果 树 学 报 2025,42(11):2566-2576
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250118

国家桃草莓种质资源圃(北京)的草莓种质资源收集保存与创新利用进展

孙 瑞,常琳琳,李双桃,隗永青,董 静,钟传飞,
高用顺,魏灵芝,张宏力,张运涛,王桂霞*,孙 健*

(北京市农林科学院林业果树研究所·农业农村部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室·北京市草莓工程技术研究中心·北京市落叶果树工程技术研究中心·农业农村部华北都市农业重点实验室,北京 100093)

摘 要:草莓为多年生草本果树,在世界范围内广泛栽培,草莓产业在我国现代农业和乡村振兴中具有重要地位。我国草莓种质资源丰富,是野生草莓的主要分布区之一,为我国草莓育种和产业发展提供了有力支撑。国家桃草莓种质资源圃(北京)是国家级草莓种质资源保存单位之一,截止2024年12月,保存编目草莓种质资源418份,选育草莓新品种25个,并助力了草莓香味、抗性和基因组进化基础研究,支撑了我国草莓产业提升和发展。本文介绍了国家桃草莓种质资源圃(北京)在草莓种质资源收集保存、创新研究以及共享利用方面所取得的进展,并对未来的草莓种质资源工作进行了展望,以期为我国草莓种质资源的挖掘利用和产业发展提供参考。

关键词:草莓;种质资源;收集;保存;创新利用

中图分类号:S668.4 **文献标志码**:A **文章编号**:1009-9980(2025)11-2566-11

Progress of collection, conservation and innovative utilization of strawberry germplasm resources in the National Peach and Strawberry Germplasm Resources Repository (Beijing)

SUN Rui, CHANG Linlin, LI Shuangtao, WEI Yongqing, DONG Jing, ZHONG Chuanfei, GAO Yongshun, WEI Lingzhi, ZHANG Hongli, ZHANG Yuntao, WANG Guixia*, SUN Jian*

(Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Beijing Engineering Research Center for Strawberry/Beijing Engineering Research Center for Deciduous Fruit Trees/Key Laboratory of Urban Agriculture (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100093, China)

Abstract: Cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*, 2*n*=2*x*=56), an octoploid perennial herbaceous plant, is one of the most important commercial crops and is widely cultivated in the world. According to statistics from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) in 2022, China leads the global strawberry industry, with a cultivation area of 148 000 hectares and an annual production of 3 988 000 tons. The strawberry industry, characterized by its short growth cycle and high economic returns, plays a pivotal role in promoting modern agricultural development and rural revitalization in China. Moreover, China is also one of the primary distribution regions for *Fragaria* species. With 13 out of the 25 known species naturally distributed across the country, China has a rich diversity of wild strawberry germplasm. These resources serve as a valuable genetic reservoir, providing critical support for strawberry breeding programs and the sustainable development of the strawberry industry. The National Peach and Strawberry Germplasm Resources Repository (Beijing) established in 1981 is one of the na-

收稿日期:2025-03-13 **接受日期**:2025-04-27

基金项目:现代农业产业技术体系(CARS-24-A-14);国家园艺种质北京桃、草莓分库运行服务(NHGRC2024-NH11-1);北京市农林科学院2025年度科研创新平台建设(PT2025-12)

作者简介:孙瑞,女,助理研究员,博士,研究方向为果树种质资源与育种。E-mail:422166122@qq.com

***通信作者** Author for correspondence. Tel:010-82598882,E-mail:wgxia1972@163.com;E-mail:sjroad@126.com

tional strawberry germplasm resources conservation units, and mainly undertakes the tasks of strawberry germplasm resources collection, preservation and evaluation as well as resource sharing and utilization. By the end of December 2024, totally 418 accessions of strawberry germplasm have been collected, preserved, and cataloged in the repository, including wild species, local varieties and bred varieties. Relying on the those resources, systematic identification and evaluation of agronomic traits have been carried out every year. Fourteen germplasms have been screened out with excellent and specific traits, such as good quality, high resistance, day-neutral and high yielding, etc. These germplasms can be used in production utilization and cultivar selection and breeding, thus promoting the upgrading of strawberry varieties in China. A total of 1655 accessions have been offered and utilized for 125 organizations involving universities, colleges, research institutes and production and processing companies. Using the superior germplasms as backbone parents, 25 new strawberry cultivars have been bred and released with high fruit quality and different maturity periods. A high-resolution genome of *Fragaria pentaphylla* was assembled for genome sequencing, providing a good reference for understanding the genetics of the endemic *Fragaria* species in China. The phylogenetic analysis based on chloroplast genomes revealed that the drastic global temperature change and uplifting of the Qinghai-Tibet plateau might have driven the formation of taxa and polyploidization in the genus *Fragaria*. Meanwhile, studies focusing on the mechanisms underlying strawberry quality and resistance traits have been conducted. By integrating phenotyping and genotyping data, including metabolomic, transcriptomic, and gene expression analyses, candidate genes have been identified, laying the foundation for the genetic regulation of these traits. Fruit aroma has been a major focus of our research utilizing germplasm resources. We established the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) method for volatile substances detection of strawberry fruits. Then the genetic analysis was performed on nerolidol, one of the key components, based on F_1 population derived from specific cultivars screened by evaluation. Key genes like nerolidol synthase gene *FaNES1* and alcohol acyltransferase gene *FvAATW2* were identified to aid in fruit aroma regulation. For the other fruit quality traits, we found that the aldo-keto reductases gene *AKR23* could regulate both ascorbic acid and anthocyanin content in strawberry fruits. And the accumulation of soluble sugars and vitamin C was highly likely to be synchronously regulated by MYB, bHLH, NAC, AP2 and bZIP family members during fruit ripening. We revealed that the response mechanisms of strawberry to salt stress was different in selected germplasm. The genome-wide analysis of tubby-like protein gene family (*TLP*) showed that the gene members were widely involved in strawberry abiotic stress response such as salinity, drought, high and low temperatures, as well as in the regulation of strawberry growth and development. In addition, it was found that heterologous expression of the *Arabidopsis thaliana* ROOTY (*RTY*) gene in strawberry could improve the drought resistance. Simultaneously, the practical application of the strawberry germplasm resources in the industry has been significantly strengthened. Farmers adopted the elite germplasm resources screened or the new cultivars bred by us have realized substantial economic gains. Furthermore, a series of national and international exhibitions and conferences centered on the strawberry industrial chain were successfully held in the repository, facilitating the widespread adoption of new cultivars and cutting-edge technologies. These efforts have collectively contributed to the sustainable growth and global competitiveness of China's strawberry industry. In summary, this paper comprehensively reviews the progress achieved by the National Peach and Strawberry Germplasm Resources Repository (Beijing) in the collection, preservation, innovation, sharing, and utilization of strawberry germplasm resources. Furthermore, it outlines future research directions, aiming to provide valuable insights and references for the effective exploitation of strawberry germplasm resourc-

es and the sustainable development of China's strawberry industry.

Key words: Strawberry; Germplasm resources; Collection; Conservation; Innovative utilization

草莓是多年生常绿草本植物，属于蔷薇科（Rosaceae）草莓属（*Fragaria* spp.）。生产中广泛种植的栽培种为八倍体凤梨草莓（*F.* × *ananassa*），1750年诞生于法国，起源于弗州草莓（*F. virginiana*）和智利草莓（*F. chiloensis*）的偶然杂交[1]。根据联合国粮农组织（FAO）统计结果，2022年世界草莓栽培面积42.3万hm^2，总产量1 024.7万t；其中我国草莓栽培面积14.8万hm^2，总产量398.8万t，产业规模居世界首位[2]。

我国是草莓种质资源主要分布区之一，草莓属共包含24个野生种，我国自然分布13个种，是世界上野生草莓种类最丰富的国家[3-5]。我国十分注重草莓种质资源的保护与挖掘利用。目前，已建立2个国家级草莓种质资源圃（北京、南京），进行种质资源的收集和安全保存，并开展种质的植物学性状、农艺学性状、抗逆性及遗传等方面的评价鉴定工作，为种质的开发利用提供支撑[6-8]。欧美国家也一直重视草莓种质资源的收集、分类与保存[9-11]。西班牙马拉加农业研究与培训中心保存草莓种质资源400余份[12]；德国Staudt教授的资源圃中收集保存草莓资源519份[13]；美国俄勒冈州的美国国家草莓种质资源圃，收集保存了草莓属60个种群、2023份种质资源[14]，主要的保存方式是在隔离网室内保存盆栽草莓，并确定约40份资源为核心资源，为原产美洲的八倍体，这些资源可直接作为育种材料进行利用[15]。

国家桃草莓种质资源圃（北京）（图1）位于北京市农林科学院林业果树研究所内，由国家农业部责成筹建。林果所从1977年开始收集草莓种质资源，1981年正式开始国家桃草莓种质资源圃（北京）的建设工作，面积1.67 hm^2[16]。2003年改扩建后，占地3.67 hm^2。国家桃草莓种质资源圃（北京）一直受到国家农业（农村）部、科技部的关注和支持，获得了“桃草莓种质资源收集鉴定编目繁殖更新与保存分发利用”、“国家桃草莓种质资源平台（北京）”等项目的长期资助，并于2019年新增了“国家园艺种质北京桃、草莓分库运行服务”项目，2023年新增了“北京市农业种质资源保护工作方案”项目，支撑资源圃持续开展桃、草莓种质资源的收集、保存和鉴定评价等一系列研究工作并取得了丰硕的研究成果。同时承担种质资源的分发、利用和共享任务，为科研、教学、生产、育种提供合适的种质材料。

图1 国家草莓种质资源圃（北京）

Fig. 1 The National Strawberry Germplasm Resources Repository (Beijing)

1 草莓资源圃/库的保存现状

1.1 草莓资源收集保存总体情况

截至2024年12月底，国家桃草莓种质资源圃（北京）共收集保存草莓种质资源900余份，已入圃编目种质资源418份，主要包括野生资源、地方品种和育成品种3种类型。编目资源中，野生资源包括森林草莓（*F. vesca*）、五叶草莓（*F. pentaphylla*）、绿色草莓（*F. viridis*）等9个种，占比3.83%；地方品种包括大连四季、保定鸡心、长寿红草莓等31份资源，占比7.42%；育成品种包括来自中国、日本、美国、意大利等的371份种质资源，占比88.76%（表1）。自2016年起，依托国家草莓种质资源圃和中国园艺学会草莓分会开展全国草莓野生资源考察活动，在黑龙江、四川、陕西、甘肃、云南等10个省份进行了资源收集，获得野生资源100余份，并摸清了野生资源的分

表 1　国家桃草莓种质资源圃（北京）418 份编目草莓种质资源的分类保存情况

Table 1　Classification and conservation of 418 cataloged strawberry germplasm resources in the National Peach and Strawberry Germplasm Resources Repository (Beijing)

种质类型 Germplasm type	种质数量 No.of germplasm	百分比 Percentage rates/%	所属种数量及名称 No. and names of included species
野生资源 Wild species	16	3.83	9 个种：森林草莓，五叶草莓，绿色草莓，东北草莓，黄毛草莓，东方草莓，麝香草莓，智利草莓，弗州草莓 Nine species: *F. vesca*, *F. pentaphylla*, *F. viridis*, *F. mandshurica*, *F. nilgerrensis*, *F. orientalis*, *F. moschata*, *F. chiloensis*, *F. virginiana*
地方品种 Local varieties	31	7.42	1 个种：栽培草莓 One species: *F.* × *ananassa*
育成品种 Bred cultivars	371	88.76	1 个种：栽培草莓 One species: *F.* × *ananassa*

布规律和生物学特性，为资源保护、研究利用奠定了坚实的基础。

1.2　发掘的优异种质

持续开展圃存种质资源的系统性鉴定评价，筛选优异、特异种质进行生产利用和品种选育。先后筛选出短日草莓种质资源 14 份，其中果实品质性状优异资源 7 份，包括丰香、章姬、红颜、枥乙女、鬼怒甘、女峰、幸香；抗性强、果实大的资源 7 份，包括卡姆罗莎、甜查理、早明亮、吐特拉、达赛莱克特、全明星、给维塔；筛选出果实大、产量高的四季草莓资源 4 份，包括蒙特瑞、波特拉、圣安德瑞斯、阿尔比（表 2，图 2）。这些资源成为我国草莓产业更新换代的主栽品种和杂交育种骨干亲本[17]。在多年的资源评价鉴定工作中，主持或参与制定行业标准 3 项，分别为《农作物种质资源鉴定技术规程 草莓》[18]《农作物优异种质资源评价规范 草莓》[19]和《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 草莓》[20]。其中，《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 草莓》是草莓新品种保护权申请唯一执行依据，《农作物种质资源鉴定技术规程 草莓》和《农作物优异种质资源评价规范》被科研院所和大专院校在草莓资源评价中广泛应用。

表 2　农艺性状鉴定评价筛选出的优异草莓资源列表

Table 2　The list of the outstanding strawberry resources selected by identification and evaluation of agronomic traits

优异性状 Outstanding traits	资源份数 No. of resources	资源名称 Name of resources
短日品质优 Short-day with high fruit quality	7	丰香，章姬，红颜，枥乙女，鬼怒甘，女峰，幸香 Toyonoka, Akihime, Benihoppe, Tochiotome, Kinuama, Nyoho, Sachinoka
短日抗性强，果实大 Short-day with high resistance and big fruit size	7	卡姆罗莎，甜查理，早明亮，吐特拉，达赛莱克特，全明星，给维塔 Camarosa, Sweet Charlie, Earlibrite, Tudla, Darselect, Allstar, Gaviota
四季果实大，产量高 Day-neutual with big fruit size and high yield	4	蒙特瑞，波特拉，圣安德瑞斯，阿尔比 Monterey, Portola, San Andreas, Albion

A. 枥乙女；B. 卡姆罗莎；C. 波特拉。

A. Tochiotome; B. Camarosa; C. Portola.

图 2　农艺性状鉴定评价筛选出的优异草莓资源

Fig. 2　Pictures of outstanding strawberry resources selected by identification and evaluation of agronomic traits

2 保存资源的创新利用

国家桃草莓种质资源圃在安全保存种质资源的基础上，服务意识与服务质量也在不断加强与提高。面向全国的科研工作者、生产者与普通公众，进行种质资源科普、优异种质展示与共享利用。截至2024年12月底，向内蒙古农牧业科学院、昆明市农业科学院园艺研究所、中国农业大学、河北省农业科学院石家庄果树研究所、延庆康庄东官坊村等125家单位提供1655份次草莓种质资源，在支撑基础研究、品种选育、产业提升等方面成效显著（表3）。

2.1 支撑育种

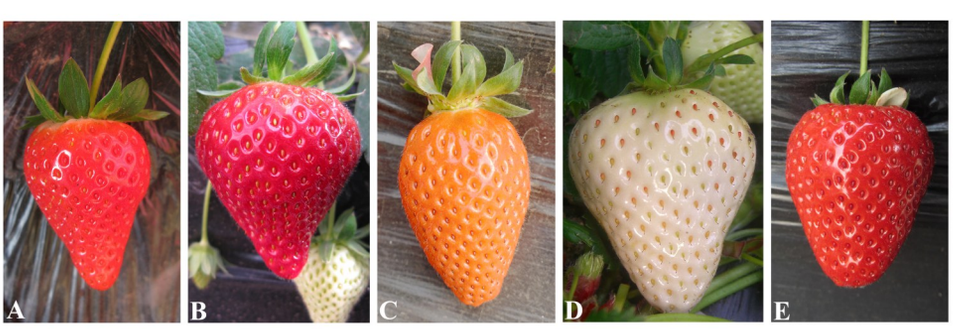
利用筛选出的优异资源作为骨干亲本，配置以成熟期早、香味浓郁、果实颜色多样为育种目标的杂交组合，选育出早熟、香味浓、品质优、产量高的草莓品种25个[21-33]。为培育香味浓郁、特色突出的草莓品种，利用香味育种骨干亲本达赛莱克特和章姬，选育出具浓郁桃香味的京桃香[34]；同时选育出具浓郁茉莉香味的书香[35]。为丰富草莓品种类型，提高产值，开展不同果色草莓品种选育工作。以章姬和给维塔为亲本选育出草莓品种粉红公主[36]，果面粉色、果个大、口味甜。通过实生选种，首次获得白果草莓品种白雪公主[37]，最大果质量48 g，品质好，获得了产业从业者和消费者的好评。为进一步提高草莓品质和产量、提早成熟期，选育出极早熟品种京藏香[38]（图3）。

表3 草莓种质资源创新利用总体情况

Table 3 The overall status of innovation and utilization of strawberry germplasm resources

利用方向 Orientation of utilization	利用单位数量 No. of utilized institutions	利用资源份次 No. of utilized germplasm	利用成效 Effectiveness of utilization
支撑育种 Support for breeding	31	229	选育草莓新品种25个 Bred 25 strawberry cultivars
支撑基础研究 Support for fundamental research	22	297	支撑国家重点研发计划3项，发表文章42篇[15-17,21-59] Supported 3 national key R&D programs and published 42 articles
支撑产业提升 Support for industrial upgrading	72	1129	组织全国会议20次，促进品种更新和农民增收 Organized 20 times national congresses, promoted the renewal of cultivars and increased farmers' incomes
总数量 Total	125	1655	—

远缘杂交能够引入野生种质资源的优异性状，是进行种质创新的重要途径。但是，草莓属植物倍性差异较大，准确分离鉴定真杂种，是远缘杂交成功的关键。草莓的植物学特征和生物学特性在不同种间很少存在稳定的、显著的差异，且易受季节及环境条件影响，因此难以通过形态学特征准确获取真杂种。分子标记能够直接反映DNA序列的差异，在种质鉴定中具有准确高效、操作简便的优势[7,39]。利用SSR标记准确鉴定获得了五叶草莓（*F. pentaphylla*）×栽培草莓（*F.* × *ananassa*，达赛莱克特）和栽培草莓（*F.* × *ananassa*，甜查理）×森林草莓（*F. vesca*）的种间杂种后代[40-41]，为野生种质资源及远缘杂交技术在



A. 京桃香；B. 书香；C. 粉红公主；D. 白雪公主；E. 京藏香。

A. Jingtaoxiang; B. Shuxiang; C. Fenhong Gongzhu; D. Baixue Gongzhu; E. Jingzangxiang.

图3 选育草莓品种的果实特征

Fig. 3 Fruit characteristics of bred strawberry cultivars

草莓育种的应用提供了有效路径。

2.2　支撑基础研究

在支撑项目方面，以国家桃草莓种质资源圃（北京）为依托，获批农业部公益性行业专项1项，“草莓产业技术研究与试验示范（201003064）”；获批科技部重点研发计划项目（课题）3项，“中欧草莓新品种合作研发与区域试验示范（2016YFE0112400）”、“草莓高效育种技术与品种创制（2019YFD1000803）”、“草莓优质轻简高效栽培技术集成与示范（2020YFD1000105）”；获批农业农村部特色蔬菜产业技术体系草莓种质资源鉴定与新种质创制岗位专家（CARS-24-A-14），为草莓产业唯一岗位。此外，支撑国家自然科学基金、北京市创新团队等其他国家级、省部级等项目80余项，共计发表SCI、中文核心期刊论文42篇。

在种群进化和基因组研究方面，对测序10个草莓种的叶绿体基因组进行草莓属植物进化分析，发现草莓属已完成叶绿体测序的19个种（表4）可分为南北两大类群，饭沼草莓为共同的祖先。其类群形成和倍性提高的主要推动力可能是青藏高原隆起所带来的全球气候变化[42]。进一步分析发现，五叶草莓与南部类群其他种在分布区上均有交叉，且为我国特有种。因此，对五叶草莓进行了全基因组序列解析，基因组大小为257 Mb，完整度达99.9%，为gap-free的高质量基因组。比较基因组分析发现，五叶草莓与西藏草莓最为接近，其基因家族在类黄酮等代谢途径中发生了收缩，与其果色等性状相关，为后续研究奠定了基础[43]。

在品质性状研究方面，一直将草莓果实香味作为最主要的目标性状，通过种质资源果实香味物质

表4　开展叶绿体基因组测序及草莓属进化分析的草莓种信息

Table 4　Species of genus *Fragaria* used for Chloroplast genome sequencing and phylogenetic analysis

草莓种 Species	数据来源 Data sources	草莓种 Species	数据来源 Data sources	草莓种 Species	数据来源 Data sources	草莓种 Species	数据来源 Data sources
中国草莓 *F. chinensis*	测序 Sequencing	高原草莓 *F. tibetica*	测序 Sequencing	饭沼草莓 *F. iinumae*	数据库 Public database	东北草莓 *F. mandshurica*	数据库 Public database
黄毛草莓 *F. nilgerrensis*	测序 Sequencing	西南草莓 *F. moupiensis*	测序 Sequencing	日本草莓 *F. nipponica*	数据库 Public database	东方草莓 *F. orientalis*	数据库 Public database
西藏草莓 *F. nubicola*	测序 Sequencing	伞房草莓 *F. corymbosa*	测序 Sequencing	五叶草莓 *F. pentaphylla*	数据库 Public database	弗州草莓 *F. virginiana*	数据库 Public database
裂萼草莓 *F. daltoniana*	测序 Sequencing	纤细草莓 *F. gracilis*	测序 Sequencing	森林草莓亚种 *F. vesca subsp. vesca*	数据库 Public database	智利草莓 *F. chiloensis*	数据库 Public database
绿色草莓 *F. viridis*	测序 Sequencing	麝香草莓 *F. moschata*	测序 Sequencing	森林草莓亚种 *F. vesca subsp. bracteata*	数据库 Public database	栽培草莓 *F. × ananassa*	数据库 Public database

注：信息来源于参考文献[42]。

Note: Information obtained from reference [42].

的GC-MS检测，锁定酯类物质、橙花叔醇、沉香醇、呋喃酮、γ-癸内酯等是草莓果实特征香味物质[44-50]。遗传分析发现，香味物质橙花叔醇在F_1杂交后代中呈1∶1比例分离[51]，橙花叔醇合成酶基因（nerolidol synthase gene，*FaNES1*）的表达水平与含量呈正相关，外源茉莉酸甲酯可诱导*FaNES1*表达，促进挥发性香味物质的释放[52]。酯类物质作为数量最多的挥发性成分，其合成受*AATs*（醇酰基转移酶基因）调控。在卡姆罗莎中过量表达*FvAATW2*基因，能够提高酯类成分的相对含量，增强果实香味[53]。

对森林草莓和栽培草莓中3条维生素C积累途径及循环途径结构基因进行鉴定，分别鉴定到36个和125个维生素C合成代谢基因。结果显示，森林草莓和栽培草莓果实维生素C积累具有以下共同特点：1）*D*-甘露糖/*L*-半乳糖途径结构基因的表达随草莓果实成熟逐渐下调；2）*D*-半乳糖醛酸途径结构基因的表达随草莓果实成熟逐渐上调，与草莓果实维生素C积累趋势呈正相关。推测*D*-甘露糖/*L*-半乳糖途径主要在草莓果实发育早期阶段调控果实维生素C积累，而*D*-半乳糖醛酸途径是草莓果实启动成熟后主要的维生素C合成途径，伴随果实成熟发生细胞壁降解，为该途径提供更多半乳糖醛酸作为维生素C合成前体。*D*-半乳糖醛酸途径中的*FaGalUR*基因属于醛酮还原酶家族（AKR），且正调控草莓果实维生素C积累，在森林草莓和栽培草莓基因组中分别鉴定出36个和80个AKR基因家族成员。分析

显示 *FaAKR23* 与 *FaGalUR* 遗传关系较近，且 *FaAKR23* 在果实中的表达为同家族最高，并随着果实成熟显著上升[54]。此外，*FaAKR23* 在果实中的表达相较其他组织最高，其定位于细胞质和细胞核，利用RNAi技术干扰栽培草莓果实中 *FaAKR23* 的表达，相比于对照组，RNAi材料中草莓果实维生素C含量显著下降，并抑制果实成熟进程中花色苷的积累，证明 *FaAKR23* 可同时调控草莓果实维生素C和花色苷含量[55]。对果实品质存在显著差异的两个栽培品种进行转录组和代谢组联合分析，发现可溶性糖和维生素C的积累很可能受到MYB、bHLH、WRKY、NAC、AP2和bZIP等多个转录因子家族成员的协同调控[56]。

在草莓抗性研究方面，通过对种质的耐盐性评价及转录组、代谢组联合分析，发现不同品种的盐胁迫应答机制不同，主要响应的生物代谢途径为类黄酮、ABC转运蛋白及细胞壁重塑[57]。筛选获得草莓抗逆相关基因 *TLP*，通过基因家族结构及进化分析，发现草莓 *TLP* 家族进化模式存在差异。基因表达分析和转基因验证表明，*FvTLPs* 广泛参与草莓盐碱、干旱、高低温等非生物胁迫响应并且参与草莓生长发育调控[58]。此外，研究发现在草莓中异源表达拟南芥 *RTY* 基因，能够促进IAA和ABA积累，并通过促进根系生成、提升表皮毛密度和调节气孔关闭等生理变化，改善草莓的抗旱性[59]。

2.3 支撑产业提升

草莓因生产周期短、经济效益高，在我国现代农业发展和乡村振兴中具有重要意义。国家草莓种质资源圃依托种质筛选和品种选育两个抓手，助推我国草莓产业的不断提升和发展。北京市海淀区马坊镇二条街村种植筛选出的优良草莓品种甜查理，产品以供应超市为主，结合观光采摘，园区69个草莓大棚总收入超过200万元，帮助当地农民脱贫致富，二条街村因此成为远近闻名的草莓种植专业村。以资源圃种质达赛莱克特、卡姆罗莎、红颜等为亲本选育的草莓品种燕香、京泉香、京藏香在邯郸金农庄园进行示范推广，采用日光温室高垄、膜下滴灌栽培模式，果实采摘期可从当年11月起到翌年5月，666.7 m^2 收入可达10多万元，显著提升了农户收入和生活水平。

此外，依托会展农业进行优异种质展示和新品种、新技术推广。在全国范围内成功举办20次全国草莓文化节，邀请到国际和国内知名专家讲授草莓发展现状和先进技术，提供平台链接育种者、生产者、消费者，共同探讨产业问题和解决对策，对促进全国草莓产业发展起到积极的推动作用。

3 展 望

3.1 加强草莓种质资源收集保存

我国草莓种质资源丰富、分布广泛，但我国草莓科研工作起步较晚，野生草莓资源的考察收集还不充分，地方品种流失严重，选育品种亲本集中，遗传多样性较为狭窄。因此，笔者认为应充分发挥国家种质资源圃的职能，进一步考察、收集和保存野生资源和地方品种，摸清其分布区域和生长特性，采用因地制宜的保存技术，建立完善的资源保存体系。同时，广泛收集国内外新品种和育种材料，丰富种质资源的遗传多样性。

3.2 支撑草莓种质资源鉴定评价和挖掘利用

当前，分子生物学、组学技术快速发展，因此对种质资源的鉴定评价不能只停留在基础生物学性状描述和简单农艺性状调查阶段。应在此基础上，积极响应国家种质资源精准鉴定的需求，开展多维度、精细化资源鉴定，将特异性状落实到准确的表型数据和相应的遗传基因位点上，能够更加直接地为生产、育种提供可利用资源。同时，应充分挖掘野生资源的遗传特性，通过远缘杂交、倍性育种等技术手段，利用野生资源改良栽培品种。

3.3 完善草莓种质资源保存技术和共享机制

目前草莓种质资源以露地种植的保存方式为主，容易受自然灾害、病虫害和人类（动物）活动的影响，使得种质资源存在安全风险。因此，应建立多元化的保存技术体系，包括离体组培保存、种子低温保存等。当前已建立离体保存体系，正在逐步完成备份保存。还要在政府部门和主管单位的支持下，持续提升资源圃的设施水平，满足种质资源安全保存的动态需求。在资源共享方面，不断完善共享机制和提高服务水平。建立共享资源的追溯反馈体系，更新资源需求，保证优质资源的共享利用。

3.4 加强人才培养及团队建设

种质资源的收集、鉴定、保存和挖掘利用是一项基础性、长期性、稳定性和繁杂性的工作，需要稳定的工作团队、认真的工作态度、扎实的理论基础和丰富的实践经验。徐秀荣研究员、石磊研究员、张运涛

研究员等老一辈科研工作者为国家草莓种质资源圃（北京）的建设和发展做出了突出贡献。目前国家草莓种质资源圃（北京）有科研人员10人，其中研究员1人，副研究员4人，博士7人，形成了一支老中青结合的人才梯队。人员分工明确，高效协作，由3人负责种质资源的日常管理和常规鉴定，3人负责种质资源的基因型和表型精准鉴定，2人负责种质创制和育种工作，2人负责种质资源的宣传展示、分发利用和服务追踪。未来，还将进一步优化人员结构，提升团队科学素养，加强合作交流，为种质资源的安全保存和挖掘利用提供可靠的人才保障。

参考文献 References:

[1] DARROW G M. The strawberry：History，breeding and physiology[M]. New York：Holt，Rinehart and Winston，1966.

[2] FAO. 2022. FAOSTAT：Production：Crops and livestock products [DB/OL]. Rome：FAO，2022 [2025-02-27]. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

[3] STAUCT G. The species of *Fragaria*，their taxonomy and geographical distribution[J]. Acta Horticulturae，1989(265)：23-34.

[4] HUMMER K E，BASSIL N，NJUGUNA W. *Fragaria*.[M]// Wild Crop Relatives：Genomic and Breeding Resources. Berlin，Heidelberg：Springer Berlin Heidelberg，2010：17-44.

[5] 雷家军，薛莉，代汉萍，邓明琴 . 世界草莓属（*Fragaria*）植物的种类与分布[C]//中国园艺学会草莓分会 . 草莓研究进展(Ⅳ). 北京：中国农业出版社，2015：364-375.
LEI Jiajun，XUE Li，DAI Hanping，DENG Mingqin. Study on taxonomy of the strawberry genus *Fragaria* in the World[C]// Strawberry Branch of the Chinese Society for Horticultural Science. Advances in Strawberry Research (Ⅳ). Beijing：China Agriculture Press，2015：364-375.

[6] 邓明琴，雷家军 . 中国果树志-草莓卷[M]. 北京：中国林业出版社，2005.
DENG Mingqin，LEI Jiajun. Flora of China (*Fragaria*)[M]. Beijing：China Forestry Publishing House，2005.

[7] 张运涛，雷家军，赵密珍，张艳璇，王桂霞，钟传飞，常琳琳，宁志怨，孙瑞，王宝刚，李睿，董静，孙健，高用顺，张燕 . 新中国果树科学研究 70 年：草莓[J]. 果树学报，2019，36(10)：1441-1452.
ZHANG Yuntao，LEI Jiajun，ZHAO Mizhen，ZHANG Yanxuan，WANG Guixia，ZHONG Chuanfei，CHANG Linlin，NING Zhiyuan，SUN Rui，WANG Baogang，LI Rui，DONG Jing，SUN Jian，GAO Yongshun，ZHANG Yan. Fruit scientific research in new China in the past 70 years：Strawberry[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(10)：1441-1452.

[8] 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[EB/OL]. (2022-08-10)[2025-02- 27]. https://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm.
Department of Seed Industry，Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Announcement on the First Batch of National Crop and Agricultural Microbial Germplasm Repositories[EB/OL]. (2022-08-10)[2025-02-27]. https://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm.

[9] REED B M，HUMMER K E. Conservation of germplasm of strawberry (*Fragaria* species)[M]//BAJAJ Y P S. Cryopreservation of Plant Germplasm I. Berlin，Heidelberg：Springer Berlin Heidelberg，1995：354-370.

[10] DIAMANTI J，CAPOCASA F，DENOYES B，PETIT A，CHARTIER P，FAEDI W，MALTONI M L，BATTINO M，MEZZETTI B. Standardized method for evaluation of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) germplasm collections as a genetic resource for fruit nutritional compounds[J]. Journal of Food Composition and Analysis，2012，28(2)：170-178.

[11] MEZZETTI B，GIAMPIERI F，ZHANG Y-T，ZHONG C-F. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world[J]. Journal of Berry Research，2018，8(3)：205-221.

[12] CLAVERO I，GALVEZ J，GONZALEZ- BENITO E，SANCHEZ-SEVILLA J F，SORIA C，LOPEZ-ARANDA J M. Strawberry germplasm conservation：The collection at IFAPA- CIFA (málaga，Spain)[J]. Acta Horticulturae，2006(708)：527-530.

[13] OLBRICHT K. *Fragaria* germplasm：The "professor staudt collection"[J]. Acta Horticulturae，2017(1156)：209-214.

[14] USDA，Agricultural Research Service，National Plant Germplasm System. Germplasm Resources Information Network (GRIN Taxonomy) [DB/OL]. Beltsville，Maryland：National Germplasm Resources Laboratory，2024.

[15] 常琳琳，王桂霞，孙瑞，董静，张运涛 . 美国国家草莓种质资源圃介绍[J]. 中国果树，2020(1)：138-140.
CHANG Linlin，WANG Guixia，SUN Rui，DONG Jing，ZHANG Yuntao. Introduction of national field genebank for strawberry germplasm resources in United States[J]. China Fruits，2020(1)：138-140.

[16] 王桂霞，张运涛，董静，张利喜 . 中国草莓育种的回顾和展望[J]. 植物遗传资源学报，2008，9(2)：272-276.
WANG Guixia，ZHANG Yuntao，DONG Jing，ZHANG Lixi. Retrospection and prospect of strawberry breeding in China[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2008，9(2)：272-276.

[17] 常琳琳，董静，钟传飞，孙健，孙瑞，石琨，王桂霞，张运涛 . 中国育成草莓品种的系谱分析[J]. 果树学报，2018，35(2)：158-167.
CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，SUN Jian，SUN Rui，SHI Kun，WANG Guixia，ZHANG Yuntao. Pedigree analysis of strawberry cultivars released in China[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(2)：158-167.

[18] 中华人民共和国农业部 . 农作物种质资源鉴定技术规程 草莓：NY/T 1487—2007[S]. 北京：中国农业出版社，2008.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical code for evaluating germ plasm resources- Strawberry

(*Fragaria* spp.)：NY/T 1487—2007[S]. Beijing：China Agriculture Press，2008.

[19] 中华人民共和国农业部 . 农作物优异种质资源评价规范 草莓：NY/T 2020—2011[S]. 北京：中国农业出版社，2011.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Evaluating standards for elite and rare germplasm resources-Strawberry (*Fragaria* spp.)：NY/T 2020—2011[S]. Beijing：China Agriculture Press，2011.

[20] 中华人民共和国农业部 . 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 草莓：NY/T 2346—2013[S]. 北京：中国农业出版社，2013.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Guidelines for the conduct of tests for distinctness，uniformity and stability—Strawberry：NY/T 2346—2013[S]. Beijing：China Agriculture Press，2013.

[21] 王桂霞，张运涛，董静，张利喜 . 草莓耐贮新品种星都 1 号的选育[J]. 中国果树，2007(6)：6-7.
WANG Guixia，ZHANG Yuntao，DONG Jing，ZHANG Lixi. A new storability strawberry cultivar Xingdu 1[J]. China Fruits，2007(6)：6-7.

[22] 王桂霞，张运涛，董静，张利喜 . 草莓品种‘星都 2 号’[J]. 园艺学报，2007，34(3)：798.
WANG Guixia，ZHANG Yuntao，DONG Jing，ZHANG Lixi. New early ripening strawberry cultivar ‘Xingdu 2’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2007，34(3)：798.

[23] 王桂霞，董静，张运涛，钟传飞，李天忠 . 草莓新品种‘燕香’[J]. 园艺学报，2009，36(9)：1398.
WANG Guixia，DONG Jing，ZHANG Yuntao，ZHONG Chuanfei，LI Tianzhong. New strawberry cultivar ‘Yan Xiang’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2009，36(9)：1398.

[24] 张运涛，王桂霞，董静，钟传飞，张利喜 . 草莓新品种‘天香’[J]. 园艺学报，2009，36(8)：1246.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，ZHANG Lixi. A new strawberry cultivar‘Tianxiang’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2009，36(8)：1246.

[25] 张运涛，王桂霞，董静，钟传飞，王丽娜，常琳琳 . 草莓新品种‘红袖添香’[J]. 园艺学报，2013，40(12)：2533-2534.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Lina，CHANG Linlin. A new strawberry cultivar ‘Hongxiu Tianxiang’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2013，40(12)：2533-2534.

[26] 王桂霞，常琳琳，董静，钟传飞，王丽娜，张运涛 . 草莓新品种‘冬香’的选育[J]. 果树学报，2014，31(1)：161-163.
WANG Guixia，CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Lina，ZHANG Yuntao. A new strawberry cultivar ‘Dong Xiang’[J]. Journal of Fruit Science，2014，31(1)：161-163.

[27] 王桂霞，常琳琳，董静，钟传飞，王丽娜，张运涛 . 草莓新品种京御香的选育[J]. 中国果树，2015(5)：3-4.
WANG Guixia，CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Lina，ZHANG Yuntao. A new strawberry cultivar Jingyuxiang[J]. China Fruits，2015(5)：3-4.

[28] 王桂霞，常琳琳，董静，钟传飞，王丽娜，张运涛 . 草莓新品种‘京醇香’的选育[J]. 果树学报，2016，33(2)：254-256.
WANG Guixia，CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Lina，ZHANG Yuntao. A new strawberry cultivar ‘Jingchunxiang’[J]. Journal of Fruit Science，2016，33(2)：254-256.

[29] 王桂霞，常琳琳，董静，钟传飞，孙健，孙瑞，张宏力，李睿，郑书旗，隗永青，张运涛 . 大果草莓新品种‘京承香’[J]. 园艺学报，2019，46(增刊 2)：2774-2775.
WANG Guixia，CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，SUN Jian，SUN Rui，ZHANG Hongli，LI Rui，ZHENG Shuqi，WEI Yongqing，ZHANG Yuntao. A big strawberry cultivar ‘Jingchengxiang’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2019，46(Suppl. 2)：2774-2775.

[30] 王桂霞，常琳琳，董静，钟传飞，孙健，孙瑞，张宏力，李睿，郑书旗，隗永青，张运涛 . 草莓新品种‘京泉香’的选育[J]. 果树学报，2019，36(6)：822-824.
WANG Guixia，CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，SUN Jian，SUN Rui，ZHANG Hongli，LI Rui，ZHENG Shuqi，WEI Yongqing，ZHANG Yuntao. Breeding report of a new strawberry cultivar ‘Jingquanxiang’[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(6)：822-824.

[31] 董静，常琳琳，王桂霞，钟传飞，隗永青，孙健，孙瑞，张宏力，高用顺，许利平，陶磅，罗志伟，张运涛 . 四季草莓新品种‘静红’[J]. 园艺学报，2022，49(增刊 1)：61-62.
DONG Jing，CHANG Linlin，WANG Guixia，ZHONG Chuanfei，WEI Yongqing，SUN Jian，SUN Rui，ZHANG Hongli，GAO Yongshun，XU Liping，TAO Pang，LUO Zhiwei，ZHANG Yuntao. A new ever-bearing strawberry cultivar ‘Jinghong’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2022，49(Suppl. 1)：61-62.

[32] 董静，钟传飞，王桂霞，常琳琳，隗永青，孙健，孙瑞，张宏力，高用顺，万红，许利平，陈杉艳，张运涛 . 四季草莓新品种京滇红的选育[J]. 果树学报，2022，39(5)：902-904.
DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Guixia，CHANG Linlin，WEI Yongqing，SUN Jian，SUN Rui，ZHANG Hongli，GAO Yongshun，WAN Hong，XU Liping，CHEN Shanyan，ZHANG Yuntao. Breeding report of a new ever-bearing strawberry cultivar Jingdianhong[J]. Journal of Fruit Science，2022，39(5)：902-904.

[33] 董静，孙瑞，隗永青，王桂霞，钟传飞，常琳琳，孙健，张宏力，高用顺，陈杉艳，孙吉茹，陶磅，张运涛 . 四季草莓新品种艳红的选育[J]. 中国果树，2022(2)：84-85.
DONG Jing，SUN Rui，WEI Yongqing，WANG Guixia，ZHONG Chuanfei，CHANG Linlin，SUN Jian，ZHANG Hongli，GAO Yongshun，CHEN Shanyan，SUN Jiru，TAO Pang，ZHANG Yuntao. Breeding of a new strawberry cultivar Yanhong[J]. China Fruits，2022(2)：84-85.

[34] 王桂霞，孙瑞，董静，钟传飞，孙健，张宏力，隗永青，石琨，常琳

琳，张运涛 . 草莓新品种‘京桃香’[J]. 园艺学报，2018，45(6)：1215-1216.
WANG Guixia，SUN Rui，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，SUN Jian，ZHANG Hongli，WEI Yongqing，SHI Kun，CHANG Linlin，ZHANG Yuntao. A new strawberry cultivar ‘Jingtaoxiang’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(6)：1215-1216.

[35] 张运涛，王桂霞，董静，钟传飞，王丽娜，常琳琳 . 草莓新品种‘书香’[J]. 园艺学报，2010，37(9)：1541-1542.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Lina，CHANG Linlin. A new strawberry cultivar ‘Shu Xiang’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2010，37(9)：1541-1542.

[36] 常琳琳，董静，钟传飞，张宏力，隗永青，孙健，孙瑞，石琨，王桂霞，张运涛 . 粉红色草莓新品种‘粉红公主’[J]. 园艺学报，2017，44(7)：1417-1418.
CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，ZHANG Hongli，WEI Yongqing，SUN Jian，SUN Rui，SHI Kun，WANG Guixia，ZHANG Yuntao. A new strawberry cultivar ‘Fenhong Gongzhu’ with pink peel[J]. Acta Horticulturae Sinica，2017，44(7)：1417-1418.

[37] 王桂霞，常琳琳，孙瑞，董静，李双桃，宁志怨，钟传飞，张宏力，隗永青，高用顺，魏灵芝，刘志泰，张运涛，孙健 . 草莓新品种白雪公主的选育[J]. 果树学报，2023，40(11)：2500-2503.
WANG Guixia，CHANG Linlin，SUN Rui，DONG Jing，LI Shuangtao，NING Zhiyuan，ZHONG Chuanfei，ZHANG Hongli，WEI Yongqing，GAO Yongshun，WEI Lingzhi，LIU Zhitai，ZHANG Yuntao，SUN Jian. Breeding report of a new strawberry cultivar Snow Princess[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(11)：2500-2503.

[38] 张运涛，王桂霞，常琳琳，董静，钟传飞，王丽娜 . 草莓新品种‘京藏香’的选育[C]//中国园艺学会草莓分会 . 草莓研究进展(IV). 北京：中国农业出版社，2015：3-6.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，CHANG Linlin，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Lina. A new strawberry cultivar ‘Jing Zangxiang’[C]//Strawberry Branch of the Chinese Society for Horticultural Science. Advances in Strawberry Research (IV). Beijing：China Agriculture Press，2015：3-6.

[39] 孙瑞，王桂霞，常琳琳，孙健，董静，钟传飞，石琨，张运涛 . 草莓分子标记技术发展与应用[J]. 农业生物技术学报，2018，26(9)：1588-1600.
SUN Rui，WANG Guixia，CHANG Linlin，SUN Jian，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，SHI Kun，ZHANG Yuntao. Development and application of molecular marker technique in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*)[J]. Journal of Agricultural Biotechnology，2018，26(9)：1588-1600.

[40] 董静，张运涛，王桂霞，金万梅，钟传飞，王丽娜，常琳琳 . 五叶草莓与凤梨草莓种间杂交 F_1 代的形态学及 SSR 标记鉴定[J]. 西北农业学报，2010，19(11)：145-148.
DONG Jing，ZHANG Yuntao，WANG Guixia，JIN Wanmei，ZHONG Chuanfei，WANG Lina，CHANG Linlin. Identification of F_1 interspecies hybrids between *Fragaria pentaphylla* and *F. ananassa* by morphological and SSR markers[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica，2010，19(11)：145-148.

[41] 成智，李迎梅，隗永青，张宏力，张运涛，王桂霞，钟传飞，常琳琳，高用顺，孙瑞，魏灵芝，李双桃，孙健，董静 . 凤梨草莓与森林草莓种间杂种鉴定及果实挥发性成分检测[J/OL]. 西北农业学报，2025：1-9.(2024-11-28). https://link.cnki.net/urlid/61.1220.S.20241128.0935.002.
CHENG Zhi，LI Yingmei，WEI Yongqing，ZHANG Hongli，ZHANG Yuntao，WANG Guixia，ZHONG Chuanfei，CHANG Linlin，GAO Yongshun，SUN Rui，WEI Lingzhi，LI Shuangtao，SUN Jian，DONG Jing. Identification of interspecific hybrids of *Fragaria* × *ananassa* and *F. vesca* and detection of fruit volatiles[J/OL]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica，2025：1-9. (2024-11-28). https://link.cnki.net/urlid/61.1220.S.20241128.0935.002.

[42] SUN J，SUN R，LIU H B，CHANG L L，LI S T，ZHAO M Z，SHENNAN C，LEI J J，DONG J，ZHONG C F，XUE L，GAO Y S，WANG G X，ZHANG Y T. Complete chloroplast genome sequencing of ten wild *Fragaria* species in China provides evidence for phylogenetic evolution of *Fragaria*[J]. Genomics，2021，113(3)：1170-1179.

[43] SUN R，LI S T，CHANG L L，DONG J，ZHONG C F，ZHANG H L，WEI L Z，GAO Y S，WANG G X，ZHANG Y T，SUN J. Chromosome-level genome assembly of *Fragaria pentaphylla* using PacBio and Hi-C technologies[J]. Frontiers in Genetics，2022，13：873711.

[44] 张运涛，王桂霞，董静，周慧轶，孔瑾，韩振海 . ‘星都 1 号’和‘星都 2 号’草莓及其亲本果实挥发性物质的分析[J]. 中国农业科学，2008，41(10)：3208-3213.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，DONG Jing，ZHOU Huiyi，KONG Jin，HAN Zhenhai. Analysis of volatile components in strawberry cultivars ‘Xingdu 1’ and ‘Xingdu 2’ and their parents[J]. Scientia Agricultura Sinica，2008，41(10)：3208-3213.

[45] 张运涛，王桂霞，董静，钟传飞，常琳琳，王丽娜 . 26 个中国草莓品种（品系）果实挥发性物质的分析[C]//中国园艺学会草莓分会 . 草莓研究进展(三). 北京：中国农业出版社，2009：3-9.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，CHANG Linlin，WANG Lina. The analysis of volatile compounds in 26 Chinese strawberry cultivars (strains)[C]//Strawberry Branch of the Chinese Society for Horticultural Science. Advances in Strawberry Research Ⅲ. Beijing：China Agriculture Press，2009：3-9.

[46] 张运涛，王桂霞，董静，钟传飞，常琳琳，王丽娜 . 33 个欧美草莓品种果实挥发性物质的分析[J]. 果树学报，2011，28(3)：438-442.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，DONG Jing，ZHONG Chuanfei，CHANG Linlin，WANG Lina. Analysis of volatile compounds in 33 euramerican strawberry cultivars[J]. Journal of Fruit Science，2011，28(3)：438-442.

[47] 张运涛，王桂霞，董静，常琳琳，钟传飞，王丽娜 . 15 个日本草莓品种果实挥发性物质的分析[C]//中国园艺学会草莓分会 . 草莓研究进展(IV). 北京：中国农业出版社，2015：105-110.
ZHANG Yuntao，WANG Guixia，DONG Jing，CHANG Linlin，ZHONG Chuanfei，WANG Lina. Analysis of volatile compounds in 15 Japanese strawberry cultivars[C]//Strawberry Branch of the Chinese Society for Horticultural Science. Advances in Strawberry Research (IV). Beijing：China Agriculture Press，2015：105-110.

[48] 王娟，孙瑞，王桂霞，常琳琳，孙健，钟传飞，董静，张运涛，ULRICH D. 8 个草莓品种（系）果实特征香气成分比较分析[J]. 果树学报，2018，35(8)：967-976.
WANG Juan，SUN Rui，WANG Guixia，CHANG Linlin，SUN Jian，ZHONG Chuanfei，DONG Jing，ZHANG Yuntao，ULRICH D. A comparative analysis on fruit characteristic aroma compounds in eight strawberry varieties (strains)[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(8)：967-976.

[49] 董静，钟传飞，王桂霞，常琳琳，孙健，孙瑞，张宏力，李睿，隗永青，郑书旗，张运涛 . 日中性草莓不同季节果实挥发性成分差异[J]. 中国农业科学，2019，52(13)：2309-2327.
DONG Jing，ZHONG Chuanfei，WANG Guixia，CHANG Linlin，SUN Jian，SUN Rui，ZHANG Hongli，LI Rui，WEI Yongqing，ZHENG Shuqi，ZHANG Yuntao. Comparative study on fruit volatiles of different day-neutral strawberry cultivars in autumn and winter[J]. Scientia Agricultura Sinica，2019，52(13)：2309-2327.

[50] DONG J，ZHANG Y T，TANG X W，JIN W M，HAN Z H. Differences in volatile ester composition between *Fragaria* × *ananassa* and *F. vesca* and implications for strawberry aroma patterns[J]. Scientia Horticulturae，2013，150：47-53.

[51] WANG G X，CHANG L L，ZHANG L X，DONG J，ZHONG C F，WANG L N，ZHANG Y T. Preliminary study on the inheritance of volatile organic compounds in 40 F_1 hybrid strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) progeny from a ‘Camarosa’ (♀) × ‘Benihoppe’ (♂) cross[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology，2014，89(3)：307-311.

[52] CHANG L L，ZHANG Y T，WANG G X，DONG J，ZHONG C F，WANG L N，LI T H. The effects of exogenous methyl jasmonate on *FaNES1* gene expression and the biosynthesis of volatile terpenes in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology，2013，88(4)：393-398.

[53] 董静，王桂霞，钟传飞，常琳琳，孙健，张宏力，孙瑞，石琨，隗永青，张运涛 . 森林草莓醇酰基转移酶基因 *FvAATW2* 功能研究[J]. 园艺学报，2018，45(1)：41-50.
DONG Jing，WANG Guixia，ZHONG Chuanfei，CHANG Linlin，SUN Jian，ZHANG Hongli，SUN Rui，SHI Kun，WEI Yongqing，ZHANG Yuntao. Studying function of alcohol acyltransferase gene *FvAATW2* of *Fragaria vesca* by over-expressing in tobacco and cultivated strawberry[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(1)：41-50.

[54] LIU H B，WEI L Z，NI Y，CHANG L L，DONG J，ZHONG C F，SUN R，LI S T，XIONG R，WANG G X，SUN J，ZHANG Y T，GAO Y S. Genome-wide analysis of ascorbic acid metabolism related genes in *Fragaria* × *ananassa* and its expression pattern analysis in strawberry fruits[J]. Frontiers in Plant Science，2022，13：954505.

[55] WEI L Z，LIU H B，NI Y，DONG J，ZHONG C F，SUN R，LI S T，XIONG R，WANG G X，SUN J，ZHANG Y T，CHANG L L，GAO Y S. FaAKR23 modulates ascorbic acid and anthocyanin accumulation in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) fruits[J]. Antioxidants，2022，11(9)：1828.

[56] WEI L Z，LIU H B，NI Y，XIONG R，LI S T，SUN R，WEI Y Q，ZHANG H L，DONG J，CHANG L L，ZHONG C F，ZHANG Y T，SUN J，WANG G X，GAO Y S. Integrative analysis of metabolome and transcriptome reveals new insights into major quality formation and regulation in two strawberry cultivars with different fruit flavor[J]. Vegetable Research，2024，4(1)：e012.

[57] LI S T，CHANG L L，SUN R，DONG J，ZHONG C F，GAO Y S，ZHANG H L，WEI L Z，WEI Y Q，ZHANG Y T，WANG G X，SUN J. Combined transcriptomic and metabolomic analysis reveals a role for adenosine triphosphate-binding cassette transporters and cell wall remodeling in response to salt stress in strawberry[J]. Frontiers in Plant Science，2022，13：996765.

[58] LI S T，WANG G X，CHANG L L，SUN R，WU R S，ZHONG C F，GAO Y S，ZHANG H L，WEI L Z，WEI Y Q，ZHANG Y T，DONG J，SUN J. Genome-wide identification，characterization，and expression analysis of tubby-like protein (TLP) gene family members in woodland strawberry (*Fragaria vesca*)[J]. International Journal of Molecular Sciences，2022，23(19)：11961.

[59] LI M F，YANG Y，RAZA A，YIN S S，WANG H，ZHANG Y T，DONG J，WANG G X，ZHONG C F，ZHANG H，LIU J S，JIN W M. Heterologous expression of *Arabidopsis thaliana* rty gene in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) improves drought tolerance[J]. BMC Plant Biology，2021，21(1)：57.