苹果早花基因FT的生物信息学分析

汇报人：郭林

时间：2025年4月

目录

CONTENTS

01 研究背景

02 作用机制

03 FT生信分析

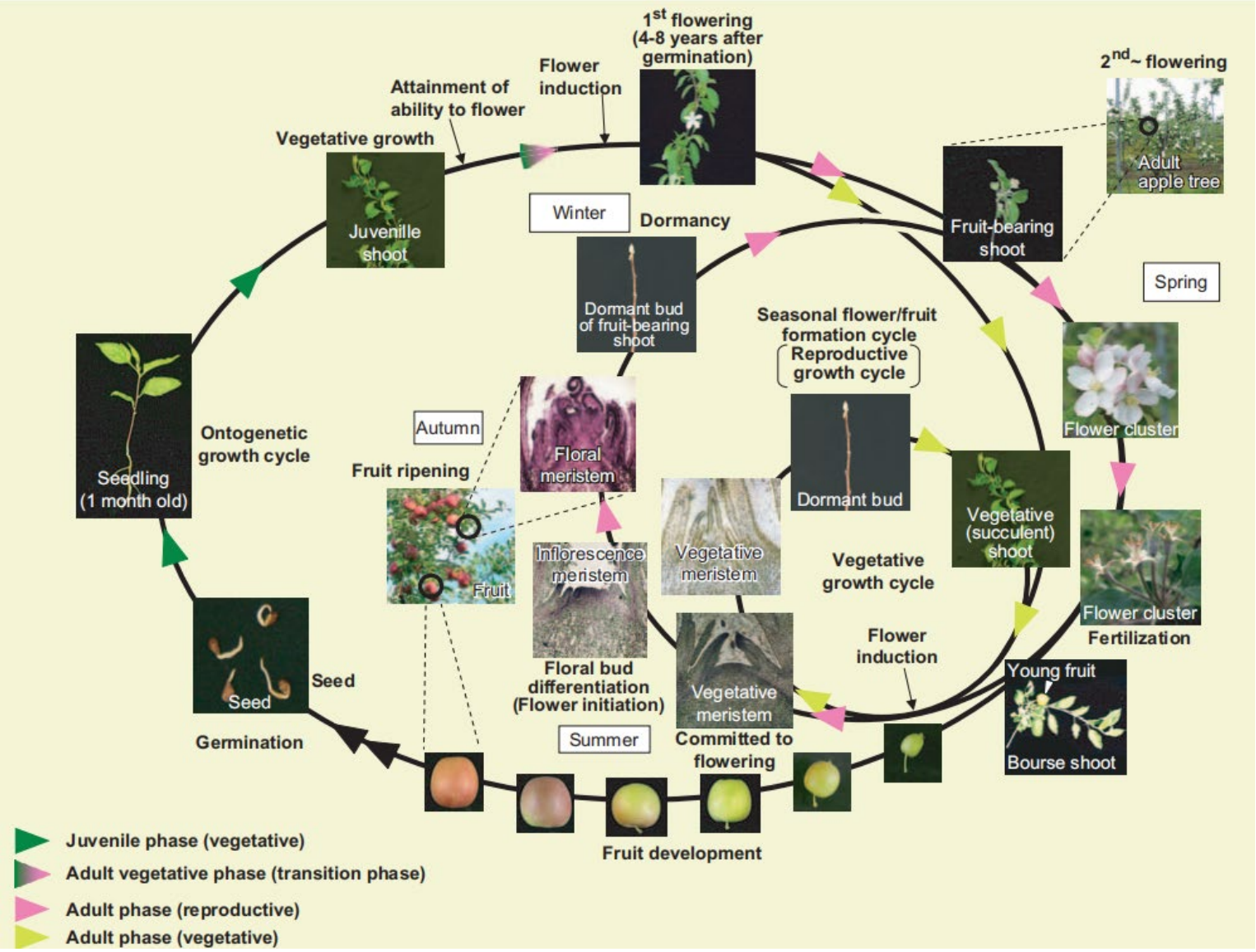
04 研究意义

研究背景

苹果（Malus×domestica Borkh.）其属于蔷薇科亚科苹果亚科。高等植物的茎尖在其胚后发育期间经历三个或多或少不同的阶段。苹果经历一个相对较长的幼年期，在此期间，营养枝旺盛地伸长，4-8年不结花芽。

在木本植物中，开花能力的获得表明幼年期的结束。当实际开花与幼年期的结束不一致时，这段间隔期可以被称为过渡期。

成花是高等植物体内受一系列环境因素和内部因子调节的重要事件之一。研究人员利用模式植物拟南芥做了大量遗传学研究，鉴定出了 180 多个参与调控开花的基因，FT 基因是调节植物成花的关键基因。

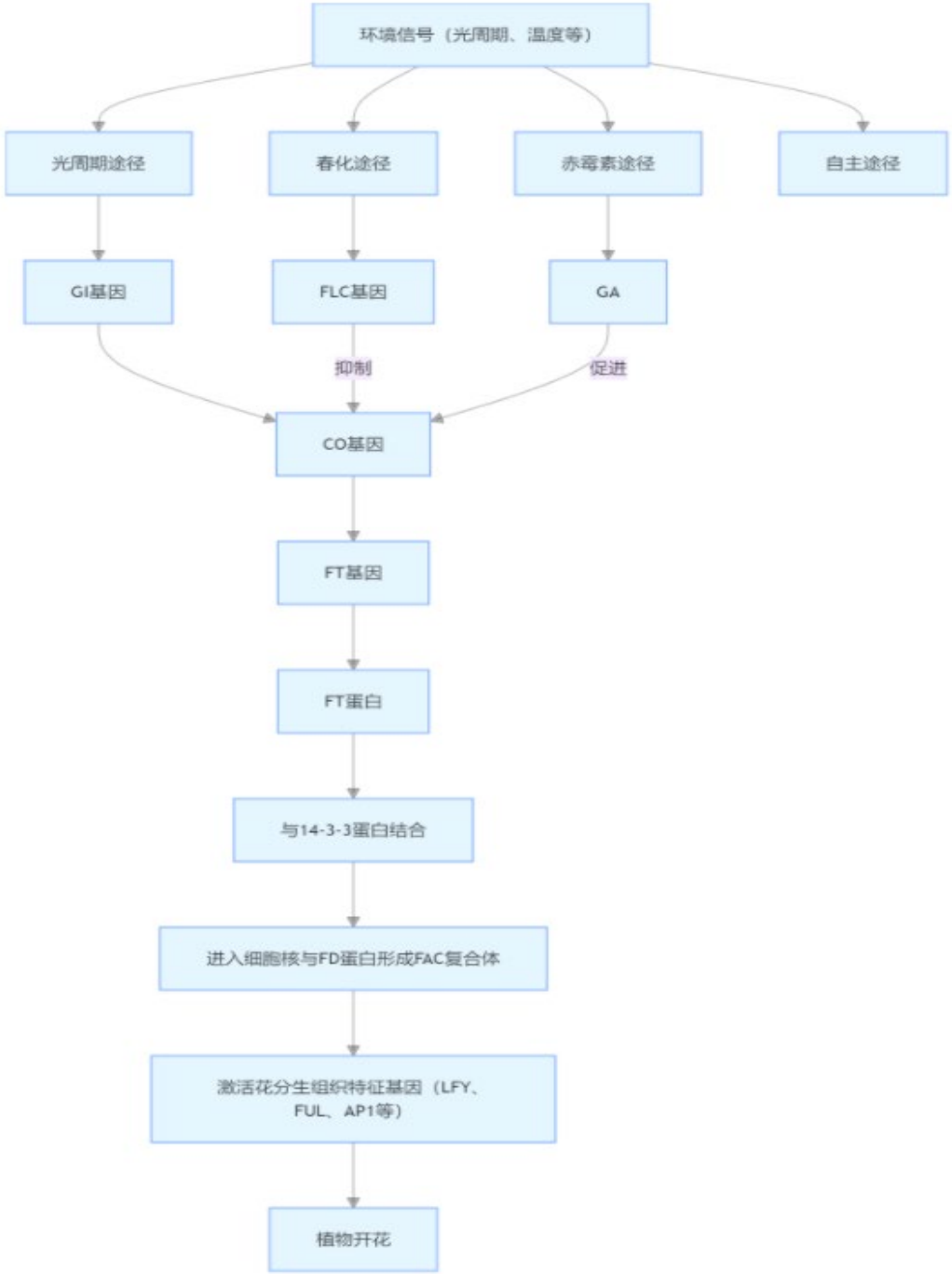


引 “Schematic representation of the apple growth cycle based on the studies of Hackett (1985) , Zimmerman (1972) , Poethig (1990) , Kotoda et al. (2000) , Foster et al. (2003) and Hanke et al. (2007)” .

作用机制

环境信号（如光周期、温度等）作为起始因素，分别作用于光周期途径、春化途径、赤霉素途径和自主途径。

光周期途径中的 GI 基因促进 CO 基因表达；春化途径中的 FLC 基因抑制 CO 基因表达；赤霉素途径中的 GA 促进 CO 基因表达 。CO 基因进而促进 FT 基因表达，FT 基因表达产生 FT 蛋白。FT 蛋白先与 14 - 3 - 3 蛋白结合，然后进入细胞核与 FD 蛋白形成成花激活复合体（FAC）。该复合体激活花分生组织特征基因（如 LFY、FUL、AP1 等），最终促使植物开花。



FT和TFL1

FT：全称是 “FLOWERING LOCUS T”，即开花位点基因 。该基因编码的蛋白属于磷脂酰乙醇胺结合蛋白（PEBP）家族，是植物开花调控途径中的关键成员。在拟南芥等植物中，FT 基因的表达产物 FT 蛋白发挥着 “成花素” 的作用。它在叶片中合成后，经韧皮部运输至茎尖分生组织，与 bZIP 转录因子 FD 相互作用，激活花分生组织特征基因如 LEAFY（LFY）和 APETALA 1（AP1）的表达，进而促使植物从营养生长阶段转变为生殖生长阶段，诱导开花 。

TFL1：全称是 “TERMINAL FLOWER 1”，即终端花基因 。TFL1 基因同样编码 PEBP 家族蛋白，但其功能与 FT 基因相反，是开花的抑制因子。在植物生长过程中，TFL1 基因主要在茎尖分生组织中表达，它通过抑制花分生组织特征基因的表达，维持茎尖分生组织的无限生长状态，阻止植物过早开花，对植物的株型结构和开花时间调控起着重要作用 。当 TFL1 基因突变时，植物会出现早花现象，且茎尖分生组织会过早转变为花分生组织，导致植株的生长模式发生改变。

引

Plant Biotechnology Journal

Plant Biotechnology Journal (2014) 12, pp. 60–68 doi: 10.1111/pbi.12116

Reduced generation time of apple seedlings to within a year by means of a plant virus vector: a new plant-breeding technique with no transmission of genetic modification to the next generation

展示感染不同 ALSV 载体的苹果幼苗开花状态。图 a 为感染 ALSV - AtTSF 的幼苗开花情况；
图 b、c 是感染 ALSV - GtFT1 的同一幼苗不同时间点，显示其通常只开一朵花，随后进入营养生长；
图 d - f 为感染 ALSV - AtFT/MdTFL1 的幼苗，呈现持续开花特征，圆圈标记处为连续开花部位 。

序列分析

FT 基因作为 PEBP 磷脂酰乙醇胺结合蛋白家族的成员，其晶体结构与哺乳动物的磷脂酰乙醇胺结合蛋白非常相似。编码约 175 个氨基酸，由 3 个内含子和 4 个外显子组成，三级结构都含有一个高度保守的阴离子结合域。

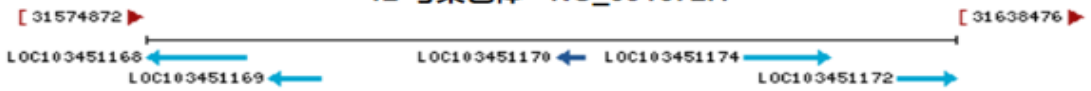
基因组背景

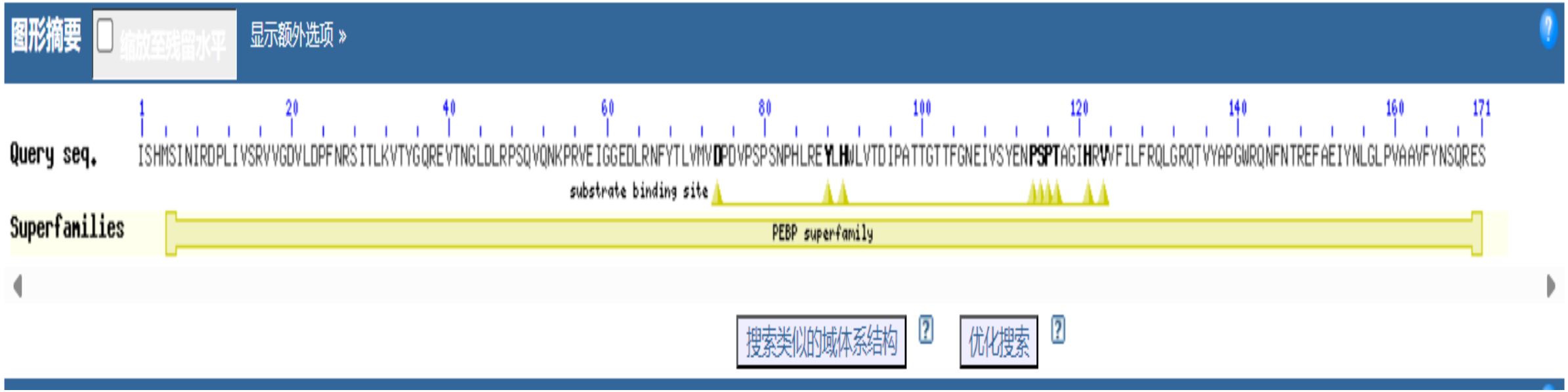
位置： 染色体：12　　请参阅 LOC103451170基

外显子计数： 4

注释发布	地位	集会	中国	位置
RS_2024_12	当前	GDT2T_hap1 (GCF_042453785.1)	12	NC_091672.1 (31607200..31609315, 补码)
102	上一个 程序集	ASM211411v1 (GCF_002114115.1)	12	NC_041800.1 (33025435..33027054, 补码)

12 号染色体 - NC_091672.1



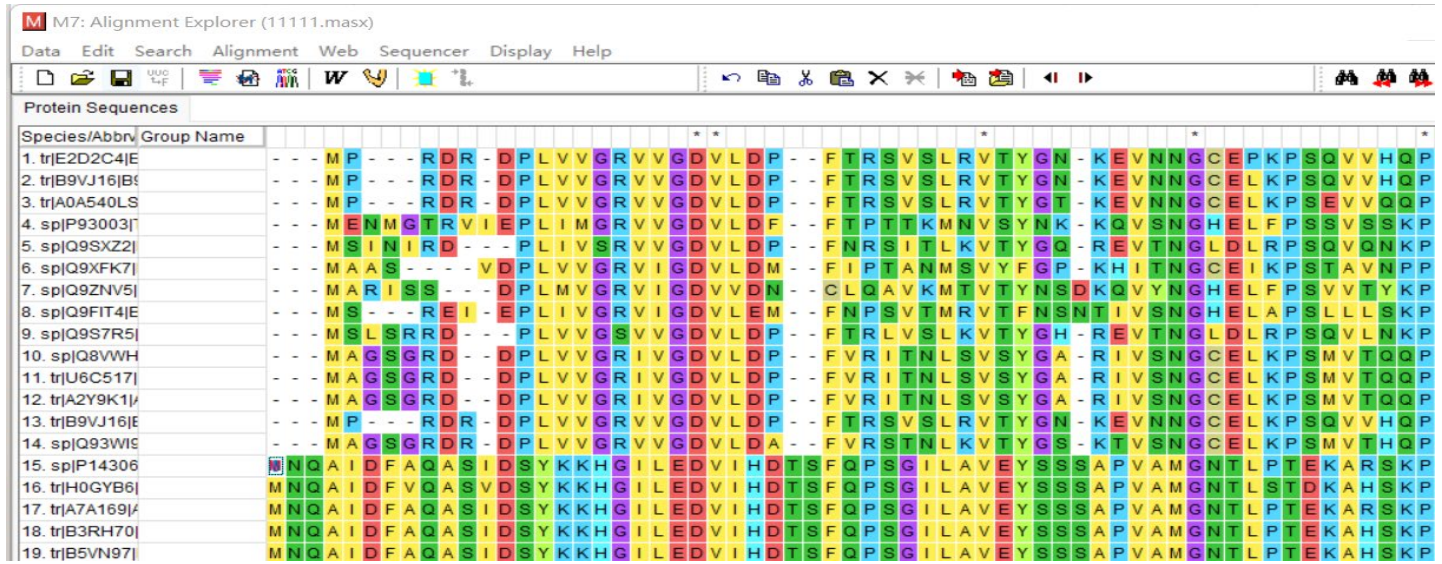


在苹果中，PEBP 家族成员如 MdFT1（FLOWERING LOCUS T - like）和 MdTFL1（TERMINAL FLOWER 1 - like）对开花时间调控起着关键作用，进而影响苹果早花 。

促进早花：MdFT1 是开花的正调控因子 。它可作为成花素，从叶片移动到茎尖，与碱性亮氨酸拉链结构域（bZIP）转录因子 MdFD 相互作用，激活花分生组织身份基因，如 AP1（APETALA1 ），从而促进苹果从营养生长向生殖生长转变，促使苹果早花。过表达 MdFT1 能够显著促进苹果成花，加快开花进程。

抑制早花：MdTFL1 是开花的负调控因子 。它能短距离移动，阻止主顶端向花的转变，维持苹果营养生长，抑制过早开花。在花诱导和起始期之前或期间，MdTFL1 在顶端的表达迅速下降，若编码花抑制因子的 MdTFL1 基因被转基因下调，会导致苹果早熟和末端单花。

构建系统发生树（MEGA7）



```
# Length: 175
# Identity:      126/175 (72.0%)
# Similarity:    149/175 (85.1%)
# Gaps:            1/175 ( 0.6%)
# Score: 714.0
#
#
#=======================================

FT_ARATH            1 MSINIRDPLIVSRVVGDVLDPFNRSITLKVTYGQREVTNGLDLRPSQVQN      50
                       .... |||| :|. |||||||||| . || : : | : |||| . : || . || . : | : || : |. .
                    1 -MPRDRDPLVVGRVVGDVLDPFTRSVSLRVTYGTKEVNNGCELKPSEVVQ      49

FT_ARATH           51 KPRVEIGGEDLRNFYTLVMVDPDVPSPSNPHLREYLHWLVTDIPATTGTT     100
                      : || . : ||| : ||| . |||||||||| . |||| : | : | : ||||||||||||||| . . :
                   50 QPRADIGGDDLRTFYTLVMVDPDAPSPSDPNLKEYLHWLVTDIPATTAAS      99

FT_ARATH          101 FGNEIVCYENPSPTAGIHRVVFILFRQLGRQTVYAPGWRQNFNTREFAEI     150
                      || . |||||| : |. || . |||| . |. : : |||||||||||||||||||||||| : ||| :
                  100 FGQEIVCYESPRPTVGIHRFVLVVFRQLGRQTVYAPGWRQNFNTRDFAEL     149

FT_ARATH          151 YNLGLPVAAVFYNCQRESGCGGRRL     175
                      ||||||| : . | : : |||||| . |. ||||.
                  150 YNLGLPVSVVYFNCQREGGSGGRRR     174
```

目前，只有拟南芥的PEBP 蛋白结构已测定，将苹果的Flowering locus T序列与其进行对比，两个结构域序列相似性很高，可用PEBP的结构作为参考。

研究意义

苹果和梨等木本果树的幼年期漫长，从种子萌发到开花结果通常需要数年甚至十几年，极大地限制了新品种的培育速度。本研究通过 ALSV 载体技术，成功将苹果和梨的开花时间大幅缩短。如苹果原本 5 - 12 年的开花周期缩短至约 2 个月，这使得育种过程中的世代更替加快，能够在更短时间内对果树的性状进行筛选和改良，显著提升了育种效率，为培育更多优质、高产、抗逆的苹果和梨新品种奠定了坚实基础。

传统的重组 DNA 技术在植物育种中面临诸多难题，如培养和植物再生周期长，且仅适用于少数物种和品种。此外，转基因植物在许多国家受到严格监管，其种植和推广受到限制。而本研究中的 ALSV 载体技术，结合高温处理消除病毒的方法，使得处理后的植物不被视为转基因植物。这一技术突破了传统育种技术的瓶颈，为果树育种提供了一种更具普适性和安全性的新途径，有助于推动果树育种技术的多元化发展。

展望

MdTFL1 与拟南芥中的 TERMINAL FLOWER 1（TFL1）基因高度同源，TFL1 基因在调控开花中起到抑制作用，MdTFL1 也具有类似功能。研究表明，抑制苹果 MdTFL1 表达能够诱导苹果提前开花。当使用 ALSV 载体抑制 MdTFL1 - 1 基因表达时，苹果幼苗开花时间显著提前，原本需要 5 - 12 年才开花的苹果，在相关处理后约 2 个月就开始开花，这充分说明了 MdTFL1 对苹果开花具有明显的抑制作用，正常情况下会延迟苹果从营养生长向生殖生长的转变 。

利用 ALSV 载体促进开花：基于前期发现 ALSV - AtFT/MdTFL1 可使苹果提前开花的成果，考虑将该技术应用于同样幼年期长的苹果。通过构建含不同基因的 ALSV 载体，如 ALSV - AtFT/PcTFL1，将其接种到苹果幼苗，对比不同载体处理下苹果的开花情况，验证技术的有效性，为缩短苹果育种周期提供方法。

感谢观看！