果 树 学 报 2025,42(6):1244-1251
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250013

苹果杂交育种成本分析

杨颖颖,于 萌,杨 静,赵政阳,杨亚州*

(西北农林科技大学园艺学院,陕西杨凌 712100)

摘 要:【目的】结合苹果杂交育种实践,统计育种过程中的各项费用支出,为降低育种成本、提高育种效率提供参考依据。**【方法】**涵盖杂交种子获得、温室育苗、实生苗培育、嫁接后优系筛选四个阶段,分别从劳务费、材料费、土地使用费三种类型,对杂交育种从授粉到选出优系的费用支出做出统计。**【结果】**在杂交规模10 000株的情况下,平均单株成本约为122.2元。杂交种子获得阶段的费用支出占总支出的0.7%、温室育苗阶段占0.9%、实生苗培育阶段占3.2%、嫁接后优系筛选阶段占95.2%。在不同支出类型中,劳务费占比49.9%,材料费和土地使用费分别占37.9%和12.2%。**【结论】**在杂交育种的不同阶段中,嫁接后优系筛选阶段的成本最高;在不同支出类型中,劳务费的支出最大。

关键词:苹果;杂交育种;成本分析

中图分类号:S661.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2025)06-1244-08

Cost analysis of apple hybrid breeding

YANG Yingying, YU Meng, YANG Jing, ZHAO Zhengyang, YANG Yazhou*

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract:【Objective】This study is based on the practice of apple hybrid breeding, in which the various expenses incurred during the breeding process were statistically analyzed. By organizing the expenses at different stages and of different types during the apple hybrid breeding process, this research aims to provide a statistical overview of the costs associated with the process from hybrid pollination to the selection of superior lines, with the intention to offer a reference for optimizing breeding procedures, reducing breeding costs, and improving breeding efficiency.【Methods】A statistical analysis of the expenses incurred from pollination to the selection of superior lines in hybrid breeding is conducted. The overall process of apple hybrid breeding includes hybrid pollination, obtaining hybrid seeds, sand stratification storage, sowing, greenhouse seedling cultivation, field transplantation, management of seedlings, preparation of scions and dwarf rootstocks, grafting, management of the selection nursery, evaluation of hybrid offspring and selection of superior lines, final selection, regional trials, and variety approval. This study integrates the breeding process with the practical breeding activities of the research group, dividing the process from hybrid pollination to the selection of superior lines into four stages: the stage of obtaining hybrid seeds, the greenhouse seedling stage, the seedling stage, and the superior line selection stage after grafting. Additionally, expenses related to labor, materials, and land use are analyzed to calculate the costs of hybrid breeding at different stages and types based on the expenditures from apple hybrid pollination to the selection of superior lines.【Results】Among different stages, the first stage is the hybrid seed acquisition stage, which lasts from April of the first year to January of the second year, encompassing the process from hybrid pollination to seed acquisition, prior to seed stratification storage. The second stage is the greenhouse seedling stage, occurring from January to April of the second year, which includes the greenhouse seedling process from seed storage until the planting of

收稿日期:2025-01-21 **接受日期:**2025-02-27

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-27);陕西省科技重大专项(2020zdzx03-01-03)

作者简介:杨颖颖,女,在读硕士研究生,研究方向为苹果遗传育种。E-mail:yyy17686260569@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:yangyz@nwafu.edu.cn

seedlings. A total of 12 500 hybrid seeds are sown in plug trays and placed in the greenhouse for cultivation. The third stage is the seedling stage, from April of the second year to August of the third year, which includes the process from field transplanting to the acquisition of scions. This primarily involves completing field transplanting of seedlings, field management, and the collection and sorting of scions. The fourth stage is the selection of superior lines after grafting, from August of the third year to December of the eighth year, which includes the planting of rootstock seedlings, grafting of hybrid seedlings, management of hybrid offspring, investigation and evaluation of fruit traits of hybrid offspring, and the selection of superior lines. The work involved in the hybrid seed acquisition stage, from hybrid pollination to the selection of superior lines, includes pollen preparation, hybrid pollination, management and harvesting of hybrid fruits, and extraction of hybrid seeds, with costs for this stage accounting for approximately 0.7% of total expenditures. The main tasks in the greenhouse seedling stage include seed storage, sowing, and seedling management, with expenditures for this stage accounting for 0.9%. The seedling stage includes field transplanting, management, and collection of scions, which requires significant labor input for various breeding tasks, resulting in a higher number of hired workers, with expenditures for this stage accounting for 3.2% of total costs. The selection of superior lines after grafting involves planting rootstock seedlings, grafting, and managing hybrid offspring, with this stage having the highest costs, accounting for as much as 95.2% of total costs. In different categories, statistics are conducted on three types of expenditures: labor costs, material costs, and land use fees, analyzing the breeding costs from hybrid pollination to the selection of superior lines. Among these, labor costs primarily consist of labor expenditures and the salaries of technical personnel. Material costs include expenses for rootstock seedlings, agricultural inputs, and field machinery usage fees. Land costs encompass the usage and maintenance fees of greenhouses as well as land rental fees. In the hybrid breeding process from pollination to the selection of superior lines, labor costs account for the largest expenditure, reaching a proportion of 49.9%. This is followed by material costs, which account for 37.9%, while land use fees are relatively lower, making up 12.2%. Furthermore, in the case of a hybrid scale of 10 000 plants, the average cost per plant from pollination to the selection of superior lines is approximately 122.2 yuan. 【Conclusion】The total cost from hybrid pollination to selecting superior lines in hybrid breeding is 1 221 973.5 yuan, with an average cost of 122.2 yuan per plant. Among the different breeding stages, the cost of selecting superior lines after grafting is the highest, making up a significant portion at 95.2%; the costs for the seedling stage, obtaining hybrid seeds, and greenhouse seedling stage are lower, accounting for 3.2%, 0.7%, and 0.9% respectively. In terms of different types of expenses, labor costs are the highest, reaching 55.3%, while material costs and land use fees account for 33.9% and 10.8% of the breeding costs respectively.

Key words: Apple; Hybrid breeding; Cost analysis

苹果是中国重要的栽培果树之一，其栽培面积、产量均占世界的50%以上[1]。目前，国内外对苹果的市场需求日益多元化，培育出优质新品种尤为重要。苹果育种在世界各国果树研究工作中不断加强[2]，因此育种成本的研究有助于降低生产成本、提升中国国际竞争力，同时也有助于优化资源配置，满足市场对高品质品种的需求。杂交育种是苹果最主要的育种方式[3]，中国选育出的苹果新品种半数以上为常规杂交选育品种[4-5]。杂交育种相较于芽变选种，具有一次杂交实现多个性状同步改良的突出特点[6]。通过杂交育种可以选育出综合性状优良、符合育种目标、杂种优势强的新品种[7-8]。

近年来，为了培育出综合性状更加优良的苹果新品种，杂交育种规模不断扩大。陈学森等[3]认为，要实现基本的育种目标，育成有特色的世界性苹果“大品种”，杂交组合后代的实生苗群体至少要有

3000株。笔者课题组按照“大群体”的育种思路，从秦冠×富士、秦富1号×粉红女士杂交组合中，选育出优质晚熟苹果新品种瑞阳[9]、瑞雪[10]、瑞香红[11]等。然而，育种规模的扩大需要大量的人工，现阶段存在专业技术人员缺乏、果农年龄结构老化、劳动力短缺且成本高昂的现象[12]，所以育种过程中高昂的劳动力成本不容忽视。苹果杂交育种规模大、周期长[13-14]，加之劳动力成本持续升高[15-16]，导致育种成本高昂。因此，如何降低苹果杂交育种成本、提高育种效率是急需解决的问题。

本研究中结合笔者课题组育种实践，对杂交种子获得阶段、温室育苗阶段、实生苗培育阶段、嫁接后优系筛选阶段的劳务费、材料费、土地使用费等支出进行统计，以期通过分析不同育种阶段、不同支出类型的育种成本，为优化育种程序、降低育种成本、提高育种效率提供参考依据。因为不同育种者在复选阶段筛选出供测优系的数量有所不同，导致决选、区试阶段的规模也不同，且存在部分优系不经过决选阶段的情况，如秦脆、中苹优蕾、华蜜、瑞雪、瑞阳等，故本研究中只对杂交授粉到筛选出优系过程的育种成本做出统计，整个育种过程中科研人员的投入不做统计。此外，由于决选、区试阶段的栽培管理与生产园的一致，故这两个阶段的育种成本可以参照生产园的成本进行计算。

1 材料和方法

1.1 试验材料

本试验在陕西省渭南市西北农林科技大学白水苹果试验站完成。以富士为核心亲本，秦冠、嘎拉、粉红女士和金冠为骨干亲本配置杂交组合开展育种工作，按照杂交后代群体为10 000株的规模杂交，将杂交后代嫁接于M26自根砧上，按一般果园管理方法进行管理。杂交育种过程中各阶段栽植密度分别为：实生苗培育阶段株距0.3 m，宽行0.8 m，窄行0.4 m；嫁接后优系筛选阶段植株按照0.5 m×3.0 m株行距定植。

1.2 方法

在西北农林科技大学白水苹果试验站进行杂交育种，对育种过程中的杂交种子获得阶段、温室育苗阶段、实生苗培育阶段、嫁接后优系筛选阶段这四个阶段的费用支出做出统计，并对不同支出类型做出统计。成本依照陕西省渭南市白水县2023—2024年雇工、材料、土地租赁的市场价格来计算，以元为单位。雇工人数按照工作量及可用工人的实际情况进行动态调整，劳务费按每人120元•天$^{-1}$计；材料费中机械维修、折旧费用和厂房、道路等其他公共设施费用等不计在内；土地为租赁土地，土地使用费按照1000元•666.7 m^{-2}•年$^{-1}$为标准；杂交育种全过程中科研人员的投入不做统计。

苹果从杂交授粉到筛选出优系过程的各阶段育种成本、总成本、单株成本计算公式为：

各阶段育种成本=劳务费+材料费+土地使用费；

总成本=杂交种子获得阶段育种成本+温室育苗阶段育种成本+实生苗培育阶段育种成本+嫁接后优系筛选阶段育种成本；

单株成本=总成本/10 000株。

2 结果与分析

2.1 育种流程

杂交育种选育苹果新品种的一般流程包括杂种实生苗的初选、复选、决选和区域试验[17]。由图1可知，苹果杂交育种的整个流程包括杂交授粉、获得杂交种子、层积处理、播种、温室育苗、大田移栽、实生苗管理、接穗与矮化砧的准备、嫁接、复选圃管理、杂种后代的评价与优系筛选、决选、区域试验和品种审定等。

将杂交授粉到筛选出优系的过程分为四个阶段。第一阶段是杂交种子获得阶段，时间为第1年4月至第2年1月，包括从杂交授粉到获得种子，种子层积处理之前的过程。杂交授粉后获得12 500粒杂交种子（按80%成苗率，获得10 000株杂种实生苗）。第二阶段是温室育苗阶段，时间为第2年1—4月，包括从种子层积处理直至实生苗定植之前的温室育苗过程。播种12 500粒杂交种子于穴盘，置于温室培养。第三阶段是实生苗培育阶段，时间为第2年4月至第3年8月，包括从大田移栽开始到得到接穗的过程。主要是完成实生苗大田移栽、田间管理、接穗的采集、整理等工作。第四阶段是嫁接后优系筛选阶段，时间为第3年8月至第8年12月，包括砧木苗的栽植、杂交苗嫁接、杂交后代的管理、杂种后代果实性状调查、评价和优系筛选工作。

2.2 杂交育种各阶段成本分析

对苹果杂交育种过程中杂交种子获得阶段、温

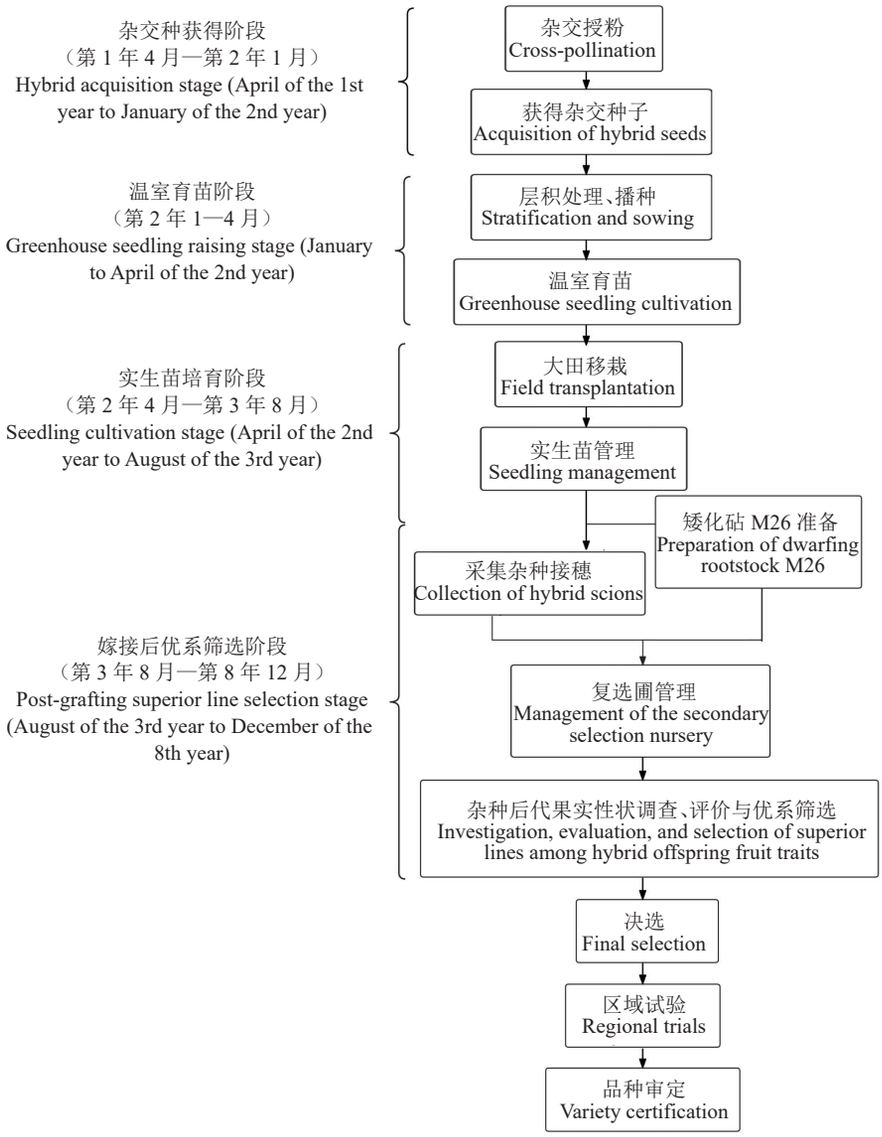

图1　苹果杂交育种流程

Fig. 1　Flowchart of crossbreeding for apple

室育苗阶段、实生苗培育阶段、嫁接后优系筛选阶段的劳务费、材料费、土地使用费的支出进行统计分析。由表1可知，在杂交规模10 000株的情况下，育种总成本为1 221 973.5元，平均单株成本约

表1　苹果杂交育种过程成本分析

Table 1　Cost analysis of apple crossbreeding process　（元 Yuan）

阶段 Stage	时间 Time	劳务费 Labor Cost	材料费 Material Cost	土地使用费 Land Use Fee	合计 Total
杂交种子获得阶段 Hybrid acquisition stage	第1年4月—第2年1月 April of the 1st year to January of the 2nd year	1620	3255.5	0	4875.5
温室育苗阶段 Greenhouse seedling raising stage	第2年1月—4月 January to April of the 2nd year	3120	2960.0	5000	11 080.0
实生苗培育阶段 Seedling cultivation stage	第2年4月—第3年8月 April of the 2nd year to August of the 3rd year	27 600	8153.0	6000	41 753.0
嫁接后优系筛选阶段 Post-grafting superior line selection stage	第3年8月—第8年12月 August of the 3rd year to December of the 8th year	577 440	448 825.0	138 000	1 164 265.0
合计 Total		609 780	463 193.5	149 000	1 221 973.5

为122.2元。综合各阶段、各类型的费用支出来看，嫁接后优系筛选阶段成本最高，实生苗培育阶段、温室育苗阶段、杂交种子获得阶段的成本均较低。

2.2.1 杂交种子获得阶段 杂交种子获得阶段工作包括花粉制备、杂交授粉、杂交果的管理及采收、杂交种子的剥取。根据以往统计结果，单个富士果实平均含有7粒种子，温室播种条件下种子成苗率可以超过80%。以此标准，为获得10 000株杂交杂种实生苗，约需1785个杂交果实。该阶段的人工成本包括杂交授粉、杂交果采摘和剥取种子的费用。材料费涵盖了杂交授粉时用的果袋、标签等物品，以及杂交果的相关支出，杂交果按购买同等数量商品果的价值计算。综合来看，该阶段费用约占总支出的0.7%（图2）。

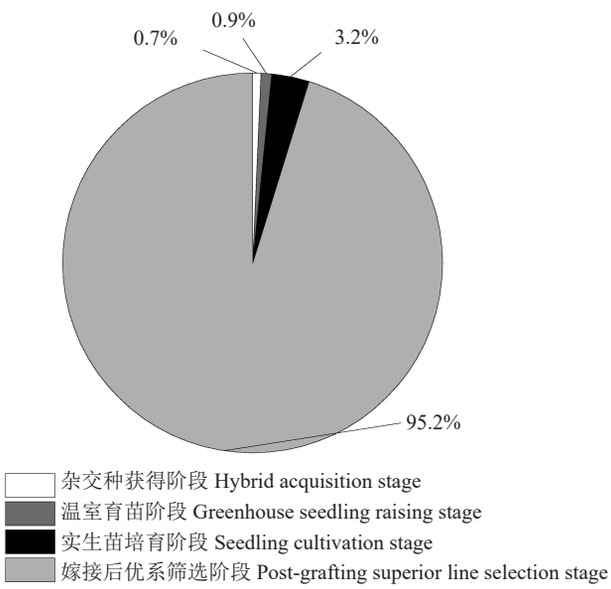

图2 苹果杂交育种各阶段费用占比

Fig. 2 Percentage of costs in each stage of apple hybrid breeding

2.2.2 温室育苗阶段 温室育苗阶段主要工作是种子层积处理、播种、幼苗管理。为了提高种子发芽率和幼苗成活率，采用穴盘育苗技术，将层积处理后得到的12 500粒杂交种子播种于50孔•盘$^{-1}$的穴盘中，置于温室中进行培养。该阶段劳务费包括种子层积处理、播种和幼苗管理期的劳务用工费用。材料费主要用于层积处理需要的物品，播种用的基质、穴盘、农药、地膜等农资。此外，还包括温室使用与维护费用。该阶段支出约占总支出的0.9%（图2）。

2.2.3 实生苗培育阶段 实生苗培育阶段包括实生苗的大田移栽、管理和接穗采集等工作。植株定植密度按照株距0.3 m，宽行0.8 m，窄行0.4 m的标准，每株所占面积为0.18 m^2，10 000株栽植约需租赁2 000.1 m^{2}土地，租赁2 a（年）。该阶段劳务费包括移栽前的土地处理、植株移栽、实生苗管理、采集接穗等过程所需的雇工费用支出。材料费包括栽植所用肥料、农药、地膜、滴灌带、水泵等农资，以及水电费支出。土地租赁费按照租赁面积2 000.1 m^2，租赁时间2 a，1000元•666.7 m^{-2}•年$^{-1}$的标准计算。综合来看，由于该阶段田间工作量大，雇工较多，劳动力成本投入较大。该阶段支出占总成本的3.2%（图2）。

2.2.4 嫁接后优系筛选阶段 嫁接后优系筛选阶段包括栽植砧木苗、嫁接、管理杂交后代等工作。砧木栽植规模按照株距0.5 m，行距3 m定植，每株所占面积为1.5 m^2，10 000株栽植约需租赁15 334.11 m^{2}土地。杂交育种过程中从播种到嫁接后这一段时期的育种成本以市场自根砧苗木2倍的价格作为参考依据。复选圃10 000株杂交后代按照生产上常规果园的管理方式管理5~6 a，其人工管理成本按照生产园所需人工成本计算。此外，优系评价过程科研人员的投入不做统计。该阶段的劳务费包括土地处理、砧木栽植、杂交后代管理等雇工费用支出。材料费主要包括农资物品，肥水灌溉系统，以及支架系统的费用支出。土地租赁费用按照租赁15 334.11 m^{2}土地，6 a，1000元•666.7 m^{-2}•年$^{-1}$的市场价格计算。综合来看，该阶段成本最高，占总成本的比例高达95.2%（图2）。

2.3 成本组成分析

对劳务费、材料费、土地使用费三种支出类型进行统计，分析从杂交授粉到选出优系过程的育种成本。其中，劳务费主要以劳务支出为主，按每人120元•天$^{-1}$计算，不包含科研技术人员工资。材料费包括砧木苗的费用支出、农资费用以及田间机械使用费等。土地成本包括温室的使用、维护费用以及土地的租赁费用。由图3可知，在杂交授粉到选出优系的杂交育种过程中，劳务费支出最大，所占比例达到49.9%，其次为材料费，所占比例为37.9%，土地使用费支出相对较少，占12.2%。

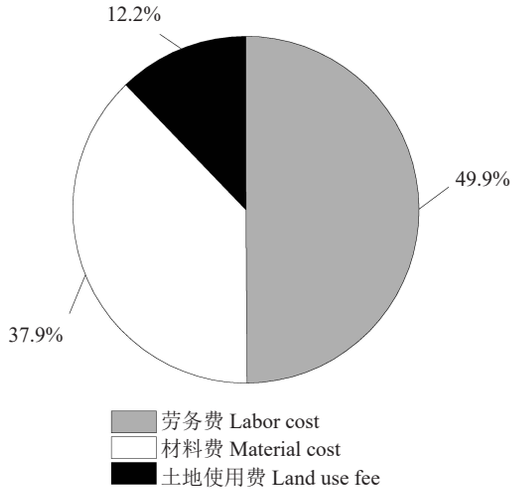

图3　苹果杂交育种中各类型费用占比

Fig. 3　Proportion of expenses by type of apple hybrid breeding

3　讨　论

苹果杂交育种复选阶段，不同育种单位资源条件、筛选标准有所不同，筛选出供测优系的数量不同，导致后续决选、区试阶段的规模具有一定的差异。供测优系数量多，需要的试验场地规模大、人力物力投入多；供测优系数量少，相应的后续阶段规模也较小、人力物力投入也较少。除此之外，育种者可根据优系的特性灵活调整育种策略。瑞香红、冀苹5号、秦月、华苹、苏帅等是经过决选阶段选育出的苹果新品种，而瑞雪、瑞阳、秦脆、华露、龙艳、中苹优蕾、华优甜娃、华蜜、满红等新品种均未经过决选阶段。育种策略的不同，为杂交育种的成本统计带来了复杂性。基于此，本研究中仅对杂交授粉到筛选出优系的这一过程产生的费用支出进行统计分析。此外，在决选和区试阶段，由于其栽培管理模式与生产园的基本一致，这为育种成本的估算提供了便利。为保证成本估算的合理性和可行性，这两个阶段的育种成本可以参照生产园的成本进行计算。

经济发展水平的不断提升，一定程度上促进了农资、土地、劳动力价格的上升，成本随之上涨[18]。在诸多成本构成要素中，人工成本增加迅速，呈逐年增长的趋势。晏百荣[19]的研究表明苹果生产成本逐年上涨，且劳动力成本在生产成本中比重不断增加，而本研究发现在苹果育种中劳动力成本占总成本的比例最大，两者均表明劳动力成本问题极为突出。所以降低人工成本是控制育种成本的关键。采用轻简化、机械化和自动化的栽培模式，可简化果园管理技术环节和提升果园管理技术水平，增强果园机械化程度[20-21]。此外，政府针对性地推行补贴政策，大力推广机械化技术在育种流程中的应用，均可降低劳动力成本，达到节本增效的目的。

苹果育种是一项长年限、高投入的工作。本研究在苹果从杂交授粉到选出优系过程产生的育种成本的分析中，得出嫁接后优系筛选阶段成本最高，占绝大比重的结论。在确保筛选出的优系果实品质与数量可观的前提下，适当缩短杂交后代果实评价筛选的年限，理论上能够减少育种成本，但其对育种效率的影响还有待考虑。随着苹果基因组测序的完成，分子生物学研究进展迅速，分子育种技术为苹果遗传研究和育种工作提供了有力工具[4]。现已开发出许多标记用于在苹果目标性状的选择，所以可通过标记辅助选择等方法在苗期针对目标性状进行提前筛选，有助于有效缩短育种年限、降低成本[22]，对提升苹果育种效率具有一定的促进作用。

在本研究中，因科研人员投入涉及人力、知识技术等多方面，人员的专业能力、工作效率与投入时间也有差异，量化难度大，故未将其纳入育种成本的统计范围。但这在一定程度上可能低估了苹果杂交育种过程中实际的育种成本，并影响到成本分析的准确性。因此，对于科研人员的投入是否应该统计在育种成本内，或者如何量化其投入是今后需要讨论的问题。以本研究中涉及的杂交育种流程为例，在果实成熟阶段，至少需要3名科研人员连续3 a进行细致的综合评价工作。每年的7、8、9、10月连续4个月里，科研人员需全身心投入果实品鉴、评价工作，从果实外观、质地、风味等多个维度进行专业评价，为优系筛选提供关键依据。此外，每年还至少需要3名科研人员投入两个月时间，负责其他的田间栽培管理工作，包括果园病虫害防治、土肥水管理、整形修剪等，这些工作虽未在成本统计中体现，但充分体现了科研人员在育种工作中的不可或缺性。

4　结　论

苹果从杂交授粉到筛选出优系的育种过程中，育种总成本1 221 973.5元，平均单株成本约为122.2元。嫁接后优系筛选阶段的成本最高，占总成本的

95.2%，其中劳务费为主要支出类型（49.9%）。因此优化该阶段的管理是降低总成本的关键。

参考文献 References：

[1] 陈学森，王楠，彭福田，毛志泉，尹承苗，姜远茂，葛顺峰，胡大刚，李媛媛，杜远鹏，姚玉新，张宗营. 中国重要落叶果树果实品质和熟期育种研究进展[J]. 园艺学报，2024，51(1)：8-26.
CHEN Xuesen，WANG Nan，PENG Futian，MAO Zhiquan，YIN Chengmiao，JIANG Yuanmao，GE Shunfeng，HU Dagang，LI Yuanyuan，DU Yuanpeng，YAO Yuxin，ZHANG Zongying. Advances in quality and maturity breeding of important deciduous fruit trees in China[J]. Acta Horticulturae Sinica，2024，51(1)：8-26.

[2] 王宇霖. 关于我国苹果育种研究工作的几点想法[J]. 果树学报，2008，25(4)：559-565.
WANG Yulin. Some ideas about the apple breeding in China[J]. Journal of Fruit Science，2008，25(4)：559-565.

[3] 陈学森，韩明玉，苏桂林，刘凤之，过国南，姜远茂，毛志泉，彭福田，束怀瑞. 当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见[J]. 果树学报，2010，27(4)：598-604.
CHEN Xuesen，HAN Mingyu，SU Guilin，LIU Fengzhi，GUO Guonan，JIANG Yuanmao，MAO Zhiquan，PENG Futian，SHU Huairui. Discussion on today's world apple industry trends and the suggestions on sustainable and efficient development of apple industry in China[J]. Journal of Fruit Science，2010，27(4)：598-604.

[4] 丛佩华，张彩霞，韩晓蕾，田义，张利义，李武兴. 我国苹果育种研究现状及展望[J]. 中国果树，2018(6)：1-5.
CONG Peihua，ZHANG Caixia，HAN Xiaolei，TIAN Yi，ZHANG Liyi，LI Wuxing. Current research situation and prospect of apple breeding in China[J]. China Fruits，2018(6)：1-5.

[5] 王爱玲，田时敏，梁哲军，张战备. 我国苹果育种的研究现状及展望[J]. 中国果菜，2020，40(12)：60-62.
WANG Ailing，TIAN Shimin，LIANG Zhejun，ZHANG Zhanbei. Research status and prospect of apple breeding in China[J]. China Fruit & Vegetable，2020，40(12)：60-62.

[6] 王力荣，吴金龙. 中国果树种质资源研究与新品种选育70年[J]. 园艺学报，2021，48(4)：749-758.
WANG Lirong，WU Jinlong. Review for the research of fruit tree germplasm and breeding of new varieties in the past seven decades in China[J]. Acta Horticulturae Sinica，2021，48(4)：749-758.

[7] 陈学森，王楠，张宗营，毛志泉，尹成苗. 关于果树种质资源与遗传育种若干问题的理解与思考[J]. 中国农业科学，2022，55(17)：3395-3410.
CHEN Xuesen，WANG Nan，ZHANG Zongying，MAO Zhiquan，YIN Chengmiao. Understanding and thinking about some problems of fruit tree germplasm resources and genetic breeding[J]. Scientia Agricultura Sinica，2022，55(17)：3395-3410.

[8] 陈学森，王楠，张宗营，毛志泉，姜远茂，胡大刚，李媛媛，姜召涛，徐月华. 果树科技面向国家重大需求V：科技支撑水果盘子牢牢端在中国人手中[J]. 中国果树，2023(5)：1-4.
CHEN Xuesen，WANG Nan，ZHANG Zongying，MAO Zhiquan，JIANG Yuanmao，HU Dagang，LI Yuanyuan，JIANG Zhaotao，XU Yuehua. Fruit tree technology facing major national demand V：Science and technology support fruit plate firmly in Chinese hands[J]. China Fruits，2023(5)：1-4.

[9] 王雷存，赵政阳，高华，杨亚州，刘振中，武月妮，张伯虎，党智宏. 晚熟苹果新品种'瑞阳'[J]. 园艺学报，2015，42(10)：2083-2084.
WANG Leicun，ZHAO Zhengyang，GAO Hua，YANG Yazhou，LIU Zhenzhong，WU Yueni，ZHANG Bohu，DANG Zhihong. A new late-ripening apple cultivar 'Ruiyang'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2015，42(10)：2083-2084.

[10] 高华，赵政阳，王雷存，刘振中，武月妮，杨亚州，张伯虎. 苹果新品种'瑞雪'的选育[J]. 果树学报，2016，33(3)：374-377.
GAO Hua，ZHAO Zhengyang，WANG Leicun，LIU Zhenzhong，WU Yueni，YANG Yazhou，ZHANG Bohu. Breeding report of a new apple cultivar 'Ruixue'[J]. Journal of Fruit Science，2016，33(3)：374-377.

[11] 杨亚州，赵政阳，高华，王雷存，刘振中，武月妮，杨惠娟，孙鲁龙. 晚熟苹果新品种'瑞香红'[J]. 园艺学报，2021，48(3)：609-610.
YANG Yazhou，ZHAO Zhengyang，GAO Hua，WANG Leicun，LIU Zhenzhong，WU Yueni，YANG Huijuan，SUN Lulong. A new late ripening apple cultivar 'Ruixianghong'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2021，48(3)：609-610.

[12] 汪景彦，李壮，李敏，赵德英，厉恩茂. 我国苹果业存在问题及其对策与发展趋势[J]. 中国果树，2011(2)：62-65.
WANG Jingyan，LI Zhuang，LI Min，ZHAO Deying，LI Enmao. Problems and countermeasures in China's apple industry and development trends[J]. China Fruits，2011(2)：62-65.

[13] RU S S，MAIN D，EVANS K，PEACE C. Current applications，challenges，and perspectives of marker-assisted seedling selection in Rosaceae tree fruit breeding[J]. Tree Genetics & Genomes，2015，11(1)：8.

[14] RU S S，HARDNER C，EVANS K，MAIN D，CARTER P A，HARSHMAN J，SANDEFUR P，EDGE-GARZA D，PEACE C. Empirical evaluation of multi-trait DNA testing in an apple seedling population[J]. Tree Genetics & Genomes，2021，17(1)：13.

[15] 束怀瑞. 关于苹果产业新动能的几点思考[J]. 落叶果树，2018，50(2)：1-2.
SHU Huairui. Some thoughts on the new momentum of the apple industry[J]. Deciduous Fruits，2018，50(2)：1-2.

[16] 王金政，毛志泉，丛佩华，吕德国，马锋旺，任小林，束怀瑞，李保华，郭玉蓉，郝玉金，姜远茂，张新忠，杨欣，曹克强，赵政阳，韩振海，霍学喜，魏钦平. 新中国果树科学研究70年：苹果[J]. 果树学报，2019，36(10)：1255-1263.
WANG Jinzheng，MAO Zhiquan，CONG Peihua，LÜ Deguo，MA Fengwang，REN Xiaolin，SHU Huairui，LI Baohua，GUO

Yurong，HAO Yujin，JIANG Yuanmao，ZHANG Xinzhong，YANG Xin，CAO Keqiang，ZHAO Zhengyang，HAN Zhenhai，HUO Xuexi，WEI Qinping. Fruit scientific research in new China in the past 70 years：Apple[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(10)：1255-1263.

[17] 陈旭强，杨亚州，刘莉，王英，武月妮，魏静，赵政阳 . 以富士为核心亲本的苹果杂交群体的优系筛选[J]. 中国果树，2023(5)：10-14.

CHEN Xuqiang，YANG Yazhou，LIU Li，WANG Ying，WU Yueni，WEI Jing，ZHAO Zhengyang. Screening of elite lines with ‘Fuji’ as the core parental apple hybrid population[J]. China Fruits，2023(5)：10-14.

[18] 周江涛，赵德英，陈艳辉，康国栋，程存刚 . 中国苹果产区变动分析[J]. 果树学报，2021，38(3)：372-384.

ZHOU Jiangtao，ZHAO Deying，CHEN Yanhui，KANG Guodong，CHENG Cungang. Analysis of apple producing area changes in China[J]. Journal of Fruit Science，2021，38(3)：372-384.

[19] 晏百荣 . 劳动力价格上升、要素替代与苹果生产布局变迁[D]. 南京：南京农业大学，2019.

YAN Bairong. Rising labor price，factor substitution and change in layout of main apple production in China[D]. Nanjing：Nanjing Agricultural University，2019.

[20] 郑永军，陈炳太，吕昊暾，康峰，江世界 . 中国果园植保机械化技术与装备研究进展[J]. 农业工程学报，2020，36(20)：110-124.

ZHENG Yongjun，CHEN Bingtai，LÜ Haotun，KANG Feng，JIANG Shijie. Research progress of orchard plant protection mechanization technology and equipment in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2020，36(20)：110-124.

[21] 臧霞 . 农业机械化在现代农业发展中的应用与优化研究[J]. 南方农机，2022，53(12)：76-78.

ZANG Xia. Research on the application and optimization of agricultural mechanization in the development of modern agriculture[J]. China Southern Agricultural Machinery，2022，53(12)：76-78.

[22] 常源升，程来亮，王海波，何平，李慧峰，李林光 . 苹果分子标记及辅助育种研究进展[J]. 园艺学报，2017，44(9)：1658-1680.

CHANG Yuansheng，CHENG Lailiang，WANG Haibo，HE Ping，LI Huifeng，LI Linguang. Review of molecular marker and marker assisted breeding of apple[J]. Acta Horticulturae Sinica，2017，44(9)：1658-1680.