家登记编号	国鉴编号	省审编号
34	烟薯 28	鲜食	山东省烟台市农业科学研究院	烟薯 18 放任授粉			鲁农审 2015040 号
35	泰中 11 号	鲜食	泰安市农业科学研究院	烟薯 176 放任授粉			鲁农审 2015041 号
36	雪艳	鲜食	莱州市金海种业有限公司	莱蜜 放任授粉	GPD 甘薯（2020）370033		
37	泰紫薯 1 号	鲜食	泰安市农业科学研究院	泰中 6 号 放任授粉	GPD 甘薯（2020）370038		
38	泰薯 15	淀粉	泰安市农业科学研究院	万薯 7 号 放任授粉	GPD 甘薯（2020）370045		
39	烟薯 29 号	淀粉	山东省烟台市农业科学研究院	烟薯 24 放任授粉	GPD 甘薯（2021）370009	国品鉴甘薯 2016001	
40	济紫薯 2 号	高花青素	山东省农业科学院作物研究所	徐紫薯 3 号 / 济紫薯 1 号等 6 个父本群体	GPD 甘薯（2021）370012		
41	济薯 29	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	香苕 放任授粉	GPD 甘薯（2021）370013		
42	济薯 30	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	龙薯 9 号 放任授粉	GPD 甘薯（2021）370014		
43	齐宁 22 号	鲜食淀粉兼用	济宁市农业科学研究院	渝薯 17 号 集团杂交	GPD 甘薯（2022）370041		
44	花芯如意	鲜食	莱州市金海种业有限公司	香芋薯 集团杂交	GPD 甘薯（2022）370049		
45	齐宁 19 号	鲜食淀粉兼用	济宁市农业科学研究院	龙薯 9 号 放任授粉	GPD 甘薯（2022）370054		
46	齐宁 23 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	徐薯 27 集团杂交	GPD 甘薯（2022）370055		
47	齐宁 24 号	鲜食	济宁市农业科学研究院	浙薯 13 集团杂交	GPD 甘薯（2022）370056		
48	临薯 15051	鲜食	临沂市农业科学院	济薯 26 放任授粉	GPD 甘薯（2022）370062		
49	金海汀甜	鲜食	莱州市金海种业有限公司	澳洲紫白 / 红瑶	GPD 甘薯（2022）370064		
50	济薯 35	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	济薯 26 放任授粉	GPD 甘薯（2022）370071		
51	济薯 33	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	济薯 26 放任授粉	GPD 甘薯（2022）370072		
52	蓉粉 1 号	鲜食	莱州市金海种业有限公司	雪艳 / 红瑶	GPD 甘薯（2022）370084		
53	金海美秀	鲜食	莱州市金海种业有限公司	甜香薯 / 蜂蜜罐	GPD 甘薯（2022）370085		
54	齐宁 26	淀粉	济宁市农业科学研究院	济薯 21 集团杂交	GPD 甘薯（2023）370015		
55	齐徐 37	淀粉	济宁市农业科学研究院	徐薯 27 集团杂交	GPD 甘薯（2023）370016		
56	齐徐 28	淀粉	济宁市农业科学研究院	徐薯 27 集团杂交	GPD 甘薯（2023）370017		
57	泗薯 1 号	鲜食	山东省农业科学院作物研究所	龙薯 601 放任授粉	GPD 甘薯（2023）370028		
58	烟薯 23	鲜食	山东省烟台市农业科学研究院	烟 10–48 放任授粉	GPD 甘薯（2023）370040		
59	临薯 248	鲜食	临沂市农业科学院	济薯 26 放任授粉	GPD 甘薯（2023）370042		
60	烟紫薯 4 号	高花青素	山东省烟台市农业科学研究院	浙薯 81 放任授粉	GPD 甘薯（2023）370052		
61	齐宁 608	鲜食	济宁市农业科学研究院	烟薯 25 集团杂交	GPD 甘薯（2024）370050		
62	金海黛翎	鲜食	莱州市金海种业有限公司	红天使 / 高系 14 等 5 个父本群体	GPD 甘薯（2024）370054		
63	齐宁 31	鲜食	济宁市农业科学研究院	济薯 26 集团杂交	GPD 甘薯（2024）370056		
64	临薯 284	鲜食	临沂市农业科学院	济薯 26 放任授粉	GPD 甘薯（2025）370016		
65	白璐	鲜食	莱州市金海种业有限公司	雪艳 / 台农 71	GPD 甘薯（2025）370019		

优质型。其中济薯18于2004年3月通过国家甘薯新品种鉴定委员会的鉴定，是我国首个被鉴定定名的紫色薯肉甘薯新品种[8]，由于富含花青素和硒元素，该品种兼具营养功能与加工价值[9]。每100g鲜薯含60mg以上花青素的品种有东风8号、济紫薯1号、济紫薯2号、济紫薯3号，济紫薯1号每100g鲜薯花青素含量高达90~126mg，是国内紫甘薯加工原料的核心品种。泗薯1号和济薯33具有早熟的生长特性，济薯33更是由于商品薯率高、早熟、高产、结薯整齐集中等优点，作为早熟型食用品种推广利用。

1.3 育成的优良品种

1.3.1 烟薯25——优质高产抗病鲜食型品种 烟薯25是山东省烟台市农业科学研究院于2003年培育而成，其母本为鲁薯8号，父本为烟薯20、烟薯550、AIS0122-2等国内外优良品种（系），通过杂交选育获得，在2012年通过了国家鉴定委员会的鉴定。国家甘薯区域试验每667m^{2}平均鲜薯产量3021.9kg，比对照增产45.09%。干基还原糖和可溶性糖含量分别为5.62%和10.34%，粘液蛋白为1.12%，每100g鲜薯胡萝卜素含量为3.67g，专家食味评分77.1分，烘干率27.04%，淀粉率17.16%，抗黑斑病，中抗根腐病[10]。2017年以来，烟薯25累计推广126.39万hm^2，连续6年成为我国年推广面积最大的甘薯品种，是中国首个在电商平台进行销售的甘薯品种。

1.3.2 烟薯23号——优质高产高淀粉型品种 烟薯23号是山东省烟台市农业科学研究院2003年以冀薯98为母本经改良杂交获得，该品种于2010年通过了山东省农作物品种审定委员会审定。在2007-2008年山东省甘薯区域试验中2年每667m^{2}平均鲜薯产量2511. 89kg，薯干平均产量730. 49kg，淀粉率为22. 8%，干物率29.1%，抗根腐病，中抗茎线虫病和黑斑病，稳定性好，结薯集中，在全省甘薯产区作为淀粉型品种种植利用[11]。

1.3.3 济紫薯2号——优质多抗高产高花青素型品种 济紫薯2号由山东省农业科学院作物研究所育成，采用集团杂交法，以徐紫薯3号为母本，以济紫薯1号等6个品种为父本，经放任授粉选育获得。2019-2020年北方薯区区域试验2年每667m^{2}平均鲜薯产量为1593.8kg，干率为35.3%，每100g鲜薯花青素含量为159.03mg，烘干率37.1%，淀粉率25.9%，抗黑斑病，中抗根腐病，感茎线虫病，可替代Ay-amurasaki成为花青素加工企业的生产原料[12]。

2 育种技术的创新及应用

2.1 杂交不亲和克服技术 杂交育种是通过人工调控授粉环节，将不同品种的优良性状重新组合在一起的育种过程。甘薯传统育种途径包括品种间杂交和种间杂交，包括定向配组杂交法、放任授粉法和集团杂交法等育种方法，创制兼具高产潜力、营养强化及复合抗性的甘薯新品种，已被广泛应用于甘薯育种[13]。但是甘薯传统育种面临多重遗传障碍：其六倍体基因组（$2n = 6x = 90$）具有高度杂合性和结构复杂性，加之自交不亲和性与种间杂交障碍等生殖隔离机制，使杂交后代的性状分离表现出明显的不可预测性。在实际育种过程中，由于多亲本复合杂交策略的普遍应用，亲本遗传贡献度难以精确追溯，致使优良亲本筛选效率低下，最终制约了育种效率的提升[14]。此外，甘薯开花障碍与败育率升高也是制约遗传改良的关键瓶颈，主要表现为环境胁迫诱导的花粉活性下降及受精失败现象[15]。

烟台市农业科学研究院创新研发的甘薯人工—昆虫互补二次授粉技术，通过整合定向杂交与自然授粉优势，显著提升了育种效率。该技术实施包含3个关键步骤：首先筛选40~50个遗传差异显著的亲本材料，基于目标性状进行人工定向授粉组合预配；随后开放花器引入蜜蜂等传粉昆虫进行二次补充授粉；最终按亲本系谱完成种子收获、播种及田间选择。这种双阶段授粉机制突破了传统育种中组合单一的局限，使远缘亲本间的基因交流效率提升3倍以上，成功培育出烟薯25等突破性品种[10]。此外，泰安市农业科学研究院、中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所创新甘薯开花诱导技术（如嫁接牵牛花砧木结合短日照处理），与烟台市农业科学研究院人工—昆虫互补授粉法形成技术互补，破解北方甘薯自然开花率低的问题，使杂交结实率提高10%以上[16]。

2.2 诱变育种 甘薯诱变育种是通过物理因子（如γ射线、χ射线、^{60}Co处理、中子辐照、空间辐射等）或化学诱变剂（如烷化剂、碱基类似物等）处理薯块、种苗或种子，诱导其遗传物质发生基因突变或染色体结构变异，进而从变异群体中筛选符合育种目

标（如抗逆性、高产、高品质）的个体，经多代选育直接培育新品种或创制新种质的方法[17-18]。通过辐射诱变，突变频率可得到显著提升，加快获得新性状的速度。张雄坚等[19]研究表明，甘薯杂交种子经太空诱变处理后，植株茎叶生长指标（如平均蔓长、分枝数及茎叶生物量）获得显著提升。研究团队还对广紫薯1号的5个世代组培系进行了空间诱变处理，数据显示，处理后的群体中不仅大中薯的比例显著提升，产量也呈现出极显著或显著的增长态势。揭琴等[20]采用^{60}Co-γ射线80Gy、1.09Gy/min射线辐照处理商薯19离体培养体系，成功诱导获得农艺性状改良的突变株系，这些突变体既具有种质创新价值，又能直接服务于高产优质甘薯新品种的选育。化学诱变在作物育种中有显著的优势：其作用靶点精准、变异效率显著高于自然突变，且能同时影响多个基因位点。由于主要诱发点突变，突变性状在子代中能快速稳定遗传，从而大幅压缩传统育种所需的时间成本。韩婷婷等[21]采用平阳霉素（PYM）诱导徐薯18茎段突变，通过NaCl梯度培养基筛选获得3个高抗盐突变株系。分子机制研究表明，这些突变体在盐胁迫条件下，其抗盐相关基因（*IbSOD*、*IbPOD*、*IbAPX*和*IbSOS*等）的表达水平较野生型徐薯18显著上调。

山东较早开展了甘薯诱变育种探索，山东省烟台市农科所甘薯研究室采用快中子辐照甘薯种子，诱发甘薯下胚轴表皮细胞发生突变，创立了一种获得不定芽突变体的新型诱变育种方法[22]。基于此，李爱贤等[23]研究表明，相较于急性辐射处理，缓慢照射技术通过降低单位时间剂量但增加总累积剂量的方式，显著减轻了对甘薯材料的生理损伤。这种渐进式辐照策略不仅将突变频率提升1.5~2.0倍，更关键的是扩展了突变性状的多样性范围，特别在薯块重量、淀粉含量等数量性状改良上有突出的优势。此外，张丹丹等[24]通过离体诱变技术，以烟薯25的茎尖为外植体，在含平阳霉素的培养基中诱导不定芽形成，经过4周的诱变培养后，将其转入不含诱变剂的培养基中继续分化。对46株再生植株进行田间试验发现，有3株在薯块表型（皮色、肉色、表面光滑度）及产量上呈现显著变异，其中突变体的单株鲜薯重量比亲本有明显提升。该结果证实平阳霉素作为离体诱变剂能够有效诱导甘薯性状改良，为育种工作提供新的途径。

2.3 生物技术辅助育种

2.3.1 脱毒技术 甘薯是无性繁殖作物，易受多种病毒和类病毒侵染，而且病毒会在植株体内不断积累，致使病毒病危害逐年加重，导致大幅减产。为解决这一问题，可借助甘薯茎尖分生组织病毒含量极低甚至无毒的特性，剥离茎尖分生组织并培育分化出脱毒苗，从而有效阻断病毒传播，恢复品种优良性状[25]。在甘薯脱毒苗培育技术研究中，曲玉阳等[26]通过系统研究12个主栽甘薯品种的脱毒技术，开发出高效通用培养基配方（MS + 2mg/L NAA + 1.0mg/L 6-BA），并成功设计出针对甘薯羽状斑驳病毒（Sweet potato feathery mottle virus）、甘薯褪绿矮化病毒（Sweet potato chlorotic stunt virus）、甘薯潜隐病毒（Sweet potato latent virus）、甘薯褪绿斑病毒（Sweet potato chlorotic lieck virus）和甘薯G病毒（Sweet potato virus G）5种主要病毒的特异性分子检测引物，筛选出甘12和粉薯2-2两个优质脱毒株系，实现了脱毒种薯的标准化生产。覃晓晖等[27]通过综合应用茎尖分生组织培养、水培炼苗及PCR病毒检测等技术手段，成功筛选出一种MS培养基，其中含0.1mg/L的NAA与0.05mg/L的TDZ，能显著提高组培苗的增殖效率，同时让茎尖苗的成苗率、脱毒成功率和移栽存活率实现了全面提升。

面对无性繁殖作物易染病毒病的难题，山东省烟台市农业科学研究院辛国胜团队首创“一刀切茎尖剥离技术”，通过标准化切割茎尖（0.2~0.3mm），实现甘薯茎尖高效脱毒且防止种性变异，显著降低病毒病感染率，被写入烟台市农业科学研究院《甘薯脱毒种苗繁育技术规程》内部技术手册（未公开发行）。山东省农业科学院创新研发出“脱毒甘薯二级繁种体系”，该体系能在1年内完成从组培脱毒到生产用种的全过程，大幅缩短传统方法3年的种薯繁育周期，同时显著降低了病毒再侵染率，成功突破了产业技术上的瓶颈。

2.3.2 基因工程 近年来，借助基因工程技术，甘薯的品质改良与抗性提升方面有了显著进展。品质改良主要集中在淀粉、蛋白质、胡萝卜素、花青素等方面[28-30]。此外，基因工程技术在甘薯抗病虫害研究中也取得突破性进展。如Liu等[31]首次从高抗种质中克隆出抗虫基因，配合根癌农杆菌定向注射手

段，构建 *SPWR1*/*SPWR2* 转基因植株，为抗虫品种选育提供靶点基因。同时，基因工程技术在非生物胁迫抗性研究领域的相关成果也为抗逆育种提供了新策略。研究表明，多个抗逆基因通过调控甘薯的生理代谢途径，显著增强了其对盐胁迫、干旱胁迫及氧化胁迫的适应能力[32-34]。这些基因主要参与渗透调节、活性氧清除和胁迫信号转导等关键过程，为培育抗逆性甘薯品种提供了重要的分子靶点。

山东在甘薯株型调控研究领域取得重要突破，Zhou 等[35]首次阐明了 ABA-GA 激素互作调控甘薯蔓长的分子机制。研究团队从短蔓品种中成功克隆 ABA（脱落酸）合成关键基因 *IbNCED1*，通过转基因技术证实：该基因过表达会显著提升植株内源 ABA 水平，同时抑制 GA（赤霉素）的生物合成，进而影响株型发育。此外，赵春玲[36]首次在甘薯中克隆并功能鉴定了 *Aux/IAA* 家族基因（*IbIAA13* 和 *IbIAA22*），构建了过表达载体并获得转基因植株，揭示了二者通过响应生长素及其他激素、胁迫信号，参与调控甘薯生长发育与非生物胁迫抗性，为甘薯抗逆育种提供了新靶点。

2.4 分子育种技术 农作物基因组测序作为现代农业科技的核心突破，其意义涵盖基础研究、育种革新、资源保护及粮食安全等多个维度。甘薯基因组的测序工作已取得关键突破，其完整序列框架的建立为重要基因的功能研究与育种创新奠定了技术基础[37-38]。随着分子生物学技术的飞速发展，以及甘薯全基因组测序取得突破性成果，分子标记技术作为现代分子辅助育种的核心工具，成为甘薯种质鉴定、品种鉴定和多样性分析的有效工具。这一技术体系通过精准定位重要性状相关基因位点，显著提升了甘薯育种效率与精准度[39]。

在甘薯遗传育种研究中，SSR（简单重复序列）、ISSR（简单重复区间序列）、SRAP（相关序列扩增多态性）、AFLP（扩增片段长度多态性）、SNP（单核苷酸多态性）及 KASP 分子标记等技术已成为解析起源进化，进行分类鉴定，构建遗传图谱及定位基因功能的核心分子手段，其协同应用显著推动了甘薯基因组学研究的深度与精度[40-41]。聂立圆[42]采用 SSR 分子标记技术对国内 75 个甘薯品种进行遗传分析，构建了品种特异性指纹图谱，并结合农艺性状数据计算遗传距离，借助聚类分析，明确了品种间的亲缘关系和遗传多样性特点，为甘薯种质资源鉴定以及杂交育种中亲本的选择搭配提供了分子层面的参考依据。李爱贤等[43]以徐薯 18× 徐 78-1 杂交群体构建分子连锁图谱，基于 SRAP 分子标记技术，成功筛选出与抗茎线虫病基因相关的特异性标记，定位 27 个与淀粉含量、产量相关的主效 QTL，开发出淀粉含量、抗茎线虫病等 10 个实用分子标记（选择准确率≥82.6%），此项成果成为济薯 25、济薯 26 等突破性品种选育的基础[44]。

功能基因的挖掘与利用是推动甘薯遗传改良和品种创新的核心科学支撑，目前已在块根形态建成、淀粉代谢途径及抗病机制等关键性状相关基因的鉴定方面取得重要进展[45-47]。功能基因组学与基因编辑技术的协同应用，显著提升了甘薯遗传改良的精准性和时效性。通过对关键功能基因进行靶向调控，推动育种工作从传统经验育种跨越到分子设计育种新阶段。中国科学院分子植物卓越创新中心联合泰安市农业科学研究院[48]，首次在六倍体甘薯中成功应用 CRISPR/Cas9 技术，设计特异性 sgRNA 靶向淀粉合成基因 *IbGBSSI* 和 *IbSBEII*，在淀粉型品种徐薯 22 及类胡萝卜素富集品种泰中 6 号中实现双靶点编辑，突变率达 63% 以上，创制出淀粉品质改良的新种质。同时，还完成了泰中 6 号六倍体的基因组测序，绘制出首个甘薯高精度基因组图谱，实现分子育种与传统育种的有机融合。

3 展望

3.1 加强甘薯种质资源引进和创新 种质资源是育种工作的物质基础和核心要素，其遗传多样性与优良性状直接决定育种突破的可能性。尽管中国是全球甘薯种植面积与产量第一大国，但其种质资源库容不足，且遗传多样性水平与特异资源储备显著滞后于产业规模。因此，需系统引进和收集国外和国内甘薯近缘野生种质资源，建立分级保护体系，通过深度鉴定筛选品质、抗病、抗逆、优质基因，构建融合表型组—基因组—生物信息学的国际一流种质库与智能育种平台，以获得优异中间材料，促使品种改良利用。

3.2 建立应用场景驱动的育种目标体系 产业升级与消费升级双轮驱动下，高品质、差异化、多元化品种选育正成为育种创新的核心方向。以培育优质专用品种为目标，建立鲜食型、功能型和加工型三大

甘薯育种体系：着重培育耐储运（耐低温、抗破损、长货架期）鲜食品种，开发富含花青素、胡萝卜素等功能成分的营养强化品种，创制适应机械化作业（集中结薯、短纺型或球型薯型、短蔓半直立）的专用品种，同时强化对根腐病、抗茎线虫病、抗黑斑病、抗蔓割病、抗薯瘟病、抗疮痂病、抗蚁象等多种病虫害具有抗性的品种选育，促进以营养健康为导向的高产、优质、多抗新品种实现产业化应用。

3.3 构建以常规杂交育种为核心、整合分子育种技术的现代育种技术体系 当前甘薯育种仍以表型驱动型杂交育种为主体，其技术本质是通过人工杂交构建遗传重组群体，经多代表型筛选实现性状聚合，而依托分子标记的基因组选择、基因编辑等精准育种技术，目前正处于从实验室研究向田间转化的关键研发阶段。因此，需在甘薯育种理论创新与分子设计技术体系构建上实现双突破：深化基因组学与功能基因研究，推动基因编辑与分子设计育种，定位调控品质、抗性、产量的主效基因与 QTL，阐明其互作与表达调控机制，探索人工智能在精准高效育种技术中的应用。

3.4 建立健全甘薯加工产业链条 推行“技术—标准—产业”同步推进机制，依托龙头企业组建关键技术攻关联合体，将研发成果转化为团体标准或企业标准，通过标准宣贯培训与示范应用打通技术推广“最后一公里”。打造甘薯全株利用的闭环产业链：借助生物转化与物理改性技术，把传统废弃物（根茎叶、薯渣、薯浆）转化为功能性食品原料，进而开发高档、多元化且功能化的加工产品，以此减轻环境污染，提高资源转化率。同时，构建从田间到餐桌的甘薯全价值链体系，通过示范园区建设带动产业升级，培育具备核心竞争力的加工龙头企业和市场认可度高的特色品牌。

参考文献

[1] 王欣，李强，曹清河，马代夫. 中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望. 中国农业科学，2021，54（3）：483–492

[2] 四郎群措，林子龙，陈根辉，黄艳霞，郭其茂，黄康德，谢丽君，赖丽婷，林建富. 鲜食加工型甘薯新品种的鉴定筛选. 中国种业，2024（11）：73–77

[3] Jiang Z C，Wei Z H，Zhang J，Zheng C X，Zhu H，Zhai H，He S Z，Gao S P，Zhao N Z，Zhang H，Liu Q C. Source–sink synergy is the key unlocking sweet potato starch yield potential. Nature Communications，2024，15（1）：7260

[4] 胡晓强，金玉蔓，刘学圣，霍建中，赵治军，刘起丽，李雪洁. 甘薯良种繁育现状及高质量发展建议. 种业导刊，2025（2）：9–12

[5] Martínez–Fortún J，Phillips D W，Jones H D. Natural and artificial sources of genetic variation used in crop breeding：a baseline comparator for genome editing. Frontiers in Genome Editing，2022，4：937853

[6] 王锋. 双循环新发展格局下山东甘薯产业链优化路径探析. 村委主任，2023（5）：91–93

[7] 辛国胜，韩俊杰，商丽丽，邱鹏飞，林祖军，张磊. 优质高产食用型甘薯新品种烟薯 25 号选育及配套栽培技术研究与应用. 山东省，山东省烟台市农业科学研究院，2013–10–26

[8] 张立明，王庆美，李爱贤，张海燕，孙丽荣，郗光辉. 甘薯新品种济薯 18 号的选育及配套栽培技术. 山东农业科学，2004（6）：13–14

[9] 张玉钦，马英建，李顺庆. 保健型紫色甘薯新品种济薯 18 号及高产栽培技术. 中国农技推广，2010，26（3）：15–16

[10] 辛国胜，林祖军，韩俊杰，商丽丽，邱鹏飞，刘庆昌. 优质高产甘薯新品种‘烟薯 25’选育及高产生理研究. 上海农业学报，2015，31（4）：119–124

[11] 辛国胜，林祖军，韩俊杰，刘志坚，商丽丽，邱鹏飞，曲文超. 高产高淀粉甘薯新品种烟薯 23 号选育研究. 山东农业科学，2011（7）：18–20

[12] 董顺旭，侯夫云，李爱贤，秦桢，周媛媛，王庆美. 高花青素型甘薯新品种济紫薯 2 号的选育及栽培技术. 江苏师范大学学报：自然科学版，2022，40（2）：27–29

[13] 谢一芝，郭小丁，贾赵东，马佩勇，边小峰，禹阳. 中国淀粉型甘薯育种现状及展望. 江苏农业学报，2019，35（5）：1240–1245

[14] 赵凌霄，王珧，姚祝芳，肖世卓，戴习彬，周志林，张安，杨天妮，王章英，曹清河. 我国甘薯种质资源研究现状及展望. 植物遗传资源学报，2025，26（6）：1068–1079

[15] Silva J R D，Fernandes A C G，Valadares N R，Alves R A，Faria S E，Rodrigues C H，Azevedo A M. Flowering，production and seed quality in sweet potato clones cultivated understaking. Horticultura Brasileira，2023，41：e2522

[16] 张鹏. 甘薯育种技术创新与泰中系列新品种的选育. 山东省，泰安市农业科学研究院，2018–12–01

[17] 车怡帆，王克剑，饶玉春，黄勇. 水稻育种前沿技术及种质创新. 科技导报，2025，43（10）：31–43

[18] 朱琨，李宗芸. 甘薯突变体库构建的研究进展. 江苏师范大学学报：自然科学版，2024，42（1）：35–39

[19] 张雄坚，房伯平，罗忠霞，黄立飞，陈景益，王章英. 紫肉甘薯新品种广紫薯 1 号空间诱变改良效果初步分析. 热带作物学报，2010，31（1）：35–38

[20] 揭琴，陶春来，张恭，崔绍玉，石颖，刘洋，周健东，杜德玉. 利用辐射诱变技术创制甘薯新种质. 农学学报，2021，11（8）：22–26

[21] 韩婷婷，吕运韬，石源睿，刘世芳，唐锐敏，张红梅，贾小云. 甘薯离体诱变与抗盐突变体鉴定. 核农学报，2023，37（6）：1111–1117

[22] 盛志政. 甘薯诱变育种技术的一项重大突破. 中国农学通报，1989（5）：41

[23] 李爱贤，张立明，王庆美，张海燕，侯夫云，董顺旭. 植物缓慢照射研究进展及其在甘薯上的应用. 山东农业科学，2007（4）：32–34

[24] 张丹丹，王维华，李冠，隋炯明，乔利仙，王晶珊，姜德锋. 甘薯化学离体诱变及突变体的性状表现. 植物生理学报，2016，52（3）：343–348

[25] 李军利，胡晓强，陈曦，吴家静，李政，李江伟，朱坤. 甘薯脱毒试管苗直繁种苗生产技术体系的创建. 种业导刊，2023（3）：32–35

[26] 曲玉阳，刘训龙，姚峰，蔡兴奎. 甘薯脱毒及种薯（苗）繁育技术研究. 安徽农业科学，2024，52（16）：33–39

[27] 覃晓晖，肖珍，潘丹妮，傅俊杰，杨鸿，杨志坚. 紫心甘薯脱毒与快繁技术研究. 热带农业科学，2024，44（9）：14–20

[28] Fan Y，Chen T Y，Xue L Y，Zhang H，Gao S P，Zhao N，He S Z，Zhai H，Liu Q C. A glutathione S–transferase IbGSTL2 interacts with IbcPGM to increase starch content and improve starch quality in sweetpotato. The Crop Journal，2024，12（6）：1666–1676

[29] Li R J，Zhai H，He S Z，Zhang H，Zhao N，Liu Q C. A geranylgeranyl pyrophosphate synthase gene，*IbGGPS*，increases carotenoid contents in transgenic sweetpotato. Journal of Integrative Agriculture，2022，21（9）：2538–2546

[30] 赵乔锐，李宗芸. 甘薯基因工程改良研究进展. 生命科学，2025，37（3）：337–346

[31] Liu X，Wang Y，Zhu H B，Mei G G，Liao Y Y，Rao S F，Chen A，Liu H J，Zeng L T，Xiao Y Y，Li X M，Yang Z Y，Hou X L. Natural allelic variation confers high resistance to sweet potato weevils in sweet potato. Nature Plants，2022，8（11）：1233–1244

[32] Zhang H，Wang Z，Li X，Gao X R，Dai Z R，Cui Y H，Zhi Y H，Liu Q C，Zhai H，Gao S P，Zhao N，He S Z. The IbBBX24–IbTOE3–IbPRX17 module enhances abiotic stress tolerance by scavenging reactive oxygen species in sweet potato. New Phytologist，2022，233（3）：1133–1152

[33] Meng X Q，Liu S Y，Zhang C B，He J N，Ma D F，Wang X，Dong T T，Guo F，Cai J，Long T D，Li Z Y，Zhu M K. The unique sweet potato NAC transcription factor IbNAC3 modulates combined salt and drought stresses. Plant Physiology，2023，191（1）：747–771

[34] Wang Z，Li X，Gao X R，Dai Z R，Peng K，Jia L C，Wu Y K，Liu Q C，Zhai H，Gao S P，Zhao N，He S Z，Zhang H. IbMYB73 targets abscisic acid–responsive *IbGER5* to regulate root growth and stress tolerance in sweet potato. Plant Physiol，2024，194：787–804

[35] Zhou Y Y，Zhao C L，Du T F，Li A X，Qin Z，Zhang L M，Dong S X，Wang Q M，Hou F Y. Overexpression of 9–cis–epoxycarotenoid dioxygenase gene，*IbNCED1*，negatively regulates plant height in transgenic sweet potato. International Journal of Molecular Science，2023，24（13）：10421

[36] 赵春玲. 甘薯生长素响应基因 *IbIAA13* 和 *IbIAA22* 的克隆与功能分析. 济南：山东师范大学，2023

[37] Yang J，Moeinzadeh M H，Kuhl H，Helmuth J，Xiao P，Haas S，Liu G L，Zheng J L，Sun Z，Fan W J，Deng G F，Wang H X，Hu F H，Zhao S S，Fernie A R，Boerno S，Timmermann B，Zhang P，Vingron M. Haplotype–resolved sweet potato genome traces back its hexaploidization history. Nature Plants，2017，3（9）：696–703

[38] Rogo U，Fambrini M，Pugliesi C. Embryo rescue in plant breeding. Plants，2023，12（17）：3106

[39] 吴胜男，孙凯，张海，刘峰，王凤. 甘薯分子标记辅助育种研究进展. 黑龙江农业科学，2022（9）：111–115

[40] Li A X，Qin Z，Hou F Y，Dong S X，Wang Q M. Development of molecular linkage maps in sweet potato（*Ipomoea batatas* L.）using sequence–related amplified polymorphism markers. Plant Breeding，2018，137（4）：644–654

[41] Yang F Y，Lang T，Wu J Y，Zhang C，Qu H J，Pu Z G，Yang F，Yu M，Feng J Y. SNP loci identification and KASP marker development system for genetic diversity，population structure，and fingerprinting in sweetpotato（*Ipomoea batatas* L.）. BMC Genomics，2024，25（1）：1245

[42] 聂立圆. 基于 SSR 标记甘薯种质指纹图谱的构建及遗传多样性分析. 济南：山东大学，2018

[43] 李爱贤，王庆美，侯夫云，张海燕，张立明. 利用 SRAP 技术获得与抗甘薯茎线虫病基因相关的分子标记. 分子植物育种，2008，6（6）：1204–1208

[44] 王庆美. 优质专用甘薯新品种济薯 25、济薯 26 选育与应用. 山东省，山东省农业科学院作物研究所，2019–11–25

[45] Yan M X，Li M，Wang Y Z，Wang X Y，Moeinzadeh M H，Quispe–Huamanquispe D G，Fan W J，Fang Y J，Wang Y Q，Nie H Z，Wang Z Y，Tanaka A，Heider B，Kreuze J F，Gheysen G，Wang H X，Vingron M，Bock R，Yang J. Haplotype–based phylogenetic analysis and population genomics uncover the origin and domestication of sweetpotato. Molecular Plant，2024，17（2）：277–296

[46] Zhang D W，Tan Y J，Dong F，Zhang Y，Huang Y L，Zhou Y Z，Zhao Z J，Yin Q，Xie X H，Gao X W，Zhang C F，Tu N M. The expression of *IbMYB1* is essential to maintain the purple color of leaf and storage root in sweet potato [*Ipomoea batatas*（L.）Lam]. Frontiers in Plant Science，2021，12：688707

[47] Zhang R，Li M，Tang C C，Jiang B Z，Yao Z F，Mo X Y，Wang Z Y. Combining metabolomics and transcriptomics to reveal the mechanism of coloration in purple and cream mutant of sweet potato（*Ipomoea batatas* L.）. Frontiers in Plant Science，2022，13：877695

[48] Wang H X，Wu Y L，Zhang Y D，Yang J，Fan W J，Zhang H，Zhao S S，Yuan L，Zhang P. CRISPR/Cas9–based mutagenesis of starch biosynthetic genes in sweet potato（*Ipomoea Batatas*）for the improvement of starch quality. International Journal of Molecular Science，2019，20（19）：4702

（收稿日期：2025-08-07）