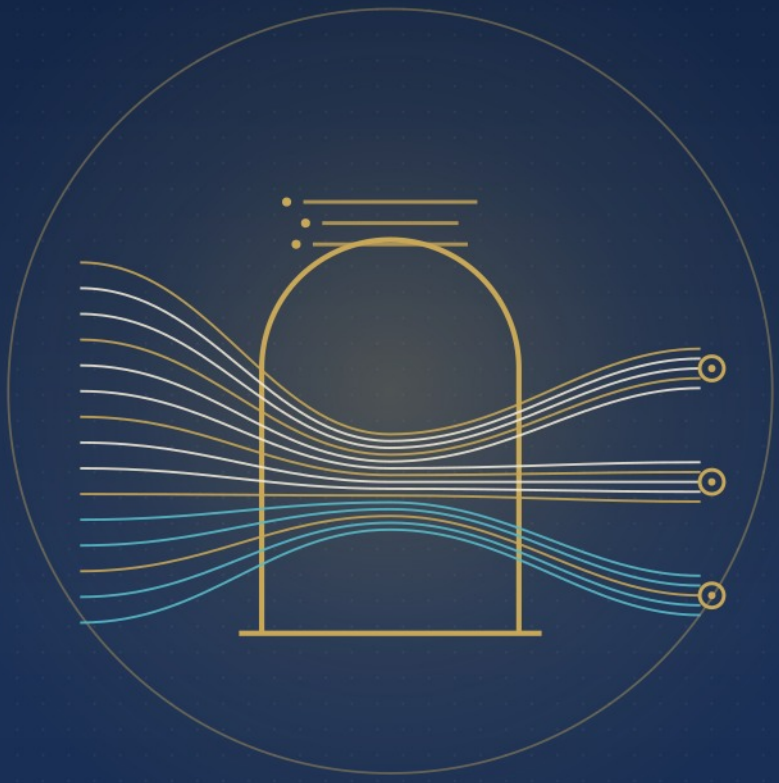
普通人都能明白的

生物学

记功口、三本账，与一场敢先认输的试验



王德生　　著

德麦国际出版社
Demai International Press

普通人都能明白的

生物学

记功口、三本账，与一场敢先认输的试验

王德生　　著

德麦国际出版社

Demai International Press

出　版　信　息

书名	《生命是谁的作品？——记功口、三本账，与一场敢先认输的试验》
著者	王德生
执笔	复合主体：王德生立题、口述承重命题与裁定，Claude 执笔与统稿
出版	德麦国际出版社
编号	德麦国际专著第 385 号
ISBN	979-8-90690-922-0
定价	20 美元
开本	170 mm × 240 mm（16 开）
字数	约 20 万字
版次	2026 年 10 月第 1 版
完稿	2026 年 10 月 14 日

AI 协作声明：本书的判断、口径与承重命题由王德生给出；文字在其指令下由 AI（Claude）协作成稿，待其审定。

引文说明：书中所引文献，一律转述大意，不作原话直引；凡年份、题名、数字与结论拿不准处，标〔待核〕，汇总见附录七，须由专业读者逐条核对后方可定稿。

书中陈老师、阿远两位人物为虚构，只承担场景，不承担证据。

健康说明：本书只讲演化上的道理，不替任何人解读检测报告，不作诊疗、用药或饲养建议；身体或心里的难处真的大了，请找医生。

全书结构：卷首四件，导论，五编三十七章，结语，附录七件。

版权所有　侵权必究

作 者 介 绍

王德生在中国农村长大，父亲是农民。1990 年，他在复读一年之后考进湘潭大学。

此后他一路读的是数学。他在中国科学院获得计算数学博士学位，又在那里做了博士后研究。那些年他打交道最多的是网格：怎样把一块区域切成一个个小单元，怎样让这些单元在计算里既不挤、也不漏。Voronoi 图、Delaunay 剖分、重心 Voronoi 剖分、有限元，是他那时的日常工具。

Voronoi 图的做法很朴素：给定一些点，把平面上的每一个位置，划给离它最近的那个点。平面于是被分成一块块区域，每一块都对着一个点。这是数学里一种「离谁最近就算谁的」的划分办法。

2005 年，他带着家人到了新加坡，起初在大学里当教授。他先后在英国斯旺西大学和新加坡南洋理工大学任职。

他在新加坡创办德麦国际（Demai International Pte. Ltd.），任首席执行官，并以德麦国际出版社（Demai International Press）的名义出版专著。

他提出的 SDE 框架，三个字母分别指显露、差异序列、特征纠缠，中文简称「显露·差异序列·特征纠缠」。这套框架有一个反复出现的问题：一样东西，是被发现的，还是发生的？它在别处已经被用来重读哲学、教育、经济学与经典。

他的专著用德麦国际出版社的名义出版。「普通人都能懂」「普通人都能明白」是其中的一个系列，面向没有读过原著、也没有受过专门训练的成年读者。

需要先说明的是：作者的专业是计算数学，不是实验生物学。本书里的生物学事实，取自公开发表的文献；凡拿不准的年份、题名与结论，都标了〔待核〕，等专业读者核对。

这一套「属性纠缠应用丛书」，是把同一把刀拿到不同学科里去用。每一卷都选一个学科里吵了很久、至今没有定论的问题，而且这个问题在 AI 到来之后变得更急。

本书是丛书的第 2 卷，也是「普通人都能明白」系列的生物学卷。它与丛书其他各卷共用一套方法，各讲各的学科；读这一卷，不需要读过别的卷。

十 分 钟 读 完 这 本 书

◆ 一、一个蛋白和一句问话

一个周末，研究生阿远回县城，看他的中学生物老师陈老师。他在手机上给她看一张图：一团彩色的带子，拧成一个小小的球。这是他们实验室用 AI 设计、再让细菌表达出来的一个蛋白，自然界里没有。

陈老师戴上老花镜看了很久，问：「它有用，那这个『用』算在谁名下？」

她问的不是它有什么用。有什么用，阿远一口气能说出三条。她问的是：用，记在谁的账上。

阿远答不上来。你也可以问问自己：身边最近有什么东西「有用」，而你说不清它算谁的？

这个蛋白能结合某种分子，结合得牢。它的形状、序列、结合力，实验室里一项一项测得清清楚楚。只有一件事，实验室的表格里没有一栏可以填：它往后属于哪一条谱系。

本书就从这一句问话开始，到结语才回答。

◆ 二、三家各押一头

生物学里关于「生命是怎么来的、靠什么延续」，吵了几十年，大致有三家。

基因派说，生命靠复制：能把自己抄下去的那段序列，才是演化的主角。生态位派说，生命靠互动：有机体改造环境，环境回头挑选有机体。有机体派说，生命靠自己维持自己：一个细胞、一只草履虫，会自己补、自己修、自己挑去处。

本书把这三家看成三门「属性发生学」：一家专讲客体那一头怎样长出属性，一家专讲互动那一头，一家专讲主体那一头。三家各看对了一头。

陈老师的课上，三家都讲过，只是她没把它们叫作三家。讲遗传时讲基因，讲食物链时讲环境，讲草履虫时讲生物自己会躲会找。三家加起来，差不多就是一本教材。

三家都不是稻草人。基因派有汉密尔顿的亲缘选择，生态位派有线粒体的来历和蚯蚓翻出的土，有机体派有一只游向糖的细菌。本书会先把每一家看对的那一头写足，再说它停在哪里。

◆ 三、三家都没问的那一句

三家吵得厉害，却有一件事谁也没吵：这一份后代，算谁的?

基因派默认算给复制子；生态位派默认算给那个改造了环境的有机体；有机体派默认算给那个自己维持自己的闭合。三家都觉得这件事不用问。

这不是疏忽。多数时候，这件事确实不用问：一头牛生下一头牛，没有人犹豫它是谁家的。要问，得走到边缘去：一丛竹子，一团黏菌，一块被挤散又聚拢的海绵。

你可以在自己身边试一试：一枝从老树上剪下来插活的枝条，长成了新树，它算老树的后代，还是一棵新树？大多数人张口就答。不过这个答案，是有人定的。

你若把这一句拿去问基因派的学者，他会觉得答案太明显：算复制子。拿去问生态位派，他会说算构建者。问有机体派，他会说算那个自己维持自己的闭合。三个人都答得又快又顺，这就是问题。

本书要问的就是这一句。

◆ 四、多少与户名

自然选择决定的是「有多少」：哪一种变异留下的后代多，哪一种少。

可是一群细胞分裂出新的细胞团，这些新细胞团算老细胞团的后代，还是算其中每一个细胞的后代？选择数得清个数，写不了名字。

本书把决定「这一份后代、这一个效果算在谁名下」的那道结构或做法，叫作**记功口**。它不决定多少，只决定户名。一个受精卵从单个细胞长起，是一道记功口；身

体里只有生殖细胞的后代才能传下去，是一道记功口；豆科植物对不肯固氮的根瘤菌减少供氧，是一道记功口；母孔雀挑哪一只雄孔雀，也是一道记功口。

举一个实验室里的情形：一群原本各自过日子的单细胞生物，被放在一起养，每过一段时间就倒掉大部分，只留一小撮去繁殖下一轮。留哪一小撮、怎样留，就是在写户名。同样的一群细胞，留法不同，集体层面发生的事就不同。

多少，可以数；户名，要有人记。可数的多少在选择那里；户名在一道道具体的结构里。本书要找的，就是这些结构，以及怎样量它们的好坏：新一代集体的创始细胞有多少来自同一个老集体，握口的一方有没有自己的利害，撤掉这道口以后集体会不会退回去。

带走的话：选择决定有多少，记功决定算谁的。

◆ 五、个体是显出来的账户

我们习惯说：先有个体，个体去竞争，赢的那个留下后代。

本书倒过来说：先有记功口一代代把后代记到同一个名下，账记得够一致、够久，那个名下才成了一个「个体」。个体不是挣到适应度的那个承载者，而是一个被记出来的账户。团藻是一个空心的小球，表面排着成千上万个细胞，少数负责生殖，其余负责游动，常被拿来当作「从细胞群到个体」的样本。它算一个，还是几千个？看账怎么记。

为什么要倒过来说？因为「先有个体」的说法，会让人以为账是个体自己开的。倒过来说，账是被记的：谁来记，怎么记，记得整不整齐，都是可以问、可以量的事。

一株竹子，一窝蚂蚁，一团细胞，算不算一个个体，不看它长得像不像一个，看账记得怎样。

这有一个可以测的判据：账记够了以后，把外加的那道关口撤掉，集体还会不会退回一盘散沙？不退，它就是个体了。

这个判据，后面会写成一场试验。本书事先写明：试验出了什么结果，这一条就该撤回。

◆ 六、功能是记出来的

哲学家戴维森讲过一个思想实验：一道雷劈进沼泽，碰巧劈出一个和某人一模一样的「沼泽人」。他有没有那个人的记忆、那个人的意思？几十年里，这只是一个思想实验。戴维森问的是那个存在有没有那个人的记忆和意思。

阿远的蛋白让它落了地：一个有效果、却没有任何祖先的分子。本书说，有效果还不等于有功能；效果被某道记功口记到某条谱系名下，才成为功能。在此之前，它是「无主之功」。

「无主」不是说它没有价值，是说它还没有被任何一条谱系收下。同一个分子，如果某天被实验室一代代养下去，被一个农场用下去，它的效果开始被记到一条线上，也就开始有了功能。

◆ 七、衰老与癌，都是记功事件

自然选择那么挑剔，为什么放过了衰老？本书的答案是：记功口只记生殖系，身体是不入账的那一部分。身体会老，是因为它从来不在那本账上。

拿一家公司的年终总结作比：总结里写了给股东的分红，没有写员工的退休金。员工的辛苦是真的，只是不在那张表里。本书说的身体，就是不在那张表里的那一部分。

癌反过来：记功口漏记了，功劳从整体漏回到单个细胞。细胞活得兴旺，整体被掏空。

这个答案离前人最近。柯克伍德讲资源怎样在生殖与维持之间分配，本书讲这些资源记在谁名下；两者怎样分开，第 12 章和第 23 章专门对账。

这里讲的是演化上的道理，不是医学；哪里该去看医生，本书不插嘴。

两件事看上去相反，其实是同一本账的两个口子：一个是身体没有入账，一个是细胞把功劳漏回了自己手里。

本书后面各用一章讲衰老和癌，并把衰老的答案写成一条可以检验的预测，事先登记，不许事后挑。

◆ 八、AI 握住了记功口

人握记功口很久了：驯狗、种麦、育种、做定向进化，都是人在决定哪些后代记进哪一条谱系。农民年年留种，是在决定哪一粒算下一季的开头；育种者给品种起名、登记，是把后代记在一条线上。实验室里有一类做法，让蛋白在试管里一轮一轮地变化、被筛选，筛选的标准由人来定，这叫定向进化。可是从前握口的人都有自己的利害。

AI 第一次以「无利害、能提出候选」的身份握住了记功口。它一夜提出几千个候选，再排出前十个；剩下的那几千个，是它不要的。你每天也在用类似的东西：手机替你挑出前十条，剩下的几千条，你再也看不到。这里说的「主体位」，只指能提出、挑选、否决，不等于 AI 有意识。

这对人的老习惯是一个改动：从前握口的人，有自己的口味、成本和名声要顾；AI 的流程没有这些。这里说的「无利害」，是指它不靠哪个后代活下去，也不因哪个后代多得什么。这个差别，是本书第四编要反复量的东西。本书同时会把 AI 带来的真实好处与需要的治理一并写出，不只写危险。

◆ 九、三本账，回答书名

本书最后把一切收成三本账：读数账（序列、轨迹、频率，这些只是痕迹）、价值账（守得住、换得公、被选中）、意义账（一条谱系在三处地方各走到了哪里）。

拿阿远的蛋白对着看：读数账上，它折成什么形，序列是什么；价值账上，它折得稳不稳，来往得公不公，有没有人选它；意义账上，它进了哪一条谱系。第三本，眼下还是空的。

这三本账不是三种观点，是同一件事的三种记法：读数账记看得见的痕迹，价值账记好不好，意义账记一条谱系走到了哪里。书名的问，要到第三本账里才有答案。

生命是谁的作品？是被记到谁名下的作品。

前　言

一个自然界没有的蛋白

> **生命不是哪一头的作品：基因派、生态位派、有机体派各看对了一头，却都把「谁是那个个体」当成了起点。个体不是挣到适应度的那个承载者，而是一道「记功口」一代代记账而显出来的账户：选择决定后代有多少，记功口决定这些后代算谁的。达尔文过程不是两件事（变异、选择），而是三件（变异、选择、记功）；序列、表达轨迹、种群频率，只是它一路留下的痕迹。AI 第一次以「无利害、能提出候选」的身份握住了记功口。**

◆ 一、为什么要写这本书

这几年，实验室里开始出现一种新东西：自然界从来没有过的蛋白。

它们不是从哪个物种身上找来的，也不是把旧蛋白改几个字母。它们由计算机先提出形状，再由研究者挑出一部分，交给细菌去表达。有的能结合某个分子，有的能催化某个反应。它们有用。

一个有用、却没有祖先的东西，把一个老问题逼了出来。

生物学讲「功能」，向来要看来历：心脏的功能是泵血，因为祖先的心脏正是靠泵血才被留下。这个说法很好用，直到你遇见一个没有祖先的分子。它的「用」是从哪一天开始算的？算在谁名下？

生物学处理这类难题，有一个现成的办法：看来历。来历查得清，功能就说得清；来历查不清的，先放着。放了很久，因为大多数时候，来历都查得清。

◆ 二、老问题换了一身衣服

细想下去，这个问题不是 AI 带来的。它一直在生物学里，只是从来没人把它当成一个问题。

一群细胞，什么时候算「一个」生物？一株竹子从地下伸出几百根竿，算一株还是几百株？一窝蚂蚁，蚁后产卵，工蚁终身不育，算一只蚂蚁，还是一窝蚂蚁？身体里的细胞那么努力，它们的后代却一个也传不下去，这份努力算谁的？母孔雀挑中一只雄孔雀，下一代算在那只雄孔雀名下，凭什么？一段柳枝被剪成十截，各自插活，是一棵树，还是十棵？

每一个问题都在问同一件事：这一份后代、这一个效果，记在谁名下。

本书说，这件事要由一道结构去做。做这件事的结构，本书叫它记功口。

◆ 三、为什么偏偏是现在

过去，「没有祖先的功能」只是一个思想实验。哲学家戴维森设想过一道雷劈进沼泽，碰巧劈出一个和某人一模一样的存在。没有人真的遇见过。

现在，实验室里隔些日子，就能做出一个自然界没有的蛋白。2003 年，贝克的研究组设计出 Top7，一个自然界没有见过的折叠。2024 年的诺贝尔化学奖，一半给了计算蛋白设计，一半给了蛋白结构预测。这些是学界公认的事实。

有了这些，那个一直存在的问题，第一次有了具体的、摆在冰箱里的样子。书名问的「生命是谁的作品」，在这里变成一个可以追问的问题：这支管子里的东西，算谁的？

◆ 四、书名里的「作品」

书名里有两个字，需要先交代：作品。

作品，通常有一位作者。说生命是谁的作品，听上去像是在找作者。本书不找造物主，也不找一个设计者。本书用这两个字，是借它的另一层意思：一件作品总有一个署名，而署名是被人记上去的。

生命有没有作者，本书不管。生命的每一份后代、每一项效果，是被记到谁名下的，本书要管。

◆ 五、本书不站在三家之外骂人

生物学里关于这类问题，大致有三家：押在基因上的、押在环境与互动上的、押在有机体自己维持自己上的。本书不说它们错了。

基因派看对了：复制保真是真的，谱系靠复制延续，这一条到今天没被推翻。生态位派看对了：有机体会改造环境，环境回头挑选有机体，这条反馈是真的。有机体派也看对了：生命会自己维持自己、自己挑去处，这不需要意识也能做到。

三家各看对了一头。它们欠的是同一笔：都把「这一份算谁的」当成了不用问的事。

本书也不是在反对达尔文。选择是真的，复制是真的，生态位是真的，自维持也是真的。本书只多问一句。

◆ 六、缺了的那一层

本书看生物学的东西，分三层看：读数，好不好，为了什么。

读数是它长成什么样，序列是什么，频率多少，可以测，可以填表。好不好是它有没有用，稳不稳，换得公不公。这两层，生物学讲得很细。

第三层，为了什么，生物学一直讲得很少。原因不难懂：一说「为了什么」，就像在说自然有目的，这是教科书最怕的话。所以这一层被当成目的论，赶出了门。

本书说，缺的正是这一层。不过这里的「为了什么」，不是自然的意图，是一条谱系往后走到哪里、被谁接着养下去。它是账本上的事，不是天意。

◆ 七、本书愿意被证明是错的

一本讲生物学的书，最怕的是什么都能解释。本书在最后一章写好了一场试验，并且事先写明：出现什么结果，本书就撤回自己的核心说法。

这不是客气话。本书的母题是「记功先于个体」：先有关口把后代记到集体名下，集体层的可遗传变异随后出现，分工更晚。如果只改「记到谁名下」这一件事，结果什么都没变，这个母题就该撤回。

那场试验写在最后一章，你可以先翻过去看看。导读里另有一节，把本书怎样才算错，用人话说了一遍。

本书讲的道理，有一半是学界公认的事实，有一半是本书自己的判断。两者会分开写。凡是本书的判断，都会用「本书的看法是」或「换一副眼镜看」起句，不冒充实验结论。

本书用的材料，大致有三类：学科公认的实验与事实，前人论述的大意，和本书自己的判断。转述前人，本书只写大意，不替人造句。

◆ 八、写给谁

这本书写给没有读过进化论教科书的成年人，也写给读过很多的人。你不需要懂分子生物学，需要的只是一点耐心：每一章只交给你一个判断，一句话，能抄进本子。如果你是学生物的，有些地方会觉得讲得太慢，可以跳读：每章第一节和最后那句带走的话，就是骨架。

书里有不少人名、年份和实验。凡是学界公认的事实，本书平铺直叙；凡是本书自己的判断，会明说是判断；凡是拿不准的，会标出来。你不必记住那些名字，记住每章末尾的一句话就够了。

◆ 九、两位陪读的人

书里有两位陪你读的人，都是虚构的。

陈老师六十出头，在县中学教了四十年生物。她说话慢，讲台上从不说「大自然的目的」，爱追问一句「那算谁的」。她一辈子在批改、记分、写评语，知道「记到谁名下」本身就是一件要做的事。

阿远二十多岁，是她以前的学生，现在读研究生，用 AI 设计蛋白。他手快，信数据，起初觉得「有用就是有用，算谁名下是哲学问题」。

他们不替本书作证，只替本书提供场景。问题由陈老师问，阿远常常答不上来，道理由本书来讲。

◆ 十、从哪里开始

从导论开始就好。阿远的手机上有一张图，陈老师有一个问题。其余的章节，都是为了回答这个问题而走的路。读到某一章觉得绕，就回到导论里那三层，看一眼，再接着读。

导　读

◆ 一、这本书的地图

全书五编，前面有一章导论，后面有一章结语。每章四五千字，核心几章更长，可以一次读一章。

导论讲阿远的蛋白和陈老师的那一问，先把全书要用的几样工具磨一遍。

第一编「三家各押一头」，四章。先摆一道老难题：自然选择为什么容忍衰老。再请基因派、生态位派、有机体派各说一遍。三家各看对了一头，都没问「算谁的」。

第二编「三家的欠条」，十章。先请两位已经在讲「生成」的最强对手出场，再请一个最可能把本书压倒的实验，然后用一张表收三家的欠条，看两张具体的欠条和一只孔雀，和离本书最近的前人对一次账，用四个检验过一遍进化论史，最后把欠条写成一条定理、三条方程。

第三编「缺了的第一层」，九章，是全书的心脏。生物学讲「好不好」，也讲「读数」，却把「为了什么」当成目的论赶出了门。这一编给出记功口、个体、功能、意义层、读数、物种，最后回到第一编的衰老难题，给出答案。第 16 章把「个体」的读法讲全，第 17 章是全书的母题章，第 19 章讲功能和沼泽人，第 23 章回到衰老，第 26 章写癌。

第四编「AI　　坐上主体位」，九章。人握记功口已经一万多年：驯化、绿色革命、育种、定向进化。握得好，也握坏过。最后写 AI 怎样坐上主体位，带来什么新危机，又怎样回头改了人。第 28 章讲定向进化，第 30 章讲 AI 怎样握口，第 31 章讲无主之功，第 32 章讲回写。

第五编「三本账」，五章。把全书收成读数账、价值账、意义账，落到种地、养宠物、做实验，最后一章写一场能证明本书错的试验。

结语回答书名。后面有七件附录：判词怎样才算错的全文，预先登记的预言，欠条表，一个最小的模型，术语对照，与本系列其他各卷的对账，和〔待核〕清单。

◆ 二、判词，再放一次

前言里的那段话，是全书的判词。读到后面，你会不断回到它，所以在这里再摆一遍，一个字不改：

> **生命不是哪一头的作品：基因派、生态位派、有机体派各看对了一头，却都把「谁是那个个体」当成了起点。个体不是挣到适应度的那个承载者，而是一道「记功口」一代代记账而显出来的账户：选择决定后代有多少，记功口决定这些后代算谁的。达尔文过程不是两件事（变异、选择），而是三件（变异、选择、记功）；序列、表达轨迹、种群频率，只是它一路留下的痕迹。AI 第一次以「无利害、能提出候选」的身份握住了记功口。**

结语里，它会第三次出现。到那时，你可以拿它对一对，看这一路下来，每一个词是不是都落了地。

◆ 三、几条读法路线

只有一个下午：读导论、第 17 章、第 18 章、第 30 章和结语。

为教书的人来的：读第 1 章、第 6 章和第 36 章。

为孩子来的：读第 11 章（孔雀的尾巴）、第 24 章（驯化）、第 36 章（种地、养宠物、做实验）。

为实验室来的：读第 12 章到第 14 章、第 17 章、第 18 章、第 37 章。

只有十分钟：读卷首的「十分钟读完这本书」。

为挑毛病来的：先读附录一和附录二，那里写着本书怎样才算错，预先登记了什么。

从头读到尾也可以。每章开头都是一件家常事，结尾都有一句带走的话和两行小账：上一行写本章拆了什么，下一行写本章立了什么。

◆ 四、两位陪读人物

陈老师，六十出头，县中学的生物老师，教了四十年书。阿远，二十多岁，她以前的学生，研究生，用 AI 设计蛋白。两人都是虚构的，不承担任何证据。

他们在书里各有一个习惯：陈老师爱问「那算谁的」，阿远爱先说「有用就是有用」。书里不让他们讲理论，理论由本书来讲。

◆ 五、判词怎样才算错

本书的核心说法，可以被一场试验推翻。最后一章会把这场试验写成可以执行的设计，这里先用人话说一遍，推翻本书有四条路。

第一条：拿一种原本是单细胞的生物，让它们在实验里长成细胞团。几组之间什么都一样，只改一件事：新细胞团的「创始细胞」来自同一个老细胞团的比例。如果这一件事改了，集体层什么都没变；或者集体的利益要等细胞之间分了工才和单个细胞的利益分开，那么「记功口」这个说法就该撤回，本书退回前人的「适应度转移」说。

第二条：如果「记到同一个名下」的比例上升，并不先于集体层出现可以遗传的差别，「记功先于个体」就该撤回。

第三条：如果集体层的反应随这个比例平平地、一点一点地变，没有一道坎，本书的命题就要收窄，只剩下「两种算法之别」。

第四条：如果账记够了、记得够久，把外加的关口撤掉，集体还是退回去了，那么「不回弹即个体」与「个体是显出来的」这两条就该撤回。

那道坎在哪里、要记多少代，都要在试验之前登记好，不许事后挑。

◆ 六、随身三问

读这本书时，你可以随身带三个问题：

这一份算谁的?

谁在记?

记的人有没有利害?

这三个问题可以带到别处去用。读一条新闻，说某项技术有了成果，你也可以问：这个成果算谁的，谁在记，记的人有没有自己的利害。

◆ 七、本书反复用的三个量

全书的比喻是记账，但每一章都要落回到可以测的东西上。先认一下脸。

第一个量叫记账一致性：子代集体的创始细胞来自同一个亲代集体的比例，逐代测。比例高，账记得整齐；比例低，一个新的细胞团里掺着不同老团的细胞，账就乱。

第二个量是持有者的利害。握记功口的一方，可能是没有利害的筛，可能是有利害的守门者，也可能是无利害而能提出候选的设计者。三类各有各的毛病，第三编、第四编会逐一讲。

第三个量是回弹系数：撤掉记功口以后，集体层退回去的程度。

这三个量，第 17 章、第 18 章和第 37 章会写得更细。

◆ 八、每一章的样子

每一章有固定的几件。开头是一件家常事，一个画面，不讲理论。中间有三到四个小节，每个小节一个判断，判断在前，材料随后，出处写在句子里。凡批评一家之前，先把它看对了什么写足，必要时写出它完全成立的条件。章末回到陈老师或阿远的一天，给一个明天能试的小办法；然后是一句带走的话，和两行小账。

第五编的每一章，再加两个「想一想」。它们没有标准答案，是留给你自己的。

凡标了〔待核〕的地方，是作者自己没有十足把握的年份、题名或结论。本书宁可把没把握写在纸面上。

◆ 九、关于三家的叫法

本书说的「基因派」「生态位派」「有机体派」，是为了叙述方便起的名字。学界并没有这样三个门派，每一位学者也未必肯认领。本书做的是：每一次批评，都落到具体作者的具体论述上，说清是哪一位、哪一部著作、哪一条主张。出处拿不准的，标〔待核〕。

你如果恰好是其中某一家的行家，发现本书把你的立场写窄了，请把它当作一个可以被改的地方。

◆ 十、遇到不熟的词和名字

书里的家常词，第一次出现时会解释一次，之后不再解释。生物学的专门词很少，需要时都有交代；附录五有一张术语对照，把本书的家常说法和学界的叫法并排列出来。

外国学者的名字，本书用「中文译名（英文原名）」的写法；译名拿不准的，宁可多写一个原名。年份、题名、结论拿不准的，标〔待核〕，附录七统一收着。

◆ 十一、几条约定

本书讲的「主体位」「能动」，只指能提出、挑选、否决，不等于有意识。一个细胞绕开盐粒、一套 AI 流程排出前十名，都不说明它们「知道」什么。

书中凡带引号转述的学者原话，请读作「大意如此」。拿不准的年份、题名和结论，都标了〔待核〕，统一收在附录七。

本书讲衰老、癌与基因检测，只讲演化上的道理，不讲临床。本书讲道理，不替你解读自己的检测报告，也不作诊疗建议。身体真有难处，请找医生。

写到 AI 设计蛋白与生物安全的地方，本书只讲概念、历史与治理，不写任何可以照着操作的步骤。

目 录

十分钟读完这本书 vii
前言 一个自然界没有的蛋白 xii
导读 xvii
导论 一个 AI 设计、实验室里长出来的蛋白 24

第一编 三家各押一头 32
第 1 章 为什么自然选择容忍衰老 33
第 2 章 基因派 43
第 3 章 生态位派 52
第 4 章 有机体派 61

第二编 三家的欠条 70
第 5 章 最强的对手之一 71
第 6 章 最强的对手之二 79
第 7 章 最强反例 87
第 8 章 三家互相欠 97
第 9 章 欠条一 106
第 10 章 欠条二 114
第 11 章 孔雀的尾巴 123
第 12 章 和最近的前人对账 131
第 13 章 四个「互相」检验进化论史 141
第 14 章 欠条定理与属性三方程 149

第三编 缺了的第一层 158
第 15 章 意义层不是没有，是被当成目的论赶出了门 159
第 16 章 一次「活着」的完整读法 169
第 17 章 记功口 182
第 18 章 个体是显出来的 196
第 19 章 功能是记出来的 209
第 20 章 意义层在生物学里显成什么 219

第 21 章　性状是读数　229
第 22 章　物种是显出来的　238
第 23 章　回到开场　246

第四编　AI 坐上主体位　257

第 24 章　驯化　258
第 25 章　层断了　266
第 26 章　一角独大　274
第 27 章　目标空转　283
第 28 章　定向进化　292
第 29 章　AlphaFold 预测了什么　300
第 30 章　AI 坐上主体位　309
第 31 章　无主之功　319
第 32 章　记功回写　328

第五编　三本账　336

第 33 章　读数账　337
第 34 章　价值账　347
第 35 章　意义账　357
第 36 章　种地、养宠物、做实验　367
第 37 章　判决性试验　377

结语　生命是谁的作品——是被记到谁名下的作品　390
附录　供查、供对、供练　397

附录一　判词怎样才算错　398
附录二　预注册预言　400
附录三　欠条表　402
附录四　最小模型　403
附录五　术语对照　405
附录六　与本系列对账　406
附录七　〔待核〕清单　407

导　论

一个 AI 设计、实验室里长出来的蛋白

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一件东西明明有用，你却说不清它算谁的。

小区门口有人种了一排月季，开得很好。是种花的那位老人的功劳，是物业的，还是那块地的？你说不清，也没觉得要说清。

一个周末，阿远回县城看陈老师。他读研究生第三年，在一个做蛋白设计的实验室。吃完饭，他掏出手机，给老师看一张图。

图上是一团彩色的带子，有几段卷成螺旋，有几段铺成平平的片，拧在一起，像一个攥紧的小拳头。

「这是我们组做出来的一个蛋白，」阿远说，「自然界里没有。是 AI 先给出形状，我们挑出来，再让细菌表达。它能结合一种分子，结合得还挺牢。」

陈老师把老花镜往上推了推，看了很久。她教了四十年生物，课本上的蛋白都有名字、有来历：血红蛋白是运氧的，胰岛素是管血糖的，每一个都能往上追到某个祖先。

她把手机还给阿远，问了一句：

「它有用。那这个『用』，算在谁名下？」

阿远笑了：「老师，这是哲学问题。」

陈老师没笑：「你先别急着把它推给哲学。」

◆ 二、这个蛋白是什么

先把事实说清。

蛋白是细胞里干活的主力：酶催化反应，血红蛋白运氧，抗体认出入侵者。它是一串氨基酸连成的链。链会自己折叠，折成某种立体的形状；形状决定它能和什么结合、能催化什么反应。几十年来，生物学家研究的蛋白几乎都来自活着的生物：从细胞里提出来，测它的序列，解它的结构。

计算设计走的是另一条路。它能走通，靠的是一个老发现：蛋白的氨基酸顺序，在合适的条件下，通常就足以决定它折成什么形。这个想法，是二十世纪六七十年代由克里斯蒂安·安芬森（Christian Anfinsen）等人的实验奠定的〔待核〕。研究者先在计算机里想要一个形状，再反过来求一条能折成这个形状的序列。2003 年，美国华盛顿大学大卫·贝克（David Baker）的研究组设计出一个叫 Top7 的蛋白，它的折叠方式在自然界里没有见过，做出来以后，实测的结构和设计的几乎一样。

二十年后，这条路有了深度学习。机器可以在很短的时间里提出成千上万个候选，研究者从中挑选，交给细菌或酵母去表达（也就是让细胞照着序列，把这个蛋白造出来），再测它们能不能折对、有没有用。2024 年的诺贝尔化学奖，一半给了计算蛋白设计，一半给了蛋白结构预测。

阿远的那个蛋白，就是这样来的。本书只讲到这一层：它由 AI 提出，由实验室表达，自然界没有。怎样设计、怎样表达，本书不写。

◆ 三、三种常识答法

回到陈老师那一问。你会怎么答?

第一种答法：算阿远的。是他挑的、他做的实验、他写的论文。这一条对了一点：没有人挑，那个形状不会离开计算机。可是阿远自己也说，形状不是他想出来的，他只是在几千个候选里挑了几个。

第二种答法：算 AI 的。形状是它提出来的。这一条也对了一点：没有它，就没有这个候选。可是 AI 提出了几千个，它并不在乎哪一个最后进了实验室，也不会因为这一个成功而多得什么。

第三种答法：算细菌的。真正把那串氨基酸一个个连起来的，是表达它的那些细菌。这一条也对：没有细胞，序列只是一行字母。可是细菌并不靠这个蛋白活下去，下一代细菌也不会因此多一个。

三种答法各对一点，各缺一点。

你也许注意到了，这三种答法正好对应生物学里吵了很久的三家：一家说功劳在那串能被抄下去的序列，一家说在环境与互动，一家说在那个自己维持自己的活物。第一编会请它们各说一遍。

这里先留一句话：三种答法都在争「谁出了力」，没有一种在问「谁来记」。

◆ 四、三层先看一眼

本书看任何一样生物学的东西，都分三层看。

第一层是读数：它是什么样子。这个蛋白折成什么形，序列是哪些字母，结合得多牢。读数可以测，可以写进表格。

第二层是好不好：它有没有用。它能不能结合那种分子，稳不稳定，会不会伤到别的东西。生物学讲适应、讲保真、讲交换，讲的都是这一层。

第三层是为了什么：它进不进哪一条谱系，往后有没有谁靠它活下去、传下去。

前两层，生物学讲得很细。第三层，生物学一直不太敢讲，因为一说「为了什么」，就像在说自然有目的。第三编会专门讲这件事：「为了什么」不是没有，是被当成目的论赶出了门。

拿一口祖传的铁锅来对一对。读数是它多重，口径多大，壁多厚。好不好是它好不好用，会不会粘。为了什么是：它传给了谁，往后有没有人接着用它、养它。前两层，你拿秤和锅铲就能答；第三层，要去问这口锅挂在谁家的灶上。

阿远的蛋白，第一层很清楚，第二层也不错，第三层是空的。陈老师那一问，问的正是第三层。

◆ 五、一本账，先看看长什么样

本书后面常说「记账」「户名」「入账」。这是一套家常比喻，先把它说明白，免得你以为它只是修辞。

想象一个小饭馆，几个人合伙开。月底分红，要把赚的钱算给每个人。这里有两件事：一件是赚了多少，一件是这笔钱算谁的。前一件，看流水；后一件，看账本上每笔记在谁名下。两个合伙人流水相同，只要账本的记法不同，各人拿到的钱就不同。

生物学里的选择，管的是前一件，赚了多少。哪种变异的后代多，哪种少，选择数得清清楚楚。后一件事，这些后代算谁的，选择管不了，要有一个东西去记。

这个比喻本身不能算证据。所以每一章都会把它落回到可以测的量上：新一代集体的「创始细胞」有多少来自同一个老集体（记账一致性）；握口的一方有没有自己的利害（持有者的利害）；撤掉那道口以后集体会不会退回去（回弹系数）。这三个量，第 17 章再详细讲。

◆ 六、七个词，先磨一遍

本书有七个家常词，会在全书反复用到。我们先拿阿远的蛋白，把它们各用一遍。

形状（SDE 框架里叫显露）：长出来、能被认出的样子。那团攥紧的小拳头，就是这个蛋白的形状；从「几千个候选之一」到「我们组的那个蛋白」，它越来越认得出。

路（差异序列）：一串有先后、会修正的不同。AI 先提出候选，人先挑一轮，细菌表达，测，不行再改，再挑。这条路一先一后，顺序换了，结果就不同。

土（特征纠缠）：让路能走、形状能长的那片缠在一起的地。计算机里的模型、实验室的仪器、细菌的细胞、缓冲液的温度、组里谁有空做实验，全缠在一起。同一条序列换一片土，可能就折不对。

回写：长出来的东西回头改土、改路。这一次结合得牢，下一轮设计就往这个方向挑；组里的人也开始相信 AI 的排序。

一锅粥：什么都在、还没分开。一夜之间提出的几千个候选，在被挑之前就是一锅粥。

正在成形：形状冒头、还站不稳。挑出来的十个，送进细菌，能不能折对、能不能重复，还说不准。

定型：稳住、认得出、传得下去。可是「传得下去」对一个蛋白意味着什么？它只能靠实验室一次次重新表达；它自己没有后代。

七个词就用到这里。后文会用得少，只在要紧处出现。

◆ 七、先清三个误会

第一个误会：记功口就是选择。不是。选择决定「有多少」：哪一种留下的后代多。记功口决定「算谁的」：这些后代记在谁名下。第 17 章会把两者分开讲。

第二个误会：个体就是一块肉、一个看得见的活物。不是。本书说的个体，是一个被记出来的账户。一棵竹子、一窝蚂蚁、一团细胞，算不算一个个体，要看账怎样记。

第三个误会：AI 坐上主体位，是说 AI 有了意识。不是。本书说的主体位，只指能提出、挑选、否决。AI 能提出候选，能排出前十，能把剩下的放下；这和它有没有感觉、想不想要，是两回事。

◆ 八、每章末尾的两行小账

本书每一章末尾都有两行小账。上一行问：本章拆了什么。下一行问：本章立了什么。

拿这一章本身举例。

拆了什么：拆了「有用就有了户名」这个默认。三种常识答法都在争谁出了力，没有一种在问谁来记。

立了什么：立了陈老师那一问，和看东西的三层：读数、好不好、为了什么。

◆ 九、一个蛋白怎样才有祖先

阿远的蛋白，现在在两个地方。

一个地方是电脑里的一个文件，记着那串氨基酸的顺序。另一个地方是冰箱里，零下八十度，一支小小的冻存管，里面是表达它的那株细菌，管壁上贴着一张标签，写着日期、编号和一个缩写。

想让这个蛋白往后「有谱系」，要做的事其实很平常：实验室里有人隔一段时间，从冻存管里取一点，重新养起来，养好了，再冻一管新的。这一管接着上一管。哪天有人想用它，先翻登记本，找到最近的一管。

这条谱系，一端是计算机里的文件，另一端是登记本上的字。细菌没有商量，蛋白也不知道。是实验室里的人和一套规矩，把一管管细菌接成了一条线。

陈老师听阿远讲到这里，问：「要是登记本丢了呢？」

「那就找不回来了。其实管子还在，序列也能重新测。可是没有人能说，这一管是从哪一管来的。」

「那它还是原来那个蛋白吗？」

阿远想说是，又觉得这样答太快。

◆ 十、三种答法，各自什么时候够用

在往下走之前，先把三种常识答法各自成立的条件写清，免得你觉得它们只是错的。

「算阿远的」，在署名、评奖、实验记录这些场合够用。这些场合里，「户」本来就是人，人有名字，有单位，有账号。

「算 AI 的」，在追溯「这个形状从哪里来」时够用。软件的版本号，模型的参数，训练时用的数据，都是这一条线上的记录。想核对一项设计，就要翻这几样。

「算细菌的」，在问「这个蛋白在哪里、按什么规矩被造出来」时够用。没有细胞里的机器，这串字母不会变成立体的东西。

三种答法，是三种记法，记的东西不同：一种记谁出了力，一种记形状从哪来，一种记它在哪里被造出来。三种之间没有谁高谁低。本书要问的，是它们都没有记的那一笔：这个蛋白往后，是哪一条谱系的。

◆ 十一、一个常见的反对：有用就是有用

阿远的话，代表很多人的想法：在实验室里，一个蛋白有用就是有用，算谁名下，写论文时按作者顺序排就是了。

这个说法在日常工作里完全成立。做实验的人不需要先回答户名，就可以把蛋白测得清清楚楚；工程上，能不能用、稳不稳，才是要紧事。本书不否认。

不过有三个地方，户名会冒出来，而且冒得很具体。

第一个是署名与权利。论文里谁是作者，专利上谁是发明人。这类事近年已经让期刊编辑部和一些国家的法院碰上了新问题：由 AI 系统提出的设计，署谁的名。一些期刊明确表示，AI 工具不能列为作者〔待核〕；也有法院在专利案件中裁定，发明人必须是自然人〔待核〕。本书不评价这些裁决，只是看到，人们为这件事立了规矩，说明户名不是自动有的。

第二个是责任。一样东西出了问题，谁来管，谁来查，得有一条线能找回去。

第三个是延续。一个蛋白将来如果要在实验室之外存在，比如被一家企业继续做下去，被一套农业系统用下去，那一条「谁接着养它」的线，是靠人一手接一手维持的。

这三处，都不需要阿远去回答哲学问题。它们只需要有人回答：这一笔，记在谁名下。

◆ 十二、放回日子里

那天晚上，阿远走的时候，陈老师送他到楼下。

阿远还在想那句话。他说：「老师，在我们实验室，一个蛋白有用就是有用。算谁名下，写论文的时候按作者顺序排就行了。」

陈老师说：「那论文的作者，是那个蛋白的祖宗吗？」

阿远没接话。

陈老师又说：「先别说蛋白。人为什么会老，你们实验室答得上来吗？」

你今晚也可以试一件小事：找一样你家里最近「有用」的东西，一盆花、一个旧工具、孩子做的一个小发明，问自己一句：它的用，算在谁名下？是谁在记？你会发现，「谁出了力」和「记在谁名下」，常常不是同一个答案。

> 带走的话
>
> **一个东西有用，不等于它已经有了户名。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「有用就有了户名」这个默认；三种常识答法都在争谁出了力。
>
> 立了什么：立了陈老师那一问，和读数、好不好、为了什么三层。

第 一 编

三家各押一头：各看对了一头，都没问「算谁的」

这一编四章。第 1 章先摆一道老难题：自然选择那么挑剔，为什么放过了衰老。第 2 章到第 4 章请生物学里的三家各说一遍：基因派押在复制的结构上，生态位派押在有机体与环境的互动上，有机体派押在生命自己维持自己上。每一家都先把它看对的那一头写足。

读完这一编，你会看到一个反差：三家各看对了一头，可是谁也没问过一句「这一份后代算谁的」。

第 1 章

为什么自然选择容忍衰老

三种答法，各偏一头（Medawar、Williams 的群体遗传学，Kirkwood 的生活史）

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一个孩子问你一个问题，你张口就要答，答到一半，发现自己其实不懂。

陈老师退休前的最后一节课，讲的是自然选择。她讲了四十年，闭着眼都能讲：变异，遗传，生存斗争，适者留下。长颈鹿的脖子，桦尺蛾的翅膀，细菌的抗药性。

快下课时，后排一个瘦瘦的男生举手。

「老师，既然选择会淘汰有害的东西，那人为什么非老不可？老了眼花、腿软、记不住事，这些都有害啊。」

全班笑了。陈老师没笑。她转身在黑板上写下两个字：选择。

粉笔停在那里。她想说「因为老了以后已经生完孩子了」，可这句话她自己也觉得不够。为什么生完孩子，身体就可以不管了？谁定的？

下课铃响了。那个男生的问题，她没有答完。

这一章，就从这道难题开始。

◆ 二、选择为什么放过了衰老

先把难题立起来。

自然选择的道理很简单：一群生物里，有些个体带着的变异让它们活得久一点、生得多一点，这些变异就会在下一代里变多。有害的变异会变少，有利的会变多。几百万年下来，眼睛、翅膀、免疫系统都是这样一点点被磨出来的。

衰老是有害的。老了，跑不快，躲不开天敌，生不出孩子，扛不住病。按照选择的道理，能推迟衰老的变异应当一直被留下，衰老应当越来越晚、越来越轻，最后被选没了。

可是它没有。几乎所有我们熟悉的动物都会老：老鼠两三年，狗十几年，人几十年。

这道难题在生物学里的位置，有点像经济学里的「水与钻石」：水是活命的东西，却便宜；钻石没什么用，却贵。看上去是一个小矛盾，拆开来，整套理论的底子都露了出来。

衰老难题也是这样。它问的不只是「人为什么会老」，它问的是：选择这台机器，到底在给谁干活?

二十世纪中叶，有三种答法先后出现。三种都讲通了一段，都是今天教科书里的标准内容。我们一种一种来。

◆ 三、三种答法，三段讲通

第一种：晚年的害处，选择看不见。

这是英国生物学家彼得·梅达沃（Peter Medawar）的答法。他在 1951 年的一次就职演讲里讲了这个想法，第二年印成小册子，题目就叫《生物学中一个未解决的问题》〔待核〕。

他的意思大致是：就算一种生物根本不会老，它也会死于别的原因，被吃掉、冻死、饿死、病死。年纪越大，还活着的个体就越少。于是，一个只在晚年才发作的有害突变，碰到它的个体本来就不多，它们大多在发作之前就已经死于别的原因，并且早就把这个突变传给了孩子。

选择的力量随年龄变弱。年轻时发作的害处，选择看得一清二楚，很快就把它淘汰；晚年才发作的害处，选择几乎看不见，它们就在一代代里慢慢攒下来。衰老，就是这些攒下来的晚发害处一起冒出来的样子。

后来的人把这叫作「突变积累」。

这一条讲通了一件事：为什么选择对晚年「不上心」。它很漂亮，因为它不需要任何特别的假设，只要有外部的死亡，就有选择力量随年龄下降。

教科书喜欢拿亨廷顿病来说明这个道理：它由一个显性突变引起，常在中年以后才发作，而发作前，携带者往往已经生了孩子。选择对这样的突变使不上劲，它就一代代留了下来。这个例子只是帮你看见「晚发」二字的分量，它不是衰老本身，本书不拿它去下结论。

梅达沃那一代人，手里没有今天这么多数据，他是靠推理走到这一步的。这也是他的了不起：先把道理想清楚，几十年后才有人拿实验去量那条「选择力量随年龄下降」的曲线。

第二种：年轻时的好处，换老年的坏处。

1957 年，美国生物学家乔治·威廉斯（George C. Williams）发表了一篇关于多效性与衰老演化的论文〔待核〕。

「多效性」是说，同一个基因可以同时管好几件事。威廉斯的想法是：如果某个基因让年轻时长得快、生得多，却让老年时身体垮得快，选择会怎么对待它？

选择会留下它。因为年轻时的好处，选择看得清楚；老年时的坏处，按梅达沃的道理，选择看不太清。一笔早到的收入，换一笔晚到的账单，在选择的算盘上是划算的。

后来的人把这叫作「拮抗多效」。

这一条比第一条多讲通了一件事：衰老不只是选择「顾不上」的结果，它还可能是选择「主动换来」的代价。年轻时的旺盛和老年时的衰败，可能是同一枚硬币的两面。

你在日子里也见过这种买卖。一个人年轻时拼命工作，换来事业，也换来后来的腰椎和失眠。年轻时的账，当时就到手了；后来的账单，当时没人去看。威廉斯说的是：身体里的基因，也在做这样的买卖，只是它们不知道。

这一条还有一个好处：它可以拿来推测。如果拮抗多效是对的，那么人为地压住晚年的某个害处，应当会让年轻时的某个好处跟着变差。这类检验，实验室里已经做了不少，结论并不总是整齐，本书不替它们下定论〔待核〕。

第三种：资源只有这么多，花在生殖上，就省在修补上。

1977 年，英国生物学家汤姆·柯克伍德（Tom Kirkwood）提出了「一次性体细胞理论」。

他把问题换了一个角度：一个有机体能拿到的能量和材料是有限的。这些资源可以花在两件事上，一件是修补身体，一件是生孩子。修补做得越彻底，身体越不容易坏，可是留给生殖的就越少。

如果外面的世界本来就危险，一个个体迟早会死于意外，那么把身体修得永远不坏，就是浪费。更划算的分配，是把身体修到「够用」，把省下来的资源投到生殖里。身体是一次性的，像一件只打算穿几季的衣服，做工不必按穿一辈子来。

这一条讲通的，是第三件事：衰老和有机体怎样分配自己的资源有关。它把前两条讲的「选择看不见」「选择换来」，落到了身体内部一笔一笔的账上，可以去测：修补花了多少，生殖花了多少。

三种答法并不互相排斥。今天的教科书往往把它们一起讲，当作衰老演化的三根柱子。它们都对。

◆ 四、三种答法，各偏一头

可是对，不等于看全了。

换一副眼镜看，这三种答法各自押在了不同的地方。本书用「三头」来分：客体那一头，是能被复制、能被测出来的结构；互动那一头，是一方和另一方之间的交换；主体那一头，是有机体自己维持自己、自己做分配。

梅达沃偏在客体那一头。他讲的主角是突变，一个个落在染色体上的、可以被复制下去的改变。选择看不见它们，它们就攒下来。整个故事里，有机体只是这些突变路过的地方。

威廉斯偏在互动那一头。他讲的主角是一笔交换：年轻的好处换老年的坏处，早的换晚的。故事的骨头是这笔买卖划不划算。

柯克伍德偏在主体那一头。他讲的主角是一个会分配资源的有机体：它把多少花在修补，多少花在生殖。故事的骨头是有机体自己的那本预算。

本书说的「偏」，不是说它们错了，是说每一家把故事的重心放在了一头，另外两头当成了背景。梅达沃的突变要落在会死的身体里才有意义；威廉斯的交换要有一个能把早晚两笔账连起来的身体；柯克伍德的分配要有一个把资源分给「生殖」与「修补」两边的界线。

这三头怎样对位，是本书的一个编码假说，不是学界的定论。你也可以把威廉斯看成偏客体，因为他讲的仍是一个基因。本书这样分，是为了看清下一件事。

◆ 五、它们都没问的那一句

三种答法有一个共同的起点，起点处有一句话，谁也没说出口。

再看一遍。梅达沃说，晚发的突变「已经被传给了孩子」；威廉斯说，年轻时的好处让个体「生得多」；柯克伍德说，资源在「修补身体」与「生殖」之间分配。

三句话里，都已经站着一条分好的界线：一边是身体，一边是要传下去的那一部分。身体是会老、会坏、会被丢掉的；生殖细胞是要被记进下一代的。

这条线是谁画的？

在三种答法里，它是现成的，是故事开始之前就已经在那里的。它们讨论的是：线的这一边要花多少、那一边要花多少；这一边的害处选择看不看得见。它们没有问：为什么身体这一份，从来不算进下一代的账？

你可以想一下：如果一种生物的身体里，任何一个细胞都有机会长成新的个体，这条线还在不在？如果有一种生物，整个身体就是一团可以不断分出新个体的细胞，它会不会老？

这条线在生物学里有一个很老的名字。十九世纪末，德国生物学家魏斯曼（August Weismann）就主张，身体的细胞和生殖的细胞是两条路：生殖的那一条

传下去，身体的那一条随个体死去〔待核〕。这个想法后来被叫作「魏斯曼屏障」，教科书里写得很自然。三种衰老理论都站在它上面，没有人觉得这需要解释。

可是你想想看，这是一件多么奇怪的事。一个受精卵分裂了几十轮，变成几十万亿个细胞。其中极少一部分被留作「生殖的候选」，其余的全部是「身体」，注定要在这一代终了。这个分配，是一个结构在做的，而不是一个自然的、从一开始就有的事实。

不少生物并不这样。一株草莓会沿着地面伸出匍匐茎，每隔一段长出一棵新苗，新苗与母株一模一样，它们算同一株，还是许多株？一条水螅可以从身体的一侧长出芽来，芽长大了脱落，成了新的水螅。在这些生物那里，哪一部分是「身体」、哪一部分是「要传下去的」，没有一条那样清楚的线。

第 23 章回到这里，那时本书会给出自己的答案。这里先把这句话写下来：三种答法都默认，身体和生殖系的账本早已分好。

◆ 六、先还柯克伍德一个公道

在往下走之前，要先把柯克伍德的看见写足。因为他离本书要说的东西最近。

一次性体细胞理论最了不起的地方，是它让衰老变成了一个可以算账的问题。在他之前，衰老常被说成「磨损」，像机器用久了会坏；可是机器没法自己修，生物是会修的。柯克伍德问的是：既然会修，为什么不修好？他的回答是：修是要花钱的，钱只有这么多。

这个回答有很多后续的证据支持。比如，在天敌多、意外死亡率高的环境里，一些动物演化出更快的衰老；在天敌少的岛屿上，同类动物往往老得慢〔待核〕。这正符合「外面越危险，越不值得修好身体」的推论。

美国生物学家史蒂文·奥斯塔德（Steven Austad）有一项常被引用的研究：他比较了美国大陆上的弗吉尼亚负鼠和一座近岸岛屿上的同种负鼠，岛上的天敌少，据报告，岛上的负鼠老得更慢，也更晚开始繁殖〔待核〕。这个故事讲得很顺，所以更要提醒一句：它是一个野外比较，不是一次受控实验，不同种群之间还有许多别的差别。本书只拿它说明，这套理论是可以拿到野外去量的。

再说回来，柯克伍德这套理论有一个很家常的比喻：同样是做一件衣服，你打算穿一辈子，就会用好布、缝细线；你只打算穿一季，就只会缝到不开线为止。身体也是这样，它会按「预计能用多久」来决定把工做到几成。

所以本书不反驳一次性体细胞理论。本书要做的，是在它的账本上再加一行：资源怎样分是一回事，这些资源记在谁名下是另一回事。这一行，要等到第三编才写得出来。

◆ 七、选择的力气，怎样随年龄变小

梅达沃的道理，后来被人写成了数学。1966 年，英国的威廉·汉密尔顿（W. D. Hamilton）发表了一篇讨论自然选择怎样塑造衰老的论文〔待核〕。他算的是：在一个有外部死亡的种群里，某个年龄段出现的变异，对整个种群的适应度能有多大的影响。他的结论，大意是：这个影响随年龄一路往下走，过了生育期，就快要变成零。

先用一个假设的小数目看一眼。数目是为了看清道理，不是测来的。

设想一群动物，每年因为意外死去一半。开头是一百只，一年后剩五十，两年后二十五，五年后不到四只，十年后，平均下来一只也剩不下。再设想有一个有害变异，要到第五年以后才发作。一百只里，能活到发作的，不到四只。选择想靠这四只去淘汰它，而它们早在发作之前，大多已经生过孩子。

这就是「选择的力气随年龄下降」。

你可以把它想成一辆从早到晚都在上人、下人的公交车。站台上有个检票员，想认清每位乘客的品行。越靠近终点站，车上的人越少，他能认清的乘客也越少。到了终点，车里已经没人了。

这里要说清一个条件。选择力气下降，要有外部的死亡做前提。一种生物若几乎不会被意外夺走性命，比如被照料得很好的笼养动物，这条曲线就会缓得多。所以梅达沃的道理不是「一切生物必然衰老」的定理，而是一个条件句：在外面有死亡的地方，选择管不到晚年。

◆ 八、实验室里的验算

理论说得通，还要拿去量。最常被引用的一类实验，用的是果蝇。

美国生物学家迈克尔·罗斯（Michael Rose）在 1980 年代做过一组选择实验〔待核〕。他把果蝇分成两类饲养。一类照常，年轻就繁殖；另一类，只让较晚才产卵的雌蝇留下后代，一代一代这样挑。据报告，几十代之后，只留晚产者的那一类，寿命明显变长，而早期的产卵量下降了〔待核〕。

这一组结果，对前两种答法都有话说。寿命能被选择推迟，说明衰老不是不可改的磨损。早期产卵量下降，与「年轻时的好处换老年的坏处」合拍。不过，实验的细节、重复的情况和对结果的不同读法，文献里都有争论，本书不替它们裁决〔待核〕。

这里有一个容易被忽略的细节：挑选是谁在做？是研究者。这个实验里，哪一批苍蝇的卵留下，哪一批倒掉，是研究者的手决定的。实验演示了选择可以推迟衰老，而它借来的那一句「哪些后代算数」，是人写的。这件事，在第 28 章谈定向进化时会再遇到。

◆ 九、两个常见的反对

第一个反对：衰老是为了给后代让路。

这个想法很早就有，魏斯曼本人一度也这样想，后来不再坚持〔待核〕。它听上去很顺：老的不走，新的没地方。

不过它要求选择在「群」这一层挑，而群体层的选择要胜过个体层的选择，条件是苛刻的。设想群里出了一个不肯衰老的变异，它的携带者多活几年、多生几窝，在群体里自然会变多，除非有什么东西，把「让路」的好处记给了让路的那一方。这个反对错的地方不在「群」，而在它把「好处归谁」留成了空白。这类空白，正是本书要问的那一类。衰老之谜还不是回答它的地方，第 23 章再说。

第二个反对：野外的动物活不到老，衰老在自然里不重要。

过去这样想的人不少。后来，不少野外的长期追踪研究把数据放在一起，综述报告说，在许多野生种群里，能看到晚年繁殖与存活的下降〔待核〕。这一条不但没有动摇三种答法，反而是支持：三种答法要解释的，正是「野外也会老」。

◆ 十、阿远在组里问了三个人

阿远回到实验室，拿陈老师那一句话，问了组里三个人。

周一，他问一位做群体遗传的博士后。她想了想，在纸上画了一条往下掉的曲线，说：「晚发的坏变异，选择看不见，一代一代攒下来。」

周三，他问隔壁组一位做进化生态的师兄。师兄说：「年轻时多生，老了就垮，是一笔交易。」他还举了几个野外的例子。

周五，他问实验室里一位做细胞衰老的老师。老师说：「细胞每分裂一次，都要修。修要花资源，修到哪一步算够用，是个分配问题。」

三个答案，阿远都记在本子上，也都听懂了。周末他翻出来看，心里有一种说不出的别扭：三个人，谁也没有提过身体和后代之间那条线。他想不起来，这条线是什么时候有人教给他的。

他把这个感觉发给陈老师。陈老师回了三个字：「记下来。」

◆ 十一、放回日子里

退休以后，陈老师常想起那个后排的男生。

有一天她在菜市场碰见他。他已经读大学了，学的是计算机。她问他还记不记得那个问题，他说记得，后来在网上查过，「说是因为生完孩子以后，基因就不管身体了」。

陈老师说：「那你觉得，基因是怎么知道哪一部分是『身体』、哪一部分是『孩子』的？」

男生想了想：「它不用知道吧，本来就分好的。」

「本来就分好的，」陈老师重复了一遍，「我教了四十年，也一直这么讲。」

她回家后，翻出一本旧的教案。上面有她当年抄的一页板书：「体细胞——不遗传；生殖细胞——遗传。」她看着这两个破折号，第一次觉得，破折号后面那两个词，是有人替它们写上去的。

你可以试一件小事。下次有人跟你解释某件事「本来就是这样」，你只追问一句：是谁把它分成这样的？大多数时候，对方答不上来。答不上来的地方，往往就是一道没人看见的线。

后面的章节会反复用到三个可以量的量。这一章先挂上第一个：记账一致性，也就是同一批后代，被几个不同的记账人算到同一个户名下的程度。三种答法讲衰老，都没有量过它：身体和生殖系的账，到底是同一个人在记，还是各记各的。

带走的话

选择没有放过衰老，是身体从来就不在它的账上。 ◆

小账

拆了什么：拆了「衰老难题已经被三种答法解决」的印象；三种答法各偏一头，都讲通了一段。

立了什么：立了一句没人说出口的话——三种答法都默认身体与生殖系的账本早已分好。

第 2 章

基因派

自私的基因——生物客体的属性发生学

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一个孩子用一句话，把你几十年没想过的事问穿了。

阿远的表姐家有个八岁的儿子，叫豆豆。那阵子电视上在放亲子鉴定的节目，豆豆看得入迷，跑来问阿远：「舅舅，亲子鉴定是怎么验的？」

阿远是学生物的，觉得这题好答。他拿了一张纸，画了两个圆圈，一个写「爸爸」，一个写「妈妈」，中间画一个小圆圈，写「豆豆」。

「你身上的基因，一半来自爸爸，一半来自妈妈。鉴定的时候，看你的基因和爸爸的对不对得上。」

豆豆盯着纸看了一会儿，问：「那我身上有一半是爸爸的？」

「一半基因是。」

豆豆又问：「那另一半呢？另一半我是谁的？」

阿远想说「另一半是妈妈的」，话到嘴边停住了。孩子问的好像不是这个。他问的是：我是谁的。

这一章请出生物学里最硬的一家，它对这个问题有一个干脆的回答。

◆ 二、复制子的道理

基因派的回答是：你是基因的。准确地说，你是你身上那些基因用来把自己复制下去的一个工具。

这个说法最出名的版本，来自英国生物学家理查德·道金斯（Richard Dawkins）1976　年的《自私的基因》〔待核〕。它的底子更早，来自乔治·威廉斯

1966 年的《适应与自然选择》〔待核〕，以及 1960 年代以来群体遗传学的一系列工作。

道理是这样的。

一个人活几十年就死了，他的身体传不下去。他的孩子也不是他的复制品，而是父母两边的基因洗牌之后的新组合。再往下传几代，组合又被打散了。

那么，世代之间真正延续下去的是什么？是一段段基因。一段基因可以在你身上，也可以在你的孩子、孙子、远房表亲身上，它的拷贝在一代代身体里传下去，比任何一个身体都活得久。

道金斯把能被一代代精确复制下去的东西叫「复制子」，把装着它们、替它们去生存繁殖的身体叫「载具」。选择最终挑的，是那些能让自己的拷贝变多的复制子。身体做的一切，跑、躲、求偶、养孩子，从长远看都是复制子在给自己铺路。

你可以把这个画面想成一份手稿和一本本印出来的书。书会旧、会破、会被扔掉；手稿上的那几行字，却被一版再版地印下去。演化看的是哪几行字印得最多。

本书把基因派叫作「生物客体的属性发生学」：生命的种种属性，眼睛、翅膀、合作、攻击，都从复制的结构里长出来。客体，是能被复制、能被测出来的那一头。

◆ 三、它最硬的一块：亲缘选择

基因派最硬的一块，是它解开了合作的难题。

达尔文自己就被一个现象困扰过：工蜂、工蚁不生孩子，一辈子替蜂后干活，有的还会为保卫蜂巢去死。选择不是留下生得多的吗？一个不生孩子的性状，怎么能被选择留下来？

1964 年，英国生物学家威廉·汉密尔顿（W. D. Hamilton）发表了关于亲缘选择的论文〔待核〕，给出了答案。

他的意思是：你身上的一个基因，在你的亲属身上也有一定的概率有拷贝。你帮亲属多生了孩子，就等于帮这个基因多留了拷贝。只要帮出去的好处，乘上你和亲属共有这个基因的概率，大于你自己付出的代价，帮忙的那个基因就会被选择留下来。

这条规则后来被写成一个简单的不等式，叫「汉密尔顿法则」。式子里的那个概率，叫「亲缘度」，常写作 r。

这一条威力很大。它解释了为什么蜜蜂、蚂蚁里不育的工职那么常见，为什么很多动物会为亲属发出报警的叫声，为什么父母会为孩子付出那么多。几十年来，大量的野外观察和实验支持它。

拿一个家常的例子想一想。一对双胞胎姐妹，姐姐没有生孩子，却把妹妹的三个孩子带大，供他们读书。从姐姐自己的「后代数」看，她是零；从她那一半和妹妹相同的基因看，她的照顾，帮了这些基因的拷贝。汉密尔顿的算法，把这份帮助算了进去。

这类算法有个厉害之处：它不要求姐姐「知道」基因，也不要求她算账。它只说，如果某种倾向——愿意帮亲属——在统计上让这类基因变多，这种倾向就会留下来。

这是基因派最硬的一块，到今天也没被推翻。本书后面会一再用到它。第 18 章还会专门讲，本书的一个关键量和亲缘度有什么不同，那时也要先还汉密尔顿一个公道。

还有一件更基础的事，基因派也是对的：复制保真是真的。一段 DNA 被复制时，出错的概率非常低，细胞还有一整套校对和修复的机器。没有这份保真，形式守不住，谱系就散了。本书第三编会把这份保真叫作「真守」：谱系把形式守住。

◆ 四、它借来的那一笔

不过，基因派在一个地方借了东西，自己没有推出来。

再看那幅画面：复制子，载具。复制子要变多，得靠载具去生存、去繁殖。可是载具是什么？谁是那一个载具？

道金斯的回答，大体是：载具就是那个装着复制子的有机体，一个人、一只蚂蚁、一棵树。可是这个「那一个有机体」，在复制子的道理里推不出来。复制子只会被复制，它不会画出一个身体的边界。

举一个基因派自己也很熟悉的例子。

一个有性生殖的生物，生殖细胞形成时，每对染色体只有一条能进入卵子或精子。正常情况下，这是公平的：每一条都有一半的机会。不过有一类基因会作弊，它们能让自己进入生殖细胞的机会远远超过一半，代价是损害整个身体。生物学家把这类基因叫「分离偏离因子」，道金斯自己也讨论过这类「法外之徒」〔待核〕。

一个身体之所以还像一个身体，而不是一群各自作弊的基因，靠的是什么？靠的是那套让每一条染色体机会均等的分裂机制，以及一整套压住作弊者的装置。有人把基因组比作一个「议会」：多数基因靠公平分裂才能一起受益，于是联手压住少数作弊者〔待核〕。

注意这里发生了什么。决定「下一代算在哪一条染色体名下」的，不是复制本身，而是一道分裂的规矩。复制子的拷贝能不能进入下一代，要先过这道规矩。

再往外看一层。道金斯后来写了《延伸的表型》〔待核〕，说基因的作用不止于身体，河狸的水坝、蜘蛛的网、寄生虫对宿主的操纵，都是基因的「表型」延伸到了身体之外。这个说法很有力，不过它借得更多：水坝是在一条河里、一片环境里起作用的；寄生虫的操纵要经过宿主的身体。那些「延伸」出去的部分，靠的是有机体和环境之间的来往。

所以基因派的推导里有两笔借来的东西。一笔借自主体那一头：一个会生存、会繁殖、有边界的有机体。一笔借自互动那一头：有机体和环境之间的来往。

借本身没有错。每一套理论都要借。问题在于，基因派默认后代「算给复制子」，好像这一笔是复制本身推出来的。其实不是。复制决定拷贝像不像，决定拷贝有多少；拷贝记在哪一个名下，是那道分裂的规矩、那个身体的边界、那片环境一起做出来的。

◆ 五、基因派不是一句口号

在继续之前，要避免一个常见的误会：以为基因派就是「基因决定一切」。

认真读下去，基因派里最严肃的人，从来没有这样说。威廉斯在《适应与自然选择》里反复提醒，不要在没有证据的地方到处找「适应」；道金斯也说过，基因影响

行为，不等于行为不能改。他们说的是：从长时间看，哪一类变异能留下来，要看它的拷贝能不能比别的拷贝更多地留下来。这是一个关于「谱系怎样延续」的论断，不是一个关于「人是什么」的论断。

所以，要和基因派对话，不能拿「人不只是基因」去反驳它。它同意。它要说的只是：在谱系延续这件事上，复制的结构是最稳的那一条线。

还有一个常被忽略的贡献：基因派把演化变成了可以计算的东西。种群遗传学里，一个突变的频率怎样随世代变化，要用几个量写成方程：突变率、选择系数、种群大小。方程的解可以拿去和测序数据对。这使得演化生物学从讲故事变成了可以检验的科学。第三编谈「读数」时，本书会把这件事当作生物学最大的成就之一。

◆ 六、亲缘选择里也有一本账

再回到亲缘选择。本书在这里要多说一句，这是本书的看法，不是汉密尔顿的原话。

汉密尔顿法则里，你帮亲属多生的孩子，「算」进了你那个基因的成绩。生物学家后来把这叫「包容适应度」：一个个体的适应度，包括它自己的后代，也包括它帮亲属多生的那一部分，按亲缘度打折。

这是一种记账的办法。它决定了别人生的孩子，有多少算到你的账上。这个办法很好用，算出来的结果也和观察对得上。可是它本身就说明了一件事：后代算谁的，不是自明的，是要定一个规则去算的。

汉密尔顿把规则定得很巧，基因派接过去用。不过规则从哪里来、在生物身上由什么结构执行，这件事在基因派里没有被当成一个问题。

本书对基因派的一句话是：复制决定像不像，不决定算谁的。

◆ 七、把客体的发生学写成一句话

本书把基因派叫作「生物客体的属性发生学」，这个名字值得拆开说一遍。

「客体」，是指能被拿出来、被复制、被测量的那一头。一段 DNA，可以被提取，可以被测序，可以被拿去和另一段对。它在显微镜下、在测序仪里，都是一个「摆在桌面上的东西」。

「属性发生学」，是指一个东西的性质是怎样长出来的。基因派的回答是：从这个东西的结构上长出来。蛋白的形状从序列上长出来，行为的倾向从神经的连接上长出来，种群的变化从频率上长出来。结构决定属性。

这个回答，在客体那一头是完整的。你问：这个蛋白为什么结合这个分子？答：因为它的序列折成了这个形状。这一问一答，不需要别的。

可是问题换成「这一份后代算谁的」，客体那一头就不够了。同一段序列，在一个细菌里，在一株植物里，在一个被人饲养的牲畜里，被「记」的方式不同；记法不同，谱系就不同。序列自己，说不了这件事。

这就是第 8 章要收的欠条里的第一张。先把它记在这里。

◆ 八、蜜蜂的账，和它成立的条件

汉密尔顿法则最爱用的例子，是蜜蜂、蚂蚁这一大类膜翅目昆虫。它们的性别由一套特别的办法决定：雌蜂由受精卵发育，有父亲也有母亲；雄蜂由未受精的卵发育，只有母亲。结果是，同一位父亲生的姐妹之间，共有基因的比例特别高。按教科书的算法，姐妹之间的亲缘度是四分之三，比她们和自己将来孩子之间的二分之一还高〔待核〕。于是有人推想：与其自己生，不如帮蜂后养妹妹。

这个推想漂亮，也有后话。蜂后常常同好几只雄蜂交配，不同父亲的姐妹之间，亲缘度就被拉了下来。还有些社会性昆虫并没有这套性别决定。后来的研究者因此一直在争：这套性别决定，到底是社会性演化的原因，还是之后才有的条件〔待核〕。本书不裁这场争论。

把这个例子放在这里，是为了写清基因派完全成立的条件：谱系清楚，谁是谁的姐妹，算得出来；拷贝的去向可以追踪；每一个「户」的边界，在算之前就已经划好。条件齐了，它的预测又准又细。条件不齐的地方，比如一群边界说不清的细胞，它要先借别人划好的线才能开算。

◆ 九、一个常见的反对：规矩不也是基因写的吗

读到这里，会有人替基因派说话：你说户名是分裂的规矩、身体的边界做出来的，这些规矩、边界，不也是基因编码出来的吗？

这个反对说对了一半。分裂要用的蛋白，管边界的细胞膜成分，压作弊者的机制，背后当然都有基因。这些基因本身也是演化的产物，是被选择留下来的。本书同意。

不过要看这个同意落在哪里。它说明规矩是演化出来的，没有说明规矩与复制是一回事。同一个基因放进不同的规矩里，它的拷贝记到谁名下，就不一样。拿两种生物对照：有性生殖的动物，一个受精卵发育出整个身体，只有一小部分细胞留作生殖；一株草莓，靠匍匐茎，从身体的任何一段都能长出一棵新苗。不必假设两者的基因有多大差别，只看记法就够了。

这个对照怎样读，第 23 章还要用。这里先记下一句：基因决定规矩是用什么零件造的，规矩决定拷贝进谁的账。

◆ 十、「豆袋遗传学」之争

基因派曾被人批评过一个说法，叫「豆袋遗传学」：好像把一堆豆子装进袋里，一粒一粒地数，仿佛基因彼此无关。提出这个批评的人里，有恩斯特·迈尔（Ernst Mayr）〔待核〕。为它辩护的人里，有 J. B. S. 霍尔丹（J. B. S. Haldane），他的辩护大意是：数豆子是一种记账的办法，账面上的算术本身没有错〔待核〕。

这场争论给本书留下一句话。「记账」这个词，生物学家自己早就用过。他们承认，账面上的数字，要靠一套约定才算得出来：哪一粒豆子算一粒，哪一袋算一袋。这套约定，在数据库里是编号，在田野里是记号笔，在种群遗传学里，是写在方程第一行的那句「设种群大小为 N」。

那个 N，是谁数的？

◆ 十一、一荚豆子，和三比一

陈老师教遗传，有一节课是带学生数豌豆。

那是孟德尔的老实验：圆粒豌豆和皱粒豌豆杂交，后代里圆的和皱的，比例接近三比一。孟德尔当年数了七千多粒，据记载，圆粒五千四百多，皱粒一千八百多，比值在二点九六上下〔待核〕。

课堂上没有七千粒。陈老师给每个小组发了几荚豌豆，让他们剥开，数圆的、皱的。结果很不齐整：一荚七粒，有的七比零，有的四比三，有的二比五。学生急了：「老师，三比一呢？」

「你们把各组的加在一起看看。」

加到全班，数字才慢慢靠近三比一。

陈老师在黑板上写了一行字：「定律在加法之后。」她没有多说。学生们那天记住的是，一荚豆子是一户，一户里看不出规律；规律要在许多户加起来之后才出来。至于哪几户加在一起、哪几户另算，是老师在讲台上定的。

三比一是真的。不过，它是在一道记账的手续之后才被读出来的。

◆ 十二、放回日子里

后来阿远又去表姐家，豆豆还记着那个问题。

阿远想了几天，换了一个答法：「你身上的基因，一半像爸爸，一半像妈妈。可你算谁家的孩子，不是基因说了算的。是你出生的时候，医院在出生证上写了谁的名字，家里在户口本上把你记在哪一页。」

豆豆说：「那要是写错了呢？」

阿远说：「那就要去改。改的时候，要拿基因去对一对。」

「所以基因是用来对的，不是用来写的？」

阿远愣了一下，笑了：「差不多。」

阿远把这段对话讲给陈老师听。陈老师听完，说：「这孩子比你们实验室的人问得好。」又说：「他问的是户口本，你们答的是化验单。」

阿远这回没有反驳。他想起实验室里，每一份样品都要贴标签，写上编号、日期、是谁的。没有标签的样品，哪怕序列测得再准，也进不了数据库。标签不在序列里，在那个贴它的人手里。

你也可以试一试。下次你听到「这是基因决定的」这句话，先别急着同意或反对，只分开问两件事：基因决定的，是像不像，还是算谁的？你会发现，很多「基因决定」的说法，其实只讲了前一半。

这一章可以先挂一个量：持有者的利害。基因抄得再准，自己没有利害，它也不会替任何一份后代挑户名；谁有利害，谁的记法就会偏。以后每遇到一道记账的口，先问一句：这个持有者，自己有没有利害。

> 带走的话
>
> **基因能把形式抄下去，却不会自己写上户名。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「后代天然算给复制子」这个默认；载具的边界和延伸表型，都借了有机体与环境。
>
> 立了什么：立了基因派看对的那一头：复制保真与亲缘选择；也立了一句话——复制决定像不像，不决定算谁的。

第 3 章

生态位派

生态位构建与共生——生物互动的属性发生学

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一件事做成了，大家都说是自己的功劳，你却觉得，真正出力的是另一个谁也没提的东西。

学校后院有一小块荒地，陈老师带学生在那里种过菜。有一年秋天，她让学生蹲下来看蚯蚓翻出的细土堆，一粒一粒，像撒过的小米。

「这片地，」她说，「是它们耕的。」

蹲在最前面的女生抬头问：「老师，那后来地肥了，菜长得好，是算蚯蚓的功劳，还是算菜的？」

「算菜的怎么讲？」

「因为是菜长得好呀。」

「算蚯蚓的怎么讲？」

「因为地是它们翻的。」

两个孩子争了起来。陈老师没拦。她想的是另一个问题：蚯蚓翻土的时候，并不知道自己在种菜；菜长得好，对蚯蚓的后代，又有什么好处？

这一章请出生物学里的第二家。它盯着的，正是那只蚯蚓。

◆ 二、有机体会改土

生态位派的出发点，是一个看上去很朴素的事实：生物不只是适应环境，它们也在改造环境。

河狸咬断树木，筑起水坝，一条溪流变成一片池塘，池塘边长出新的植物，来了新的鱼和鸟。白蚁堆出高高的蚁丘，里面的温度和湿度，比外面稳定得多。植物的根往土里分泌酸，改变周围的土壤；蚯蚓把落叶拖进土里，让土变得疏松、肥沃。

达尔文自己对这件事就有兴趣。他晚年专门研究过蚯蚓，1881 年出版了一本关于蚯蚓怎样形成腐殖土的书〔待核〕，算了一年里一亩地上的蚯蚓要翻起多少土。

二十世纪后半叶，美国生物学家理查德·列万廷（Richard Lewontin）把这件事推到了理论的中心。他在 1983 年一篇题为「有机体是演化的主体与客体」的文章里说〔待核〕，主流的说法把环境当成一个「问题」，把有机体当成「解答」：环境先提出难题，有机体靠变异去碰运气，碰上的留下来。这个说法里，环境是现成的、不动的、在那里等着挑人。

列万廷说，这是半幅图。有机体不只是被环境挑，它也在改环境、选环境、决定自己遇到什么。环境不是一个独立的、预先给定的东西；它有一半是有机体自己造出来的。

后来，英国的奥德林-斯米（John Odling-Smee）、凯文·拉兰德（Kevin Laland）和马库斯·费尔德曼（Marcus Feldman）把这个思想系统化，在 2003 年出版了《生态位构建》〔待核〕。他们的核心意思是：有机体通过自己的活动改变环境，这些改变会持续存在，并改变后代所面对的选择压力。这条反馈回路，不是演化的副产品，而是演化的一个起因。

这家人为什么值得认真对待？因为它有硬的数学。他们把生态位构建写进了群体遗传学的模型，证明在某些条件下，构建活动能让基因频率朝着没有构建就不会出现的方向走，甚至能让一个对个体不利的性状固定下来。

本书把这一家叫作「生物互动的属性发生学」。互动，是有机体和环境之间来来回回的那一头。这一头的属性，比如一种动物能不能在某处生存，是在这来回之间长出来的，不是单靠基因，也不是单靠环境。

◆ 三、土是会传下去的

生态位派有一个概念，名字有点拗口，叫「生态遗产」，英文是 ecological inheritance。意思很朴素：一代生物走了，它们改过的土还留着，下一代就在这块改过的土上出生。

这件事你家里就有。你出生那年，爷爷在院子里种了一棵枣树。你长大了，枣树也长大了，夏天乘凉，秋天打枣。你没有种那棵树，你继承的是它。你的孩子再出生，继承的是你和爷爷留下的整个院子。

放到生物上，意思就更重了。河狸一代代筑坝，坝一代代加高，池塘越来越大。最早筑坝的河狸早就死了，它们的后代出生在一个已经被改造过的溪谷里，这个溪谷对它们的生存、觅食和躲避天敌，都产生影响。这一份影响，不是通过基因传下去的，是通过这块土传下去的。

于是出现了一个有意思的情形：同一个种群，基因没有变，因为土变了，选择压力就变了。反过来，因为选择压力变了，种群的性状又跟着变，再反过来作用于土。生态位派给这条回路，写出了数学模型，并用模型说明：这样的传递，有时能让某个性状的演化，跑得比单靠基因的传递快得多，或者慢得多，甚至朝着相反的方向走〔待核〕。

这一点，是这一家最扎实的贡献。它让「环境」不再是一块背景布，而成了有历史的东西。

不过，你要注意一个微妙之处。土能传下去，可是土传给了谁？河狸的坝，传给了河狸的后代，也传给了住进池塘的青蛙、水草和蚊子。同一块土，所有路过的生物都能用。那么，这块土算谁的遗产？生态位派的模型里，这件事是通过设定来回答的：谁构建，谁就是土的所有者，土改变的是它自己后代的选择压力。可是青蛙也在受益，也在受影响。设定里把青蛙放在了模型之外。

这个小小的设定，就是下面第六节要谈的那一笔。先放在这里，有个印象。

◆ 四、共生：谁是谁的一部分

生态位派还有一块根基，是共生。

你的肠道里住着几百万亿个细菌，它们帮你消化、帮你训练免疫。这是共生，但还算松散：它们是外来者，你把它们养在里面。

更深的共生，是把对方变成了自己的一部分。

二十世纪六十年代，美国生物学家琳·马古利斯（Lynn Margulis）提出，真核细胞里的线粒体和叶绿体，原本是独立生活的细菌，被另一个细胞吞进去，没有消化掉，反而住下来，一代一代，成了细胞的器官〔待核〕。这个想法起初遭到许多人反对，后来在基因序列上找到了强的证据：线粒体里的 DNA 和某类细菌更近，它的核糖体也更像细菌的。

这件事的分量很重。你身上每一个细胞里，都有几百到几千个线粒体，它们曾经是别人。你这具身体是一场很早很早的合并的产物。

所以，生态位派有一个深刻的提醒：「一个生物」的边界，不是自然给定的。两个原本各活各的生命，可以合成一个。在演化的长河里，这样的合并发生过不止一次。

不过，共生并不总是和气的。

豆科植物，比如大豆，根上长着小小的瘤，里面住着根瘤菌。根瘤菌能把空气中的氮变成植物能用的氮肥，植物则给它们糖和住处。这是一笔互惠的交易。可是，并不是每一只根瘤菌都老实干活。有的菌在根瘤里「偷懒」，吃了糖，却不固氮。

2003 年，美国生物学家 E. 托比·基尔斯（E. Toby Kiers）和同事做了一个实验〔待核〕：他们人为地把大豆根瘤周围的气体换成不含氮气的混合气，让里面的根瘤菌没法固氮。结果据报告，植物减少了对这些「偷懒」根瘤的氧气供应，里面根瘤菌的繁殖也随之下降。也就是说，宿主在惩罚不合作者。

请把这件事记在心里。第 11 章、第 17 章要用到它。这是整个生物学里，一道看得见的「记功口」：宿主决定，哪些共生者的后代能够继续繁殖，哪些不能。

◆ 五、先还生态位派一个公道

生态位派看对了什么，要写足。

它看对的第一件，是环境不是被动的筛子。选择不是一台立在那里、给每个路过的个体打分的机器。有机体会走动，会挑地方，会改地方。在很多情况下，环境本身就是有机体前几代留下的东西：树上的巢，土里的洞，池塘里的水。

它看对的第二件，是反馈是真的。有机体改了环境，环境回头改变选择压力，选择压力再改变有机体。这条回路一旦成立，演化的速度和方向都会变。人类的例子被广泛引用：很多人到成年还能消化牛奶，被认为与几千年的乳畜业有关〔待核〕。养牛改了人的饮食环境，环境回头选择了能消化乳糖的基因。第 32 章还会回到它。

它看对的第三件，是「个体」的边界不是现成的。线粒体的故事，说明一个生物可以是另一个生物的内部。后来的共生研究者，把整个动物或植物与它身上的微生物，合起来叫「共生功能体」，认为演化的对象可以是这个整体。

这三条，到今天都是成立的。本书不反驳其中任何一条。

◆ 六、它没分开的两件事

不过，生态位派也借了东西。

回到蚯蚓。「这片地是它们耕的」，这一句话里，已经站着一个「它们」：一群蚯蚓。生态位构建的理论里，也总有一个「构建者」：改了环境的那个有机体，那个物种，那个种群。构建者是谁，被当成了给定。

但在很多情况下，这个「谁」并不清楚。

一池塘的水草，是哪一株改了水？一片珊瑚礁，是哪一个珊瑚虫造的？一个蚁丘，是哪一只工蚁堆的？理论上可以说，「蚁群」是构建者。可是蚁群是不是一个个体，恰恰是需要说明的事情。后面第 18 章会看到，一群细胞什么时候算一个个体，要看账怎样记。生态位派没有问这件事，它让「构建者」直接进了场。

再看一遍共生。根瘤菌被惩罚，这件事被生态位派当成「互惠与欺骗的博弈」来讲。这没有错。可是换一个角度看：宿主的惩罚，决定了哪一些根瘤菌的后代能继续繁殖。这不是单纯的博弈，这是一道关口，决定「哪一份后代记进下一代的账」。生态位派看见了这个现象，没有把它当成一个需要单独拿出来讲的结构。

本书在这里要留一个伏笔。互动那一头，其实是两件事：

一件是**换土**：有机体改了环境（生态位构建）。

一件是**记功**：环境、宿主、配偶，决定哪些后代算谁的（记功口）。

生态位派讲透了第一件，把第二件和第一件搅在了一起，当作同一回事。第 14 章会把这两件拆开，第 17 章会把第二件完整讲出来。

◆ 七、把互动的发生学写成一句话

前一章说基因派是「客体的属性发生学」，这一章也要把生态位派的名字拆开。

「互动」，指的是一方和另一方之间来来回回的那一头：有机体和环境，宿主和共生者，雌和雄。它不是摆在桌面上的东西，而是发生在两者之间的事。你没法把一次互动拿出来放在显微镜下，你只能看到它留下的痕迹：被翻过的土，被截断的溪，被减少的供氧。

「属性发生学」，是说一个东西的性质，怎样从这样的来来回回里长出来。生态位派的回答是：从反馈里长出来。一种动物为什么能在某处生存，不只看它的基因，也不只看那里的气候，而要看它和那里的土一起走过了多少代。

这个回答，在互动那一头是完整的。你问：这片池塘为什么能养活这么多鸟？答：因为河狸一代代筑坝，把一条溪变成了湿地。一问一答，不需要再借什么。

不过，当问题变成「这一份后代算谁的」时，互动那一头也不够了。反馈可以告诉你土怎样被改，却不能告诉你土的好处记给了谁。第 14 章会把这个缺口，写成一张可以核对的码表。

◆ 八、蚯蚓的账，达尔文算过

陈老师的蚯蚓，有个老前辈。

达尔文 1881 年那本书里，有一段算账。他估计，在英国一些肥沃的园地里，一英亩土中住着数万条蚯蚓，它们一年翻到地面的细土，按他的推算有十吨上下〔待核〕。他还留意过一块放在田里的大石头，据记载，石头在几十年里慢慢下沉，他的

家人后来接着去量〔待核〕。这是个很家常的实验，不需要仪器，只要有耐心，有一把尺子。

这个例子说明，生态位派的材料不是空想。蚯蚓改土，是可以量的：翻了多少，沉了多少，肥了多少。不过要看清，达尔文量的是土的变化，没有量「哪些蚯蚓的后代因此多了」。第二个量，他的时代也没法量。到了今天，量法有了，问题也跟着换了：土变好了，好处到了谁的账上，要看这块土传给了谁。

◆ 九、土只传给自家人的时候

生态位构建的模型，在什么条件下最漂亮？答案是：构建者的后代，恰好就是改动之后那块土的受益者。

想一棵长在窗外的枣树，爷爷种的，你家吃。这里构建者的谱系与土的受益者重合。这种时候，说「构建改变了后代面临的选择」，一点也不勉强。白蚁的蚁丘、河狸的坝，大致也是这个样子：筑的是自己这一群，用的也是自己这一群。模型里写进去的参数，反映的就是这种「土传给自己人」的情形。

条件一放松，事情就变了。同一条溪里，河狸筑的坝让青蛙、水草、蚊子一起受益；同一片地里，蚯蚓翻的土让邻近的杂草和种下的白菜一起长好。这时候，「构建者的后代得利」不再自动成立，好处可以流向任何人。

生态位派自己把这个前提说得很清楚：构建的好处要有某种局限，局限在构建者的后代那一边〔待核〕。它不遮掩，是公开的条件。本书想看的，只是它怎样实现：好处是怎样被局限在自己人那边的？有时靠地理，土就在巢边；有时靠一道专门的结构。

◆ 十、把共生者带在身上

切叶蚁的蚁后，据报道，在婚飞离巢之前，会在口腔里带上一小团自家蚁巢里养的真菌，到了新地方，用它开出第一块菌圃〔待核〕。蚜虫体内有一类共生细菌，叫布赫纳氏菌（Buchnera），据说是通过卵一代代传下去的，母蚜的卵里就带着它们〔待核〕。

这两件事的共同点是：共生者不是在路上碰巧遇到的，是被带上的。「带上」这个动作，本身就决定了下一代的共生者是谁家的。

生态位派把这类现象叫垂直传递，把它看成稳定共生的一个条件。本书的看法是：它是一种具体的结构，不告诉你谁出力最多，只告诉你下一代的账从哪一页开始。后面第 17 章会把这一类结构统称为记功口。这类结构的好坏，是可以量的：下一代里共生者来自同一个亲代的比例有多高，带错了、带丢了的有多少。

◆ 十一、一个反对：参数设一下不就行了

生态位派的人可以这样回应：你说的「传给谁」，模型里早有现成的参数。设成 1，是全部传给自己人；设成 0，是全部给别人；设成中间值，是一半一半。这不就把你的话包括进去了吗?

对，模型可以包括它。本书没有说模型不行，要说的是这个参数的值从哪里来。

一个参数设成 1，在现实里要有东西让它是 1：一团带上路的真菌，一枚带着共生菌的卵，一道惩罚偷懒者的关口。这些东西是长在生物身上的结构，会出毛病，会被作弊者钻空子，在不同的物种里做得有好有坏。惩罚之后偷懒者的繁殖降了多少，下一代里共生者纯不纯，都是可以拿来量的。

参数写在方程里，结构长在生物身上。本书想把后者当成研究对象。

◆ 十二、陈老师的老面

陈老师的邻居，是一位做了几十年面食的阿姨。她蒸馒头从不用现成的酵母，每次留一块老面，下次发面时揉进去。

有一回，陈老师向她要了一小块。蒸出来的馒头，味道跟阿姨家的差不多，又不完全一样。陈老师夸：「你家的老面真好。」

阿姨说：「这是我婆婆传下来的，传了几十年。」

陈老师后来想了很久。老面是一团酵母和乳酸菌合起来过日子的东西〔待核〕。借出来的这一块，到了她家，吃她家的面粉，受她家厨房的温度，过一个月，已经不

是原来那一块了；留在阿姨家的那一块，也在一点点变。各家的老面，慢慢带上各家的味道。

可它们仍然被叫作「同一个老面」。没有人在面团里写名字。名字写在话里：「我婆婆传下来的」。

◆ 十三、放回日子里

那天蚯蚓的争论没有结论。放学以后，陈老师一个人在后院又蹲了一会儿。

地确实肥了。不过她忽然想到，那一年她们种的是白菜，收的是白菜，没有一只蚯蚓因为白菜长得好而多生了孩子。蚯蚓翻土，做的是它们自己的事；白菜得了好处，是顺带的。那么这份「好处」，到底该记在谁名下?

她后来在备课笔记里写了一行字：「改土的，不一定是得利的。」

你也可以试试。看到一件「有人在受益」的事情，比如一个小区变得整洁，一个班的成绩变好，别急着问谁出的力，先分开问两件事：是谁改了那片土？又是谁的名字被记在了好处旁边？答案常常不是同一个人。

这一章落在一个量上：记账一致性。根瘤菌和豆科植物，各自改土，各自受益；这两笔功，是由同一个口记，还是各记各的，一致性就不一样。改土的人是谁，不能代替这个量。

> 带走的话
>
> **改了土的那一方，不一定就是功劳记上去的那一方。◆**

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「构建者是谁不用问」这个默认；根瘤的例子说明，惩罚不合作者的宿主，做的是另一件事。
>
> 立了什么：立了生态位派看对的那一头：有机体会改土，土回头选有机体；并留下一个伏笔：互动其实是换土和记功两件事。

第 4 章

有机体派

自维持与能动——生物主体的属性发生学

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：看着一只小动物，觉得它「好像知道」自己在干什么。

阿远在实验室用显微镜看草履虫。草履虫是一种单细胞的生物，形状像一只小拖鞋，浑身长满细毛，靠细毛划水。他在载玻片的水滴边上放了一粒盐。

草履虫游到盐粒附近，忽然一退，掉了个头，绕开了。

阿远看得入神。他回头对正在隔壁桌写材料的陈老师说：「老师，它好像知道盐不好。」

陈老师走过来，看了看，说：「先别说『知道』。」

「那说什么？」

「说它躲开了。」她停了一下，「知道不知道，是另一回事。」

阿远没有立刻服气。他觉得这是咬文嚼字。不过这一章要说的这一家，恰恰是把这个区别说得最清楚的一家。

◆ 二、自己维持自己

有机体派的出发点，是一个很简单的问题：生命和非生命，差在哪里？

一块石头会被风化，一团火会烧完，一座钟会停摆。它们都在走向平衡。生命不是这样。一个细胞，只要还活着，就在不停地吃进东西、排出废物、更新自己的零件，把自己维持在一个远离平衡的状态。它不是静静地待着，而是一直在忙，忙着让自己继续成为自己。

智利的两位生物学家温贝托·马图拉纳（Humberto Maturana）和弗朗西斯科·瓦雷拉（Francisco Varela）在 1970 年代给这个想法起了名字：自创生

（autopoiesis）〔待核〕。意思是：一个系统，它的各个部分彼此制造，部分制造出来的东西，又恰好构成了制造它们的那个系统本身。细胞膜把细胞围起来，细胞内的反应制造细胞膜的材料；两者互相成全，谁也离不开谁。

后来的人，比如阿尔瓦罗·莫雷诺（Alvaro Moreno）和马泰奥·莫西奥（Matteo Mossio），把这个想法推进成「组织闭合」〔待核〕：一个有机体里的各种约束，彼此依赖，谁的存在靠别的约束来维持，谁又反过来维持别的约束，构成一个闭合的网。生命，就是这样一张自己维持自己的网。

这个想法听上去抽象，其实很生活。一座房子，砖头不会自己补自己；一个活细胞，会。你割破手指，伤口会自己长上；你饿了，身体会发出信号，让你去找吃的。有机体派把这种「自己补自己」看成生命的核心。

◆ 三、一个细菌也会「拿主意」

说「细胞有能动」，有人听了觉得夸张。那就拿一个最小的例子，看看它到底是什么意思。

大肠杆菌是一种长约两微米的小细菌，身上有几根细长的鞭毛。它在水里的行动方式，有两种：一种叫「直跑」，鞭毛朝同一个方向旋转，细菌沿着一条大致的直线游一段；一种叫「翻滚」，鞭毛换了方向，细菌原地乱转一下，然后朝着一个随机的新方向再游。

如果水里有一点糖，糖的浓度在某个方向上高一些，细菌会怎样？它并不「知道」糖在哪里。它做的事很简单：游的时候，如果感到糖的浓度在上升，就少翻滚，多直跑；如果感到浓度在下降，就多翻滚，早点换方向。多次下来，整体上，它就朝着糖多的地方游过去了。这叫趋化性。

这套机制，生物学家研究了半个多世纪，细节已经很清楚：细胞膜上有感受糖的受体，受体把信号传给一串蛋白，蛋白最后控制鞭毛的转向。整个系统很小，很精巧，也很便宜。

为什么要在这里提它？因为它是「能动」的一个最干净的样本。这只细菌在一群可选的位置里，倾向于待在糖多的地方。这种倾向，可以测：你在水里放一个糖的梯

度，数一数一段时间后，多少细菌聚在了高浓度那一端。这个比例，就是它的「觅位选择率」。

数据在那里，不需要任何关于「内心」的假设。细菌没有脑，没有神经，更谈不上意识。不过它在做一件事：根据自己的状态和环境的变化，调整自己的去向。这是最低限度的「提出、挑选、否决」：对糖的方向，它说「往这边」；对毒物的方向，它说「不」。

有机体派说，生命的这一头，不能被还原为基因，也不能被还原为环境。基因给了细菌一套受体和马达，环境给了糖的梯度，可是「往哪边去」的那个动作，是细菌自己在做。

◆ 四、能动不是意识

有机体派还有一个贡献：它让「能动」这个词回到了生物学里。

「能动」，英文叫 agency。意思是：一个东西自己去做一件事，而不是被推着走。有机体不是一块被动的橡皮泥，让环境随意捏。它会选择自己待的地方，会躲开有害的东西，会走向有益的东西。

澳大利亚的生物学家丹尼斯·沃尔什（Denis Walsh）在 2015 年的《有机体、能动与演化》里〔待核〕，明确主张：有机体在演化里不是被动的承载者，而是主动的参与者。它通过自己的活动，改变自己面对的选择压力，甚至影响自己的发育方向。

读到这里，要先把一个边界写清楚。

本书说的「能动」，不是意识，也不是意图。草履虫绕开盐粒，并不意味着它「感到」了什么、「想」了什么。这里的能动，只指它能提出、挑选、否决：对环境里的某些东西，它会走过去，对另一些，它会退开。这样的选择可以用实验来量，比如在一个梯度的环境里，一群细胞往哪边走的概率有多大。

本书后面把这个量叫作「觅位选择率」：一个有机体在可选的位置里，倾向于待在哪里。它是一个读数，不需要任何关于「内心」的假设。

这一点很要紧。如果有人说「细胞有能动，所以细胞有意识」，这是跳了一步。自维持不等于意识。草履虫能自己维持自己，也能挑地方，但没有任何证据表明它有一种「被感觉到的内心」。意识是不是只属于脑，属于哪些脑，是心理学和哲学要回答的另一个问题。本书不管。

◆ 五、先还有机体派一个公道

有机体派看对了什么，要写足。

它看对的第一件，是生命不是一堆零件的拼装。一台机器的零件，每一个都是先造好、再装上去的，装配的人是外面的工程师。生命不是这样，生命的零件是在整体里长出来、又维持着整体的。拆开来看，每一个都是别的部分的产物。这使得生命在原则上与人造的机器不同。

它看对的第二件，是能动是真的。有机体会影响自己遇到什么。一个简单的例子：同样是一片森林，不同的鸟选择不同的树枝筑巢、不同的时间觅食，它们遇到的环境，其实各不相同。这一点，让「环境对所有生物都一样」的想法站不住。

它看对的第三件，也是对本书最重要的一件：自维持，是有机体的一个真特点，也是一个可以测的特点。一个细胞，能不能在饥饿中维持自己的膜、自己的能量，是可以拿实验去量的。

这三条，本书全部接受。

◆ 六、闭合的边界从哪来

但有机体派也借了东西。

先看一个具体的问题：一个细胞团，是一个闭合，还是很多个闭合?

比如一团团的盘基网柄菌。当食物耗尽，成千上万个原本各自为政的变形虫细胞会聚拢在一起，形成一个小小的子实体，一部分细胞变成柄，死去，另一部分变成孢子，传下去。这算一个有机体，还是几万个有机体凑在一起，有机体派并没有现成的答案。

有机体派很难回答这个问题。它的核心概念是「闭合」，每个闭合自己维持自己。可是谁是一个闭合，由谁来划那条线?

在草履虫那里，答案看上去一目了然：一个细胞就是一个闭合。不过一旦到了多细胞生物，每个细胞都是自维持的，而整个身体也是自维持的。哪一层才是「那个有机体」，要另外说明。如果细胞团里有一些细胞作弊，只顾自己繁殖，不管整体，它们还算整体的一部分吗?

有机体派常常把这个边界当成给定。它说：一个有机体，就是一个组织闭合。可是这个闭合是怎样形成的、是什么在维持它的边界、边界出了问题怎么办，这些并没有从「自维持」本身推出来。

再进一步。后代算谁的，有机体派的默认回答是：算给那个自维持的闭合。一只草履虫分裂成两只，算那一只草履虫的后代，好像天经地义。可是一株竹子的地下茎，一丛珊瑚，一团酵母，一片克隆的杨树林，「那个闭合」是哪一个，答案不是一眼就能看出来的。

本书在这里没有批评自维持这个想法。自维持是真的，能动是真的。本书只指出，当问题变成「这一份后代算谁的」时，有机体派又借了一笔：闭合的边界。边界不是自维持推出来的，它要由别的东西来划。

◆ 七、把主体的发生学写成一句话

前两章把基因派和生态位派的名字拆开了，这一章也拆有机体派的。

「主体」，指的是自己去做、自己维持、自己挑的那一头。草履虫绕开盐粒，细菌游向糖，一个细胞补自己的膜，都是主体这一头在起作用。它不是一个摆在桌面上的东西，也不是两者之间的来来回回，而是一个「从里面做出来」的动作。

「属性发生学」，是说一个东西的性质怎样长出来。有机体派的回答是：从自维持里长出来。一个细胞为什么能活到明天？因为它今天把自己补好了。一个有机体为什么能对环境作出反应？因为它的各个部分彼此制造，构成了一个能够自己行动的整体。

这个回答，在主体那一头是完整的。你问：这只草履虫为什么没有被盐杀死？答：因为它检测到盐，并且转了向。一问一答，不借别的。

不过，当问题变成「这一份后代算谁的」时，主体这一头也不够了。自维持可以告诉你一个闭合怎样延续自己，却不能告诉你，闭合分出去的那一块，算它的，还是算新的闭合的。这个缺口，和前两章留下的缺口，是同一个形状。

三家的名字都拆完了。下面，该把它们摆在一张桌子上看一看，三家各看对了一头，一头是客体，一头是互动，一头是主体。那么谁来看那三头之间的接口？

◆ 八、康德的一个老想法

有机体派的想法，并不新。

德国哲学家康德在 1790 年的《判断力批判》里〔待核〕，讲过有机物的一个特点：一棵树的各个部分，彼此既是原因，又是结果；叶子养根，根又养叶子。他大意是说，这样的东西，不能像钟表那样，由外面的匠人把零件一个个装起来〔待核〕。钟表里的一个齿轮，不会制造另一个齿轮。

这一家完全成立的地方，是边界清楚的单细胞：一个草履虫分成两个，一个细菌分成两个，每一次分裂，那个闭合就是个体，新长出来的闭合就是后代。在这样的体系里，自维持几乎一手包办。第 7 章会看到，大肠杆菌的长期实验，用的正是这一类体系。

两百多年以后，自创生、组织闭合这些说法，是把这个老想法写成了可以和实验对接的语言。这一点要说在前面：有机体派不是在空中造楼，它接着一条很长的线。

◆ 九、一颗酵母身上的疤

有一个下午，阿远带陈老师去看酵母。

面包酵母是一种单细胞的真菌，繁殖的办法叫出芽：母细胞的侧面鼓出一个小包，小包慢慢长大，最后与母细胞分开，成为一个新细胞。分开的地方，母细胞的壁上留下一圈疤，叫芽痕。用荧光染料，可以把这些疤染亮〔待核〕，数一数，就知道

这颗母细胞已经生过多少个孩子。据报告，一颗母细胞一般生到二三十个芽，就不再分裂了，这个数目叫作「复制寿命」〔待核〕。

陈老师凑近目镜，看见一颗圆圆的细胞，旁边挂着一个小的。阿远指给她看：母的那颗个头大，疤多；挂着的那颗小，身上没有疤。

「哪一个是原来的？」

「母细胞。」

「那小的长大了，分开了，它也要生芽。它算谁的？」

「算新的。」

陈老师隔了一会儿，又问：「你怎么知道，那个小的不是母的一部分？」

阿远说，实验里就是用疤来认的。小的身上没有疤，所以是新生的。

「疤是谁的？」

阿远答不上来。疤留在母细胞的壁上，是母细胞身上的东西。要知道这颗细胞生了多少个，得去数它，不能去数它的孩子。酵母没有账本，只有这些疤。据说新生的芽，会重新回到「年轻」的状态，老化的痕迹留在母细胞那一边〔待核〕。这件事跟第 1 章的衰老难题有一层亲戚关系，本书先把它放在这里。

◆ 十、恒温器有没有能动

有人会问：恒温器也能根据室温调节，该冷就开，该热就关，它有能动吗？

有机体派的回答很明确，也有道理。恒温器的反馈再精巧，它的零件是外面的工厂造的，坏了要外面的人来换；它不制造自己。细胞不同，它的膜、酶和能量分子，是它自己的反应造出来的，造出来的东西又回过头去维持这些反应。

本书采用这个区分，再补两句。第一，本书说的能动，是一个可以测的程度：把一群细胞放进一个梯度里，数它们往哪边走。恒温器也可以测「开关的概率」，但它测的是别人设定的规则，不是一个自己维持着的东西在挑位置。第二，有没有意识，是另一个问题：恒温器没有，细胞据现有证据也没有。

后面讲到 AI 时，会遇到同一个区分：能提出候选，不等于自己制造自己。

◆ 十一、海绵被挤过细布之后

有一个很老的实验，常被拿来讨论「谁是一个」。1907 年，美国生物学家 H. V. 威尔逊（H. V. Wilson）把海绵挤过细密的丝布，拆成一粒粒单个的细胞，再把这些细胞放回海水里。据记载，细胞会重新聚拢，长成新的小海绵〔待核〕。

这件事对有机体派是个很好的考验。拆开以前，这是一个闭合，一块海绵；拆开以后，是几万个各自还活着的细胞；聚拢以后，又是一块海绵。闭合的边界，在这三步里来回地变。整个过程中，没有哪一步需要先说清「海绵」是什么。

这时候问「后代算谁的」，就不好回答了。聚拢出来的新海绵，说它是旧海绵的后代可以，说它是这些细胞的后代也可以。如果你拿自维持去答，那么每一个细胞都在自维持，海绵也在自维持，哪一层的自维持才算数？这个问题不是有机体派推不出来，是它没有打算去推。

◆ 十二、放回日子里

那一天，阿远在笔记本上写下：「草履虫躲开了盐。」划掉了「知道」。

回家路上，他想起实验室里另一件事。他们组养的大肠杆菌，每天要从老的培养瓶里取一点，转到新的瓶里。取多少、取哪里，是他定的。他取的那一点，成了「后代」；剩下的，倒掉了。

没有人问过大肠杆菌愿不愿意被取这一点。它们有没有能动？有。能不能决定自己的后代算谁的？不能。是他的手，决定了哪一份算数。

他把这件事讲给陈老师。陈老师说：「会自己维持自己，不等于知道自己算谁的。」

阿远在回去的车上，把这句话抄在了手机备忘录里。

你也可以试试。看见一只猫躲开水、一棵树朝窗户长，先分开问两件事：它做了什么选择？它的「后代」，是谁在算？

这一章落在持有者的利害上。恒温器会自己维持，却没有什么东西因为它维持得好不好而得失；海绵挤过细布还能重新聚拢，聚拢之后算谁的，要看有没有一个口在记。能动只管提出、挑选、否决，利害管的是后果落在谁身上，两者是两个量。

带走的话

会自己维持自己，不等于知道自己算谁的。 ◆

小账

拆了什么：拆了「闭合的边界是现成的」这个默认；多细胞、克隆和聚集型生物，都问不出一个现成的「那一个」。

立了什么：立了有机体派看对的那一头：自维持与能动；并写清边界——能动只指能提出、挑选、否决，不等于有意识。

三家各押一头：基因派押复制的结构，生态位派押互动的反馈，有机体派押自己维持自己；三家都默认，「这一份后代算谁的」是自明的，没有一家把「记到谁名下」当成一件需要结构去做的事。

第 二 编

三家的欠条：最好的整合模型，也把一样东西当成了给定

这一编十章。先请两位已经在讲「生成」的最强对手出场：扩展进化综合和发育系统理论，各还公道，各指出被当成给定的那一样。再请一个最可能把本书压倒的实验：大肠杆菌的长期演化。然后用一张欠条表收三家，看两张具体的欠条，看一只孔雀，和离本书最近的前人对一次账，用四个检验把进化论史过一遍，最后把欠条写成一条定理、三条方程。

这一编的反差，是一个让人不太舒服的发现：最好的整合模型，也有一样东西，是它直接拿来用的。

第 5 章

最强的对手之一

扩展进化综合，把适应度的承载者当成给定

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：听一个人讲了半天道理，台下有人问了一个最基本的问题，台上的人想都没想就答了，你却把那个答案记了下来。

阿远去听一场研讨会。主讲的老师讲的是「现代综合过时了」。他一页一页地放幻灯片：生态位构建、表观遗传、发育可塑性、非基因的遗传。每一页都说，教科书里那套只讲基因、只讲随机突变、只讲自然选择的说法，太窄了。

讲完了，台下一个博士生举手：「老师，那您说选择作用在谁身上？」

老师笑了笑：「当然是有机体。」

阿远在本子上记了一个词：「当然」。

他回去琢磨了一路：有机体，是哪一个？一个细胞，一头鹿，一群蚂蚁，一丛草，都可以叫有机体。那个「当然」，是从哪来的？

这一章，要请出本书最尊敬的对手之一。

◆ 二、它已经讲了生成

扩展进化综合（简称 EES），是近十几年生物学里最有影响的一股理论思潮。它不是一个人的主张，而是一群人的共同纲领。

2010 年，美国科学哲学家马西莫·皮柳奇（Massimo Pigliucci）和德国生物学家格哈德·米勒（Gerd Müller）编了一本书，叫《演化：扩展综合》〔待核〕。2015 年，拉兰德等人在一篇综述里系统写出这个纲领的结构和预测〔待核〕。

它想说的是：二十世纪中叶形成的「现代综合」，把演化看成基因频率的变化，这个说法没有错，但太窄。要把它扩展，至少加进几样东西。

第一，**发育偏向**。突变并不是向各个方向均匀地冒出来的。一个生物怎样发育，决定了哪些变化容易出现，哪些几乎不可能。变异有「脾气」。

第二，**可塑性**。同一套基因，在不同环境里能长出不同的身体。一些时候，是环境先引起了某种性状，基因后来才把它固定下来。

第三，**生态位构建**。上一章已经讲过，有机体改环境，环境回头选有机体。

第四，**更宽的遗传**。除了基因，亲代还会通过表观遗传标记、文化、共生菌、改造过的环境，把东西传给后代。

这四条，加起来，等于说：演化不是外面的环境挑选里面随机冒出来的东西，而是有机体、发育、环境之间一场长期的相互生成。

这就是 EES 的「生成」。它不再把有机体看成一个被动的容器，而把它看成演化的一个原因。

本书要向它致敬。因为这一章的后半部分，要指出它的一个欠条，所以要把话说得更清楚：它是今天最好的整合模型。它的每一条主张，都有大量证据。本书用的许多材料，比如发育偏向、生态位构建，原本就是它整理出来的。

◆ 三、那个「当然」

可是，回到阿远记下的那个词。

「选择作用在谁身上？当然是有机体。」

EES 在很多地方改写了现代综合，但有一件事，它几乎原样接了过来：演化是适应度不同的个体之间的事。那个有适应度的东西，那个承载适应度的东西，是有机体。

适应度，是一个个体留下后代的能力。这个概念一旦要用，就需要一个前提：谁算一个个体，谁的后代算谁的后代，总得先有个说法。

在大多数教科书例子里，这个问题没有问。一头鹿，一棵树，一只蝴蝶，一目了然。可是一旦走出这些例子，「个体」就不再是一眼能认的事。

一株竹子，从一根地下茎长出几百根竿，哪一根算一个个体，并不好说。一片杨树林，几千棵树共享一套根系，基因完全一样，说它们是几千个个体，还是一个，两种说法都有人在用。一个蜂群，工蜂不育，所有的繁殖都靠蜂后，适应度是算给蜂后，算给整个蜂群，还是算给工蜂？一个癌细胞团，它的细胞也在复制、也有适应度，它们是整体的一部分，还是一个新的「个体」？

EES 讲的是：有机体如何生成，环境如何生成，二者如何互相改写。它讲的「生成」，是在一个已经有了个体的世界里发生的生成。那个「有适应度的东西」，它是当成现成的拿来用的。

这是 EES 的一笔欠条，只有这一笔：**适应度的承载者**，被当成了给定。

请注意，本书这里的说法很窄。本书不说 EES 把三头都当成了给定，也不说它忽略了互动或主体。它恰恰讲了互动，讲了有机体的能动。本书只说，在它的推导里，「谁是那个承载适应度的个体」这一项，没有被当成需要推出来的东西。

◆ 四、一场公开的争论

EES 并不是一个没有对手的理论。

2014 年，《自然》杂志登出一组对话式的文章。一边是拉兰德等几位学者，题目大意是：演化理论需要重新想一想吗？他们回答：需要。另一边是沃尔夫（Gregory Wray）等几位学者，回答：现有的理论本来就已经把这些东西装进去了，没有必要另立旗号〔待核〕。

这场争论的有趣之处，不在于谁赢了，而在于它暴露了双方都同意的一件事：不管是主张「扩展」的，还是主张「够用」的，大家谈的都是同一个对象——一个已经被当成个体的有机体，在发育里、在环境里、在遗传里发生了什么。

主张扩展的一方说：这个有机体的发育，不只是展开基因的程序，它在和环境一起「建造」自己。主张够用的一方说：这些建造的过程，早就可以用现有的框架来描述。两边吵的是：哪些机制算重要，哪些该被算作主流。

没有一方在吵：这个有机体是怎么成为「一个」的。

这并不是说他们疏忽了。在发育生物学和多数动植物学的日常工作里，「一个个体」的边界通常是明白的，一头牛就是一头牛。争论的焦点自然落在别处。

可是，当你的问题变成「适应度」时，情况就不同了。适应度是演化理论的货币，货币总要有个账户。

◆ 五、几个「个体」没法当然的场合

让我们把那个「当然」，拿到几个具体的场合里去试一试。

水螅的芽。一条水螅可以从身体的侧壁上长出芽来，芽慢慢长大，长出触手，然后从母体脱落，成为一条新的水螅。在芽还连着的时候，它算母体的一部分，还是一个新的个体，两种说法都讲得通。到它脱落的那一刻，哪些细胞「是母体的」，哪些「是新体的」，也没有一条现成的线。

管水母。海里有一种叫管水母的东西，看上去是一只优美的水母，实际上是由许多不同形态的小个体连在一起组成的：有的负责漂浮，有的负责捕食，有的负责消化，有的负责繁殖。每一个小个体都由受精卵长出来，可它们合在一起，像一个整体。这到底算一个个体，还是一个群体，生物学家的叫法并不统一。

地衣。我们常在树皮和石头上看到的地衣，是一种真菌和一种藻（或蓝细菌）长期共生所形成的整体。它有稳定的形态，有自己的繁殖方式（比如产出带着两种成员的小颗粒）。算一个，算两个，还是算三个，各有各的说法。

肿瘤。一个肿瘤里的细胞，彼此基因几乎相同，它们增殖、竞争、演化，在宿主体内形成了一个自成一体的群落。它们的适应度，既可以算在宿主的账上，也可以算在肿瘤自己的账上，要看你怎么记。

这些场合里，「当然是有机体」这句话，都得变成一个问句：「哪一个才算有机体？」

EES 的大多数工作，不需要回答这个问题；它假设答案已经在那里，才去谈发育与环境的交互。这个假设平时没有害处，好像一块地基。但如果你打算盖的是一座更高的楼，就要问地基是怎么打的。

◆ 六、多出的那一点

本书多出的一点，可以用一句话说：**承载者由记账生成。**

在 EES 的世界里，个体先在，然后个体去适应、去构建、去遗传。本书的说法是倒过来的：先有一道「记功口」，把一代代后代记到同一个名下；账记得够一致、够久，那个名下才成了一个个体，才有了适应度可言。

适应度，不再是承载者的一个属性，而是记功口记下的一笔。

这个说法，可以拿来对 EES 的每一条主张。发育偏向，偏向的是某一个单位的发育；生态位构建，构建者是某一个单位；更宽的遗传，传下去的东西，记在谁名下？EES 对这些问题的答案，都是「有机体」。本书的问法是：有机体是怎样成为一个记账单位的？

这是「交互论已经有了，三属性多出什么」在生物学里的答案：交互论把有机体和环境当成输入，讲它们怎样互相作用；本书追问的是，那个「有机体」本身，是在什么条件下被生成的。

◆ 七、一只水蚤的头盔

扩展进化综合的材料，不全是理论。

水蚤是池塘里一种小甲壳动物。如果水里有捕食它的小虫留下的化学信号，据报告，水蚤的幼体会长出尖尖的头盔或尾刺；水里没有这种信号，同样基因的水蚤就不长，或长得很小〔待核〕。头盔有用，它让捕食者不容易吞下去；可是长头盔要花资源，所以没有天敌的水里，不长更划算。

这是可塑性的一个标准样本：同一套基因，两种身体，由环境信号来选哪一种。还有报告说，母蚤闻到过信号，生下来的幼体就更容易长出头盔〔待核〕。这是「更宽的遗传」的一种可能。

这个例子对本书有两层价值。一层是公道：基因不是唯一说话的，这个论点在这里有实物。另一层是提醒：这个例子里，哪只是母蚤，哪只是幼体，谁是谁的后代，没有人犹豫。个体这一项是现成的，所以全部的注意力才能放在可塑性上。

◆ 八、非基因的遗传，证据走到了哪一步

「更宽的遗传」是扩展进化综合里争论最大的一条，值得单独看一眼。

常被引用的一个例子，是小鼠的毛色。有一个品系的小鼠，因为基因组里一段插入的序列，毛色可以从黄到褐不等，据报告，这与母鼠怀孕时的饮食有关，也与那段序列上的化学标记有关〔待核〕。这是表观遗传的一个样本：序列没有变，标记变了，性状跟着变。

不过，标记能传几代，是另一回事。哺乳动物形成生殖细胞时，大部分标记会被擦掉重写，所以多代传递的证据要苛刻得多，不同实验室的结果也不一致〔待核〕。在植物和线虫里，有人报告过更长的传递，是否通用，仍在讨论〔待核〕。

本书对这一条的态度，是把它当作一个开放的实证问题。它能传多远，由实验说了算。无论传多远，那个被传的东西，都要先算在某一个账户名下，才谈得上「传」。

◆ 九、它完全成立的地方

扩展进化综合的每一条，在什么情况下几乎不留缺口？答案已经露出来了：个体清楚的时候。

一头鹿，一只蝴蝶，一棵孤零零的树。这些对象里，一个受精卵长出一个身体，一个身体再生一批卵。发育偏向、可塑性、生态位构建、更宽的遗传，都可以直接装进这条线里去讲。绝大多数脊椎动物和昆虫的教科书例子，都在这个范围里。

在这个范围里，本书和它没有分歧。分歧只出现在边缘：个体的边界不清，或者会变的时候。也就是第二编以后，要一再回到的那些体系。

◆ 十、一个公平的反对：个体不是早就有人研究了吗

读到这里，该有人提出一个公平的反对：说它把个体当成给定，似乎不公平。演化生物学里本来就有一条研究线，专门问个体是怎么出现的：单细胞怎样变成多细胞，分散的复制子怎样变成染色体。约翰·梅纳德·史密斯（John Maynard Smith）

和厄尔什·绍特马里（Eörs Szathmáry）1995 年的《演化的重大转变》，是这条线上的代表〔待核〕，后面还有 Buss、Michod、Okasha 等人。

这个反对是对的，而且正因为对，本书才把这些人留到第 12 章去对账。

要把两件事分开。一件是扩展进化综合的四条主张：偏向、可塑性、构建、更宽的遗传。它们在推导里，把承载者当成了给定。另一件是「重大转变」这条研究线，它恰恰把承载者当成要解释的东西。本书的母题站在第二条线的旁边，不站在四条主张的位置上。

◆ 十一、一块平板上的「一」

微生物实验室里，有一个天天在做、没有人觉得奇怪的动作：数菌落。

把一点菌液涂在琼脂平板上，放进恒温箱，过一夜，平板上长出一粒粒圆点，每一个圆点叫一个菌落。阿远数过无数次，数完写下的单位却不是「个」，是 cfu，菌落形成单位。

陈老师问他：「为什么不写个？」

阿远说，一个菌落，可能是从一个细胞长出来的，也可能是从黏在一起的几个细胞长出来的。平板上看不出来。所以只好说，这是一个能长成菌落的「单位」。

陈老师笑了：「你们也有数不清是几个的东西。」

「这是规矩。」阿远说，「没有这个规矩，数据就没法比。」

「这规矩是谁立的？」

「大家。」

适应度要有承载者，承载者先要有一个「一」。在平板上，这个「一」是靠约定得来的。在自然里，它靠什么？

◆ 十二、放回日子里

散会以后，阿远去找那位老师请教。

他问：「老师，您说选择作用在有机体身上，那一个蜂群呢？」

老师想了想，说：「看情况，有时候是蜂群，有时候是蜂。」

「看什么情况？」

老师笑了：「这是个好问题。我们现在还没有一个统一的回答。」

回去的路上，阿远给陈老师发了一条消息：「今天听到一个很诚实的回答。」

陈老师回：「诚实的回答，往往就是一个还没填的格子。」

你也可以试试。听到一个很有道理的理论，别急着挑它的错，只问一件事：它的哪一个词，是「当然」？

这一章落在记账一致性上。适应度的承载者不是现成的，它由记账显出来；记得越一致，承载者的边界就越清楚，记得越乱，边界越糊。以后凡说到「这个个体的适应度」，先问：它的账，记得有多一致。

> 带走的话
>
> **讲了生成的理论，也可能把「谁在生成」当成了现成的。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「适应度的承载者是现成的」这个默认，并且只指出这一样。
>
> 立了什么：立了一句话——承载者由记账生成；并还了扩展进化综合一个公道：发育偏向、可塑性、生态位构建和更宽的遗传，都是真的。

第 6 章

最强的对手之二

发育系统理论，把生命周期复现当成给定

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：每年做同一件事，做了三十年，忽然有一天，觉得「又是它」这三个字，好像不太对。

陈老师在教室后面的窗台上，每年春天养蚕。三十多年没断过。三月桑叶一发，她就去向同事要几张蚕种，放在纸盒里。蚕卵孵出来，蚕宝宝一天天长大，蜕皮，结茧，化蛾，产卵。到了来年春天，再来一轮。

有一年阿远来看她，站在窗台前看那一盒蚕。

「老师，这些蚕，是去年那批的孩子吧？」

「是，也不是。」陈老师说，「每年都是这些蚕，又都不是。」

阿远不太懂。陈老师说：「蚕还是那个蚕，桑叶换了，天气换了，养它的纸盒换了，连我手的力气也不如从前。可是我每年都说，『又养了一遍』。」

这一章，请出本书的第二位最强对手，它想认真对待的，就是这个「又一遍」。

◆ 二、单位是一整个生命周期

发育系统理论（Developmental Systems Theory，简称 DST），源头是美国的哲学家苏珊·奥雅马（Susan Oyama）1985 年出版的《信息的个体发生》〔待核〕，后来由保罗·格里菲斯（Paul Griffiths）、拉塞尔·格雷（Russell Gray）等人发展〔待核〕。

它的出发点是一个听上去很激进的主张：基因没有特权。

在传统说法里，基因携带「信息」，环境提供「条件」。基因像一份蓝图，环境像施工现场。DST 说，这个分法是人为的。一只蚕要长成蚕，需要的东西很多：卵

里的基因，卵里的细胞质，母体留下的蛋白，合适的温度，桑叶里的营养，肠道里的微生物。这些都是「发育资源」，彼此缠在一起，一个也不能少，没有哪一个天然地更「负责」。

既然这样，演化里被传下去的，就不只是基因，而是整套发育资源。更准确地说，是它们一起搭成的东西：**一个生命周期**。

在 DST 看来，演化的单位，是一个一遍遍重新来过的生命周期。蚕卵——幼虫——茧——蛾——卵，一圈走完，又一圈。每一圈都需要整套资源再一次到位。资源到位，周期复现，就是遗传；资源不到位，周期断了，就是灭绝。

这个说法有两个很扎实的好处。

第一，它把「遗传」放回了它本来的位置。人们说「遗传」，常常暗指一些东西从亲代到子代有一条通道。DST 说，通道不止一条。巢、洞穴、共生菌、母亲的行为、养育的文化，都是通道。这和上一章的 EES 是相通的，EES 的「更宽的遗传」，就是受它启发。

第二，它取消了一种不好的二分。「天生」和「后天」、「基因」和「环境」，在 DST 里都没有那么清楚的界线。有一个例子常被引用：许多鸟类的鸣唱，既有天生的倾向，又必须在幼鸟时期听到成鸟的歌声才能学会。我们说那是「先天」还是「后天」？DST 说，这个问题问错了。

◆ 三、一条蚕的来历

陈老师的蚕，有一段值得说的来历。

家蚕（Bombyx mori）是人类驯养时间最长的昆虫之一。通行的说法是：它的祖先是一种野生的蚕蛾，在中国被驯化，大约五千年前就已经有了丝织的实物证据〔待核〕。今天的家蚕，早已离不开人：成虫的翅膀退化，飞不起来；幼虫不会自己爬上桑树；整个生活，要靠人供桑叶、给温度、搭蔟架让它结茧。

用 DST 的话说，一只家蚕的生命周期，涉及的资源包括：卵里的基因，卵里的细胞质，桑叶的化学成分，养蚕人的手艺，蚕室的温湿度，蔟架的形状，还有一代代养蚕人传下来的经验。如果把其中任何一样拿掉，这个周期就接不上。

所以，家蚕是 DST 最好的一个样本。你若说蚕的「遗传」，仅仅指基因，就漏掉了一大半。从祖先到子孙，传下来的是一整套人和蚕一起维持的生活。

这是 DST 看对的第一件事。接着看它看对的第二件。

◆ 四、不分先天与后天

很多人有一种习惯，把一个性状的原因，分成「先天的」和「后天的」两份，比如说：这个孩子的个子，六成靠遗传，四成靠营养。

DST 的主张是：这个分法，在大多数时候是一个错觉。

打个比方。一块长方形的面积，等于长乘宽。你问：这块面积，多少是长决定的，多少是宽决定的？这个问题是没有意义的。长和宽缠在一起，谁也不能单独贡献一部分。一个性状的发育，常常也是这样：基因和环境不是相加，而是相乘。

举一个鸟的例子。很多鸟的鸣唱，既有天生的倾向，又必须在幼年时听到同类的歌声，才能学会。有些鸟如果从小被隔离起来，听不到同类的歌，长大后唱出来的歌就不成样子。再往下挖，你会发现，连「听到同类的歌」这件事，也需要鸟的耳朵、脑子里的神经回路、父母愿意在合适的时候开口。每一样都是「资源」，缺了一样，歌就唱不对。

DST 要说的是：没有哪一样资源，天然地比别的更「负责」。「基因里的信息」这种说法，只不过是把许多资源中的一种，抬高成了蓝图。

本书同意这一点。事实上，本书后面讲的「三头纠缠」，和它同出一路：三头不是三个先存在、后拼起来的东西，而是同一个聚合体的三种侧重。

◆ 五、「又一遍」是谁判的

本书对 DST 有一份真诚的尊敬。可它也有一样被当成给定的东西，只有这一样：**生命周期复现这条判据**。

回到那盒蚕。陈老师说，「每年都是这些蚕，又都不是」。DST 说，生命周期复现了。那么请问：什么叫「复现」？

蚕每年都从卵到卵走一圈。可是每一圈的资源都不一样：桑叶的品种、温度的曲线、纸盒的湿度、陈老师的手。那么「同一个周期」是怎样被认出来的？拿什么当标准？是看它们的基因相同吗？那就回到了基因。是看形态相似吗？那就是在看读数。是看有没有传下去吗？那就是在用结果去定义原因。

更要紧的是，有些情形里，周期是「并行的」、「重叠的」或「合并的」。一株草莓，母株和匍匐茎上的新苗，是同一个周期还是两个？一个蜂群，从一窝分成两窝，哪一窝是「原来那个周期」的延续？一个黏菌，在饥饿时聚成一团，又散成孢子，它的周期，是算每一个细胞的，还是算整团的？

在这些问题上，DST　　的回答大致是：看情况，取决于研究者选择怎样划分周期。这个回答是诚实的，可它同时承认了一件事：「复现」不是自己出现的，而是有人（或有某种结构）判定它复现了。

本书的说法是：**复现靠记功口逐代记账**。每一代的新个体，被记到了哪个谱系名下，那一条谱系才算「复现」了一遍。复现，不是在记账之前就存在的事实，而是记账之后读出来的结果。

这样一来，DST　的发现是对的，三个「别分先天后天」都是对的；本书只是把它的判据往前推了一步：什么在判定「同一个周期又来了一遍」？

◆ 六、第四条路线：演化发育生物学

在写下去之前，要先交代一条本书不把它算作「三家」之一的路线：演化发育生物学（evo-devo）。

evo-devo　讲的是，发育怎样偏置可能的变异。比如，许多动物的身体前后轴，都由一类叫　Hox　的基因家族排布；改动这些基因，可以一下子改变身体的节数、肢的位置。在一个生物类群里，哪些形态变化是容易发生的、哪些几乎不可能，常常取决于发育的结构。

这是一个重要的发现：变异不是均匀地向各个方向发散的，而是沿着发育打开的通道走的。第 10 章会专门讲它。

为什么它不算「三家」之一？因为它不押三头中的任何一头做本体。它既讲基因（调控网络），也讲环境（发育的条件），也讲有机体（形态的组织）。它是一个兼容的模型，可以和三家中任何一家结合。

本书把它照实写出，也照实说一句：它公开承认的条件，不算欠条。比如它说，「发育偏向」需要一个已经能够发育的有机体，这是它自己明说的前提，不是偷偷借来的东西。本书的欠条，只指「直接给定、自己没推出、又没声明」的那种项。evo-devo 在这一点上做得很干净。

为了让这一节不只是一个名词，补一个画面。美国遗传学家爱德华·刘易斯（Edward Lewis）研究过果蝇的一类突变，叫双胸（bithorax）：突变体的第三胸节被发育成第二胸节的样子，长出了第二对翅膀，成了四个翅膀的果蝇〔待核〕。还有一类叫触角足（Antennapedia），触角的位置上长出了腿〔待核〕。这些基因后来被归入 Hox 基因一类，大意是告诉身体的每一节：你是第几节。刘易斯因这类工作，与别人共同获得 1995 年诺贝尔生理学或医学奖〔待核〕。

这些例子说明，发育的结构给变异划了路：不是任意改一个地方，就能多出一对翅膀。演化发育生物学把这条路讲得清清楚楚，也没有把「谁的后代」当成要偷偷借的东西，所以本书把它单独放在三家之外。

◆ 七、对等论：基因和环境站在同一排

发育系统理论里，有一个常被讨论的论点，叫「对等论」：基因和别的发育资源，在因果上站在同一排，没有哪一样天然是信息的来源，别的只是条件〔待核〕。为它辩护的人里，有格里菲斯和罗宾·奈特（Robin Knight）等〔待核〕。批评者的回应也有道理，大意是：基因序列和别的资源毕竟不同，它有稳定的、可以读出的编码，别的资源没有这样一套对应〔待核〕。

这场争论还在继续。本书的做法，是不在对等论上押宝。无论对等是否成立，有一个问题都还在：这些资源合起来搭成的「生命周期」，当它要被数的时候，数的是谁的？

◆ 八、蚕卵里带着母亲的一季

陈老师养蚕，有个不起眼的做法：每年蚕蛾产下的卵，她收在一个纸盒里，放进家里冰箱的蔬菜层，来年春天，桑叶发出新芽，才拿出来。

这个做法有生物学的缘由。家蚕有一种叫滞育的状态：蚕卵里的胚胎暂停发育，等到合适的时候再继续。许多品种的卵是否滞育，据报告，与母蛾自己做卵时经历的温度和光照有关〔待核〕。也就是说，蚕卵里带着母亲那一季的日子。养蚕的人长期用低温保存蚕种，让它在桑叶出来的时候才醒〔待核〕。

这正是发育系统理论最爱讲的那一类事：亲代传下来的，不只是卵里的基因，还有一段亲代怎么过的日子。母蛾的经历、冰箱的温度、桑叶发芽的时间，都是它说的「发育资源」，缺一样，这个周期就接不上。本书同意这一点，没有保留。

◆ 九、周期蝉的「年群」

北美有一类周期蝉，若虫据说在地下待十三年或十七年，然后在同一年大批钻出地面，几周内羽化、交配、产卵，再等下一轮〔待核〕。研究者按出土的年份给它们编了号，叫作「年群」（brood），用罗马数字，依次排下去〔待核〕。

这是发育系统理论的一个好样本：一个生命周期长到十几年，却整整齐齐地复现。

不过，看一下那个「年群」。同一年钻出来的，是一个年群；十七年后，同一个地方再钻出来的，被叫作同一个年群。这个「同一」，是研究者按出土的年份和地点标上去的。是不是真的是前一轮的后代，要靠野外的追踪和遗传数据去核对。核对的过程中，也发现有的年群会提前或推迟出土〔待核〕。

这样看，复现有两层：一层是蝉自己的生活节奏，一层是人给它起的编号。发育系统理论说周期复现，指的是前一层。本书想问的是，两层之间，有没有一样东西，把「这一年的这一群」接到「十七年前的那一群」名下。

◆ 十、小鸭子的叫声

发育系统理论还有一个爱用的实验，来自小鸭。

刚出壳的小鸭，会偏爱自己这个物种的母鸭的叫声。人们过去觉得，这是「天生」的。美国发育心理学家吉尔伯特·戈特利布（Gilbert Gottlieb）做过一系列研究〔待核〕。据报告，孵化之前，如果让雏鸭听不到自己发出的叫声，它们出壳以后，就不再偏爱同类母鸭的叫声；给它们听到自己的声音，偏爱才会出现〔待核〕。

也就是说，那个看上去天生的偏好，需要一段出生之前的「听」。基因、胚胎自己的声音、蛋壳里的环境，缠在一起，才长出这个偏好。把它分成「先天多少、后天多少」，没有办法分。

这是发育系统理论最扎实的一类证据，本书照单全收。

◆ 十一、一个反对：看研究者怎么划，不就够了吗

发育系统理论的人可以这样回应：什么叫同一个周期，本来就看研究的目的而定，没有一个脱离目的的唯一答案。你说有一个记功口在记账，不过是把研究者的划分，换成了生物的划分。

这个回应有力量。研究者确实在划，不同的问题要不同的划法。

不过，本书说的记功口，与研究者的划法有一点不同：它可以被动手脚。如果生物身上真有一道结构，在决定「这一份后代算谁的」，那么我们就可以改变它，看账是不是跟着变。第 13 章讲的两个检验、第 37 章的试验，做的就是这件事：把外加的那道关口撤掉，看集体层退回去多少。

研究者的划分，撤不掉；生物身上的结构，可以撤。这是两者的区别，也是本书敢把话说成可以出错的原因。

◆ 十二、放回日子里

后来的一年，陈老师把蚕盒放到了讲台上，让学生自己去数：这一批蚕，从孵化到结茧，用了多少天；去年那一批，用了多少天。

学生数出来，每年都不一样，差了一周多。

「那它们是同一种蚕吗？」陈老师问。

「是。」

「凭什么说是?」

学生想了半天，有人说：「因为它们能互相交配。」有人说：「因为都是您从老师那里要来的。」

陈老师在黑板上写下后一句：「您从老师那里要来的」。她说：「这一条，倒是最实在的。因为有人记着。」

你也可以试试：看到家里一件「传下来的东西」，比如一口锅、一个食谱、一套筷子，问一句，它是怎么被认作「同一个」的。答案里，多半有一个人的记忆，或者一个记在本子上的名字。

这一章落在记账一致性上。「又来了一遍」能不能成立，要看逐代的账有没有记成同一户。账记得一致，复现就稳；账今天一户、明天一户，所谓周期就只是研究者划出来的线。

带走的话

说「又来了一遍」之前，总得有人先把它记成同一笔。 ◆

小账

拆了什么：拆了「生命周期复现是现成的判据」这个默认，并且只指出这一样；第四条路线 evo-devo 公开承认的条件，不算欠条。

立了什么：立了一句话——复现靠记功口逐代记账，复现是读数；并还了发育系统理论一个公道：基因没有特权，遗传不止一条通道。

第 7 章

最强反例

Lenski 实验，纯遗传模型能走多远——Cit+ 的历史偶然与 S、L 两支系共存是它的边界

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：有人拿出一个很老、很长、做得很细的东西，你一时竟不知道说什么好，只觉得那里面有一种耐心。

阿远有一次给陈老师看一张图。图上是十二个小烧瓶，排成两行，每个瓶里是浅浅的一层培养液，旁边有一行小字：每天转一次。

「从哪一年起？」

「一九八八年。」阿远说，「三十多年，没断过。每天早上，取出一百分之一，转到新的瓶里。」

陈老师算了算：「这是比我教书还长的事。」

「是。他们换过很多批学生，换过实验室，搬过地方。瓶子还在转。」

陈老师看了很久，说：「这比我教书还有耐心。」

这一章，就从这十二个瓶子说起。因为它是整本书里，最可能把本书压倒的一块证据。

◆ 二、它几乎解释了一切

美国生物学家理查德·伦斯基（Richard Lenski）在一九八八年开始了一项实验〔待核〕。他取了一株大肠杆菌，分成十二份，各放进一个烧瓶，里面是只含有限葡萄糖的培养液。每天，他或他的学生取出一百分之一，转进新的培养液；其余的丢弃。每过五百代左右，他们把一部分样品冷冻起来，留着以后翻出来比较。

大肠杆菌繁殖很快，一天大约六七代。三十多年下来，这十二个「种群」已经走过了几万代，是人类有记录以来最长的演化实验之一。

它的结果，几乎是一部教科书。

第一，适应度稳步上升。把任何一个时期的细菌，拿去和最初的祖先放在一起竞争，后来的总是赢。一开始上升得快，后来慢下来，不过几万代过去，还在往上走〔待核〕。

第二，变化可以追到序列上。每一个种群里的突变，都可以用测序读出来。哪一个突变在什么时候出现，什么时候占了多数，都有记录。

第三，可以重放。因为有冷冻的样品，研究者可以把某个时期的细菌解冻，重新放进培养液，让演化再来一遍，看结果会不会一样。这相当于给了演化一台「时光机」。

这个体系，是纯遗传模型的主场。每一个细菌是一个个体，没有性，没有分工，没有复杂的社会结构；它们的后代是克隆；环境由实验者精确控制，每一天都一样。变异是随机的，选择是葡萄糖，遗传是复制。

在这个体系里，你要问的几乎所有问题，基因派都能回答：为什么这一株赢了？因为它的某几个突变让它吃糖更快。它的序列是什么？可以读出来。

这是对本书的一次最强的压测。如果三头纠缠的想法是对的，那么在这个最干净的遗传体系里，也应当看到互动和主体的踪迹；如果这里一点踪迹都没有，那本书的说法，就要收窄到「只在多细胞、有社会、有人为干预的地方才成立」。

本书的看法是：它没有被推翻，但被收窄了一点。边界出现在两处。

◆ 三、这个瓶子是怎样排出来的

先看一看实验是怎么做的。它的力量，一半来自做法。

十二个瓶子里的细菌，全部从同一株祖先来。这株祖先是实验室里用了很多年的大肠杆菌，没有带能让细菌彼此交换基因的小环，每一次分裂，都是一个变成两个〔待核〕。

十二个瓶子里，六个放的是祖先本身，六个放的是从祖先里挑出来的另一株，两者只差一个对吃糖毫无影响的小突变。这个小突变的作用，是让菌落在特制的平板上显出不同的颜色〔待核〕。日后把两种菌混在一起比赛，数起来一目了然。

培养液很淡。每升里只有二十五毫克葡萄糖，细菌几个小时就吃光了，然后在瓶里饿着，等第二天的转瓶〔待核〕。

于是每个瓶里的一天，有三段：刚换进新瓶的头几个小时，细菌在适应；有糖的时候，细菌疯长；糖吃完以后，细菌挨饿。几万代的选择，都发生在这三段里。

转瓶是一百倍的稀释。长回一百倍，需要六点六多一点代，所以一天约是六七代。这个数不是估的，是除出来的。

最要紧的是冷冻。每隔五百代，取一份样品，加上防冻的甘油，放进零下八十度的冷柜。研究者管这些小管叫「冷冻的化石记录」〔待核〕。化石是死的，这些小管不是，解冻以后还能继续长。

这套做法里，有一个不起眼的前提：每一个细菌就是一户。

细菌分裂，一个变成两个，两个都是它的后代，没有人需要问「这两个算谁的」。整个体系对户名的处理，是被设计成不必处理的。

◆ 四、十二个瓶子，十二条路

这个实验最耐人寻味的地方，是十二个种群的对照。

十二个种群来自同一个祖先，生活在完全相同的条件里，每天吃同样的糖。如果演化只是环境对生物的单向塑造，十二个种群应当走到几乎相同的地方。事实上，它们在大方向上确实很像：都在吃糖的速度、细胞的大小上有显著的变化，许多相同的基因反复出现突变。这种「平行演化」，是自然选择有力的明证。

可是在细节上，它们又各不相同。每个种群都有自己的一串具体突变，到了几万代之后，十二条路已经走出了不同的样子。有的种群出现了「突变株」，突变率一下子高了很多；有的种群里长出了不同的细胞形状；还有的出现了前面提过的两支共存。

这个结果，让人想起一句老话：条条大路通罗马，但每条大路都是自己的路。

这个对照给了我们一个判断演化的尺子：哪些是各个种群共有的，那是选择；哪些是只在某一个种群里有的，那是历史。选择让十二个种群彼此相像，历史让它们各不相同。

有一件事值得单独说。据报告，到几万代的时候，十二个种群里已有大约一半，各自独立地出现了突变率高出许多倍的株系〔待核〕。它们靠着碰巧带上一个有利的突变，占了上风，高突变率就跟着一起留了下来〔待核〕。同样的起点，同样的条件，走到了不同的地方。

还有一个读数。据报告，在头两万代里，基因组上积累突变的步子大体匀速，而适应度的上升却在变慢〔待核〕。序列这本账，和「好不好」这本账，走得不一样快。

这提醒你一件事：序列是读数，适应度是另一层的读数，两层之间，要有人去对。

冷冻的样品，就像是十二本带日期的账：每五百代一页，一页页翻过去，你能看到哪一个突变，在哪一页第一次出现，在哪一页占了多数。这是目前生物学里最完整的一本「后代账」之一。

请记住这个比喻，它在本章结尾要回来。

◆ 五、第一条边界：历史偶然

第一处边界，叫 Cit+。

大肠杆菌有一个著名的特点：它在有氧的条件下，不能把柠檬酸盐当食物。培养液里其实一直有柠檬酸盐（它是用来稳定金属离子的），不过细菌吃不了它。

大约在三万一千代的时候，十二个种群里的一个，细菌忽然能吃了。培养液变得浑浊，因为这个种群能利用的食物一下子多了一大类，数量激增〔待核〕。

这是一个重要的演化创新：一种新的能力。研究者想知道，这件事是怎么发生的，是一次极其罕见的「大突变」，还是一系列小步子积累的结果?

这个问题背后，站着一个更老的问题。古生物学家古尔德（Stephen Jay Gould）曾设想：把生命的录像带倒回去重放，会不会放出同样的故事〔待核〕。冷冻的小管，第一次让人有机会真的按一下重放键。

他们用冷冻的样品做了重放。2008 年，扎克·布朗特（Zachary Blount）和同事发表了结果〔待核〕：他们从这个种群不同时期的冷冻样品里，各取许多克隆，各自重放，看有多少会重新发展出柠檬酸盐的利用能力。

结果据报告是：早期的样品，几乎不会；到了某个时期之后的样品，才有一定的概率会，而且需要很长时间。也就是说，这件事依赖于此前已经积累下来的某些突变，研究者称之为「增势突变」（potentiating mutations）。没有它们，后来的那个关键突变也许发生了，但没有效果。

这意味着：Cit+ 的出现，既不是必然的（十二个种群只有一个出现了），也不是纯粹的随机（需要之前的历史）。它是一件「历史偶然」：依赖于此前走过的路。

后来的研究据报告查到了那一步的样子：一段基因被多复制了一份，落到一个在有氧时也开着的启动位置旁边，于是原本只在缺氧时才用的那条运输柠檬酸盐的通道，在有氧时也开了〔待核〕。

打个比方。一条老街上，有一扇门一直锁着。钥匙早就有，只是挂在另一个门框上。某一天，有人把钥匙复制了一把，挂到了这扇门旁边。门没有变，钥匙也没有变，变的是它们挂在哪里。

这条路上的每一步，都是遗传的，都是可测的。不过整件事的「故事」，不能只靠最后那个突变来讲，要靠整条历史来讲。

◆ 六、第二条边界：一个瓶子，两本账

第二处边界，是一个叫 S 和 L 的故事。

1990 年代末，研究者注意到，十二个种群里的一个，分成了两支，肉眼就能看出菌落的大小不同：大的叫 L（large），小的叫 S（small）〔待核〕。2000 年，罗森（Daniel Rozen）和伦斯基发表了对这两支的研究〔待核〕。

两支都从同一个祖先来，都在同一个瓶子里，吃同样的糖。可是它们长期共存，没有一方把另一方挤掉。研究的结论大致是：L 支吃糖快，吃完了会排出一种别的物质，S 支恰好能吃这种物质。L 为 S 提供了一块「土」，S 靠这块土活了下来，两支形成了一种分工式的共存。

请注意，这里发生的事。

在一个看上去最简单的系统里：单一食物、单一环境、克隆的后代，种群自己长出了「两本账」。一部分细菌的后代记在 L 的谱系，一部分记在 S 的谱系；它们不是靠谁更适应来决定谁留下，而是靠互相提供对方所需要的东西，两本账同时存在。

用基因派的话讲，这当然也可以解释：频率依赖选择，一支稀少的时候占便宜，所以两支都不会消失。这个解释是对的。本书想说的是另一层：这里的互动那一头，自己冒了出来。没有人在外面安排它，是种群在自己的瓶子里，长出了环境（L 排出的物质），这个环境又选择了新的类型（S）。这就是生态位构建。

◆ 七、一个常见的反驳

读到这里，你也许会提出一个很有分量的反驳：S 和 L 共存，不过是频率依赖选择，教科书里早就有，为什么要说成「两本账」？

这个反驳有一半是对的。

对的那一半：如果你只想预测两支会不会都留下来，频率依赖的模型就够用了。哪一支少的时候占便宜，哪一支就会回升。预测可以画成一条曲线，拿去和数据比。本书没有理由绕开它。

另一半是：模型里的每一个细菌，都是一个独立的户。邻居不同，适应度就不同，如此而已。模型不问，L 排出的那种物质，算谁的。

它确实不属于任何一个细菌。它漂在瓶子里，改变了所有细菌的日子。

这笔「土」的账，在模型里被折成了一个系数。折算是合法的，系数也好用。本书只想指出：在折算之前，有一步被省略了。那一步是，土是谁造的，土带来的好处，最后记给谁。

这一步，在这个瓶子里可以省，因为所有细菌共用一个户名：同一个瓶子，同一个祖先。到了后面的章节，它就省不掉了。

◆ 八、它在什么条件下完全成立

在往下收窄之前，先把基因派的公道还足。

纯遗传模型在这个体系里几乎说了算，是因为四个条件同时成立。

第一，后代是克隆。复制保真，突变少，而且每一个都数得出来。

第二，环境每天被重置。同样的瓶子，同样的糖，同样的温度，选择压力几乎不变。

第三，没有集体。没有性，没有分工，细胞就是单位，没有哪一层在细胞之上。

第四，转瓶是随机取样，不偏袒任何一支。

四个条件里，只要有一个松动，纯遗传模型的把握就会变小。比如环境天天在变，选择就不再指向同一个方向；比如细菌结成了团，团和细胞的账就得分开算。

这不是它的弱点，是它的使用说明。一台好仪器都有量程，写清量程，是对仪器的尊重。

本书后面各章要去的地方，恰好是这四个条件被一个个撤掉的地方。

◆ 九、结论要收窄地说

那么，这块最强的证据，最后给了本书什么？

先说它给了基因派的：在这个体系里，纯遗传模型走得极远。适应度的变化，大部分都能由序列的变化解释；演化的节奏，能在群体遗传学模型里复现出来。这是一个了不起的成就。

再说它对本书的压力：如果这里没有任何互动和主体的痕迹，本书就只能说，三头纠缠是一个关于复杂体系的说法，对简单体系不适用。

实际看到的，比这个要有趣：边界上出现了历史偶然和两支系共存，互动那一头在最干净的系统里也冒了出来。

最后，本书要指出一件很容易被忽略的事。

请回头想一想这个实验是怎么做的。每天，实验者取出培养瓶里的一百分之一，转到新的瓶里；其余的丢掉。是谁决定了「哪一百分之一」进入明天？是实验者的移液器。这一百分之一，是随机取样，没有偏好；不过正是这个操作，决定了「哪些后代记进明天的瓶子」。

在这个体系里，「户名」是已经定好的：每一个细菌就是一个户，它的后代就是它自己的后代；每天的转瓶是一道固定的、不偏袒任何一支的关口。这是一道无利害的「筛」。

所以，本书的收窄结论是：**纯遗传模型在「户名已定」的体系里走得最远；户名一旦要定，它就要借账。**

借谁的账？在 Lenski 的瓶子里，借的是实验者的转瓶（一道外加的关口），借的是 L 排出的物质（一块互动造出的土）。这些，就是下面几章要一步步摆出来的东西。

这和上一章陈老师的蚕是同一件事：什么算「又来了一遍」，总得有人先把它记成同一笔。在 Lenski 的瓶子里，那个人是做实验的人。

◆ 十、放回日子里

陈老师家里有一块老面。她说是母亲留下的，母亲又是从谁那里分来的，她也说不清。每次蒸馒头，她揪下拳头大的一团，放进小瓷盆，盖上湿布，留到下一回。

有一个周末，阿远蹲在厨房里看她揉面。

「老师，您留下的这一团，下一回蒸出来的馒头，算这一回的孩子吗？」

「你说算就算。」陈老师手上没停。

「要是您这回揪错了，揪下来的是没发好的那一块呢？」

「那下一回就蒸不好。蒸不好，我就去隔壁借一团。」

「借来的那一团，算不算原来那块面的后代？」

陈老师终于停了手。她想了一会儿，说：「我一直这么留，这么借，没想过要算。」

十二个瓶子里的转瓶，就是一次次揪下的那一团。区别有两处。

一处是，陈老师的手有偏好，会挑发得好的；实验者的移液器不挑，摇匀以后随手取一份。另一处是，陈老师可以借，实验者不借：瓶子里没有隔壁。

所以那个体系里的户名，才会那样干净。

阿远后来去那个实验室的网站，看到一张照片：一个冷冻柜，里面码着一排一排的小管，每一管标着日期。

他想到陈老师书架上，那一排用牛皮纸包起来的旧教案，每年一本，封面上用钢笔写着年份。

他给陈老师打电话：「老师，那个实验，其实也是在记账。」

「记什么账？」

「每五百代冻一次，就是一页一页地记。」

陈老师说：「那就是说，账不是细菌自己记的。」

「不是。」

「是谁记的？」

阿远沉默了一会儿，说：「是做实验的人。」

你也可以试试。看到一个很大、很长、很稳的系统，比如一座老村子、一家老店、一个家谱，问一句：它的「账」，是谁在记？

这一章落在记账一致性上。Lenski 实验之所以最适合基因派，是因为户名已经写好：十二个瓶子，每一瓶的谱系都清清楚楚，一致性接近满格。一致性一旦掉下来，纯遗传模型就开始吃力。

> 带走的话
>
> **在户名已经写好的地方，基因几乎说了算。** ◆

> **小 账**
>
> 拆了什么：拆了「纯遗传模型对一切都够用」的印象；Cit+ 的历史偶然和 S、L 两支系共存，是它的两条边界。
>
> 立了什么：立了一个收窄的结论——纯遗传模型在「户名已定」的体系里走得最远，户名一旦要定，它就借账。

第 8 章

三家互相欠

一张欠条表——三家都欠「算谁的」这一笔

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：两个人互相抄作业，抄到谁也说不清原稿是谁的。

陈老师批改作业，年底碰上过这样的事。两个同桌的作业本，同一道应用题，写法一模一样，连中间一步写错的地方都一样。她把两本摆在一起，看了很久。

她问两个孩子：「谁先写的？」

甲说：「我的。」乙也说：「我的。」

她再问：「那你们是怎么写到一模一样的？」

甲说：「他看我的。」乙说：「她看我的。」

陈老师叹了一口气，在两个本子上都写了两个字：待查。

上一章的结论是：纯遗传模型一旦遇到户名，就要借账。借的是什么账，这一章来对。

这一章，本书要把前四章里三家各自借来的东西，摆到一张桌子上，核对一下，到底是谁抄了谁。结果会让你有点意外：三家抄的，是同一笔。

◆ 二、一张表

先把前面讲过的东西，摆成一张表。

派别	押哪一头	借了哪一头	借在推导的哪一步	本卷出处
基因派	客体：复制的结构	主体：一个有边界的有机体；互动：有机体与环境的来往	从「复制子变多」走到「这一份后代算给复制子」这一步，要借载具和延伸表型	第 2 章

派别	押哪一头	借了哪一头	借在推导的哪一步	本卷出处
生态位派	互动：改土与反馈	主体：一个知道自己的「构建者」；客体：构建的结果要靠遗传才能留下	从「环境被改了」走到「功劳算给构建者」这一步，把构建者当成现成的	第 3 章
有机体派	主体：自维持与能动	客体：闭合要靠可复制的结构才能延续；互动：闭合的边界要靠环境来划	从「有机体自己维持自己」走到「后代算给那个闭合」这一步，把边界当成给定	第 4 章

三家的借法，看上去不一样：基因派借的是载具，生态位派借的是构建者，有机体派借的是闭合。名字不同，位置却相同。

每一家，在从「我的这一头」走到「这一份后代算谁的」那一步，都停了一下，然后抓来一个「那一个」：那一个载具，那一个构建者，那一个闭合。

◆ 三、怎样读这张表

这张表有三个读法，每个读法回答一个问题。

第一个问题：每一家的「主场」在哪里？看第二列。基因派的主场是客体：能被复制、能被测出来的结构。生态位派的主场是互动：有机体与环境之间的来回。有机体派的主场是主体：自己维持自己、自己挑选。三个主场，各自问的问题不同，各自答得极好。

第二个问题：每一家在什么地方「出了主场」？看第四列。出主场的那一步，几乎都在同一个位置：从「我这一头讲清了某件事」，走到「所以这一份后代算谁的」。这两句话之间，有一个小小的跳跃。

第三个问题：每一家借来的东西，是不是对方的主场？看第三列。是的。基因派借的载具，是有机体（主体）的东西；生态位派借的构建者，也是有机体（主体）的东西；有机体派借的闭合边界，却要靠环境（互动）来划。三家互相借，借来借去，没有任何一家从自己的主场里推出了这个「那一个」。

用日子里的话讲：三个人合伙开店，一个管货，一个管客，一个管账房。每个人遇到「这笔钱算谁的」这类问题时，都说「这个得问另外那两位」。三个人互相推。结果是：店开得很好，账一直没人记。

注意，这里没有任何一家做错了事。每一家借东西，都是正常的科学做法：没有一个理论是完全自足的，每个理论都有它依赖的背景。问题只在于，这一笔借的东西，对全局特别要紧，它决定了「个体」和「适应度」能不能谈。

◆ 四、什么叫「欠条」

「欠条」这个词，在本书里有一个比较窄的意思，值得先说清。

不是所有借来的东西都算欠条。一个理论明说「我假设有机体已经存在，在这个前提下讨论」，这是它公开承认的条件，不叫欠条。就像你借钱，写了借条，当面说明了数目和日期，那是一笔明账。

欠条指的是另一种情况：**直接给定、自己没推出、又没声明的东西**。一个理论在推导里用了某一样东西，当作自明的，既没有从自己的前提推出来，也没有把它列入假设。读者若不是特意追究，是看不出来的。

第 14 章会把这个标准写成一条定理，并配一张码表，让没读过本书的人也能照着去核对。本章先举一个例子，看欠条是什么样子。

基因派说：选择作用于载具，使得其中的复制子变多。这句话里，「载具」是一个被用到的东西。它从哪里来？基因派没有把它当成一个需要推出的量，也没有明说「我假设载具已经存在」。它直接用了。

这就是一张欠条。而且本书认为：这张欠条，不是基因派一家的毛病，而是三家共有的。

◆ 五、借的是同一笔

把这个发现用一句话写出来，就是本书的第一条核心判断。下面这句，逐字抄自本书的论证，请你读两遍：

三家共同的、从没说出口的预设：「这一份后代算谁的」是自明的——基因派默认算给复制子，生态位派默认算给构建生态位的那个有机体，有机体派默认算给自维持的那个闭合；三家都没有把「记到谁名下」当成一件需要结构去做的事。

注意这句话里的措辞。它没有说三家忘了讲后代，它们讲得很多；它没有说三家讲错了，它们各自讲对了一头。它说的是：在每一家的推导里，「这一份后代算谁的」这件事，没有被当成需要说明的事。

打个比方。三家好比三个会计，一个擅长管流水，一个擅长管合同，一个擅长管人事。每个人都做得很好。不过三个人都默认，每一笔钱记在哪个账户下，是「不用想」的，没有人去问：「账户是谁开的？」

这一章不是要批评他们没问。是要说明：他们没问，不是因为疏忽，而是因为在各自的体系里，这个问题没有位置。

基因派的体系里没有账户，只有复制子；生态位派的体系里没有账户，只有构建者与环境；有机体派的体系里没有账户，只有闭合。三个体系里，「户名」都是一个多余的词。

◆ 六、衰老难题也欠这一笔

现在可以回头收第 1 章留的伏笔了。

第 1 章讲了衰老的三种答法：梅达沃、威廉斯、柯克伍德。我们当时说，三种答法都默认，身体和生殖系的账本早已分好。

现在可以更准确地说：它们欠的就是这一笔。

梅达沃说晚发的害处「已经传给了孩子」，那是在默认：孩子，是算给带着这些突变的那一个身体的。威廉斯说年轻时的好处让个体「生得多」，那是在默认：生出来的后代，算在这一个个体的成绩单上。柯克伍德说资源在「修补」与「生殖」之间分配，那是在默认：生殖投入的东西，最后落在「一个有机体」的账上。

也就是说，衰老的三种理论，和基因派、生态位派、有机体派用的是同一种默认。只不过一个落在突变上，一个落在交换上，一个落在分配上。

这说明了什么？说明这个「没问」，不是三家之间的恩怨，而是整个领域一个很深的习惯。

◆ 七、为什么从没人说出口

那么，为什么这个问题，几十年来没有被提出？

本书给出的一个解释是：在大多数日常的例子里，答案确实不用多想。一头鹿生一头小鹿，一株稻子结一粒稻谷，小鹿算鹿妈妈的，稻谷算稻子的。账是现成的，没有人有机会去怀疑。

只有在一些边缘的情形里，这个「不用想」才露出裂缝：

- 一个细胞团分裂成两个细胞团，新团算谁的？
- 一株克隆植物的两根枝条，被风吹断，各自长成新株，算几个个体？
- 一个蜂群里不育的工蜂，把自己的适应度「送给」蜂后，到底是工蜂的，还是蜂群的？
- 一个人体里的一个癌细胞，复制得比别的细胞都快，它的「后代」算谁的？
- 一个由 AI 提出、由实验室表达的蛋白，它的用处，算谁的？

这些边缘情形，在教科书里往往被放在「特殊情形」一栏。本书的看法是：它们不是特殊情形，而是平常情形的放大镜。平常的例子里，那道记账的结构，因为太稳定，反而看不见了。

◆ 八、三家为什么有资格不问

往下走之前，先替三家说一句话：他们不问，是有资格不问的。

科学靠分工。一个做复制保真的实验室，没有义务同时回答有机体的边界从哪里来；一个研究生态位构建的小组，也没有义务回答构建者是怎样成为构建者的。每一家都从自己最有把握的地方出发，这是它们能走得这样远的原因。

而且，在很大一片地方，「不问」是完全成立的。

凡是后代的户名由一道又稳又老的关口写好的地方，三家的算法彼此一致。单细胞起点的动物，每年同一时节结子的庄稼，一窝窝认得母亲的幼崽，用哪一家的算法，数出来的都差不多。

这就像三把尺子量同一张桌子，读数相同，没有人会去问刻度是谁画的。

出事的，是读数开始不一致的时候。

◆ 九、同一个边缘情形，三家怎么答

拿一个假想的情形，请三家各答一次。

一个细胞团，一百个细胞，某一天从中间裂成了两半，各五十个，各自继续长。要问的是：这是一个个体生了一个孩子，还是一个个体变成了两个，还是两个新的个体。

真的生物里有这样的事。水螅出芽，珊瑚被浪打断的枝落在别处长成新的群体，都和这个假想差不多。

下面是按各家的思路推下去，大致会得到的答法。这是本书的推演，不是他们的原话。

基因派数拷贝。两半里的序列，都是原来那些序列的复制品，拷贝没有少，也谈不上「生」。要回答算几个个体，得先说哪一块是载具，而载具恰好是要回答的东西。

生态位派看土。两半还踩在同一块被改过的土上，各自继续改。要回答谁是构建者，就得先把哪一半当成主角，而这也是要回答的东西。

有机体派看闭合。裂开以后，两半各自维持自己，各是一个闭合，所以是两个。不过裂开之前，那一百个细胞是一个闭合，还是一百个闭合？这取决于闭合的边界划在哪里。

三个答法：没有生；一个构建者变成了两个；两个新的闭合。

同一件事，三个数。

每一个答法，在各自的主场里都说得通。不过没有一家，能凭自己的东西，把三个数里挑出一个来。

◆ 十、户口本上的一页

换一个你熟悉的画面。

孩子出生以后，要上户口。办手续的人会让你选：孩子随父亲落户，还是随母亲落户。

孩子自己填不了这一栏。他在表格上没有位置，他的位置是办手续的人划出来的。

户口本上的一页，把这个孩子记到了某个家的名下。从此以后，许多事都跟着这一页走：他在哪里上学，他怎样被统计，他算几口人里的哪一口。

孩子没有变，变的是他被记在谁的名下。

本书拿这个画面，只为说一件事：「这一份算谁的」，在人间是一道手续，有人经手，有一栏要选。生物的世界里也有这样的一栏。三家的推导里，这一栏被默认填好了，填的人一直没有出现。

◆ 十一、一个反对：这不过是约定

有读者会说：算谁的，不过是个约定，研究者想怎么算就怎么算，何必说成生物学的事。

这个反对有一半是对的。

对的那一半：很多时候，确实是研究者选的。科学哲学里讨论过这样的情形：同一批数据，把选择记在基因名下，还是记在个体名下，有时可以数得一样好〔待核〕。第 12 章会请出讨论这件事的人。

不对的那一半：有些户名，不是研究者划的，是生物自己做出来的。受精卵是单个细胞的起点，生殖系在胚胎里早早被隔开，这些都是生物自己做的。研究者可以换一种数法，换不掉这道关口。

约定可以改，关口改不了。

还有一层。如果约定可以随便换，三家的争论就只是口味之争了。不过这场争论持续了半个世纪，没有谁说服谁，这说明每一种数法背后，各有各的关口在撑着。

于是问题变成了：研究者的约定，和生物自己做出来的关口，对不对得上；对不上的时候，听谁的。

这个问法，才是这张欠条真正的内容。

◆ 十二、放回日子里

那两本作业，陈老师后来没有一直放着待查。

她把两个孩子叫到办公桌前，出了一道差不多的题，让他们当着她的面各做一遍。一个做得出来，一个卡在第二步。

她在做得出来的那一本上，把「待查」划掉，写上了名字。

阿远听她讲完，说：「所以不是把两本再对一遍，是有人当场看着。」

「对，」陈老师说，「户名要有人当场写。事后对，只能对出两个『我的』。」

散步的时候，阿远问陈老师：「老师，您说三家都欠这一笔，那他们知道吗？」

陈老师说：「知道的人，其实有。有的写在脚注里，有的说在会议的茶歇上。」

「那为什么不写进正文？」

「因为正文里没处放。」陈老师说，「要想把一个问题写进正文，得先有一个词。他们没有那个词。」

阿远想了想：「所以我们要给它一个词。」

「对。」陈老师点点头，「第一步是给欠条起个名字。」

你也可以试试。下次你在一个争论里，觉得两边说的都有道理又都不够，不妨先问：两边是不是都默认了同一件事？把那件事写下来，往往比继续吵更有用。

这一章落在记账一致性上。三家的欠条是同一类东西，把它们排在一起，可以问同一个问题：在你们各自的体系里，这一份后代，是几个口在记，记得一不一致。一致，欠条就还得上；不一致，就还不上。

带走的话

三家吵了几十年，欠的却是同一笔账。 ◆

小账

拆了什么：拆了「三家各有各的难处」的印象；一张表看下来，三家在同一步借了同一类东西。

立了什么：立了三家共有、从没说出口的预设——「这一份后代算谁的」是自明的；并收了第 1 章的伏笔：衰老的三种答法也欠这一笔。

第 9 章

欠条一

适应度从哪里来——选择给出多少，没给出户名

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：剪下一根枝条，插进另一个盆里，它居然活了，你忽然不知道该怎么称呼它。

阿远帮陈老师整理一缸水草。缸里的草长得太密，要剪掉一些。陈老师递给他一把小剪刀，他就一段一段地剪下来，放在桌上。

「这些扔掉吗？」

「别扔，」陈老师说，「插到那个新缸里去。」

阿远照做了。过了两周，新缸里的水草也长得绿油油的。

陈老师看着那一缸，问：「新缸里这些，算老缸的后代吗？」

阿远说：「算吧，都是从那儿剪下来的。」

「那它们是老缸那几株的孩子，还是那几株自己的另一部分？」

阿远张了张嘴，答不上来。

这一章，就是要从这个「答不上来」出发，追问适应度这个概念里，藏着的一笔没记清的账。

◆ 二、适应度讲的是多少

先把适应度讲清楚。

适应度，是演化理论里最核心的一个概念。粗略地说，它描述一个类型（可以是一个基因型，一个个体，一类性状）留下后代的能力。适应度高的类型，下一代里占的比例会增加；适应度低的，会减少。自然选择，就是适应度差异带来的结果。

这个概念有很多讲究。其中最有名的一场争论，是关于「适者生存」是不是同义反复。批评者说：谁是适者？就是生存下来的。谁生存下来了？就是适者。绕了一圈，什么也没说。

科学哲学家们对此给出了回应。其中一个有影响的回答，是苏珊·米尔斯（Susan Mills）和约翰·比蒂（John Beatty）1979 年提出的「倾向解释」〔待核〕：适应度不是实际留下了多少后代，而是在某种环境里，期望能留下多少后代的一种倾向。就像一枚均匀的硬币，倾向是一半，哪怕这一次抛出来全是正面。

这个回答很好地化解了同义反复的指责。它把适应度，变成了一个关于概率的陈述，可以独立于实际结果去估计。本书对此全盘接受，并且要先还它这个公道：适应度概念，经过几十年的打磨，已经讲得很细了。

这场同义反复之争，连大名鼎鼎的科学哲学家也卷进去过。波普尔（Karl Popper）在 1970 年代中期说过一段话，大意是：自然选择学说近乎同义反复，更像一个研究纲领，而不是一条可检验的理论；后来他公开收回了这个看法〔待核〕。一个概念值得被这样认真地争，说明它是真的重要。

不过，请你留意这个概念里一个没有被写出来的东西：留下「后代」。

适应度数的是后代的数目。可是数之前，要先决定：什么算「后代」？什么算「这一个的后代」？

◆ 三、适应度到底是谁的

「适应度」这个词，在不同的人口中，指的东西并不相同。

有时指的是**基因的适应度**：一个等位基因的拷贝在下一代里变多还是变少。有时指的是**基因型的适应度**：一类基因型的个体平均留下多少后代。有时指的是**个体的适应度**：这一个有机体一辈子生了多少个孩子、孩子又活了多少。有时指的是**群体的适应度**：一个群体产生了多少新的群体。

这四种用法，不是随意选的。每一种，都意味着一个不同的「记账单位」：基因，基因型，个体，群体。

有一个生物学家们都知道、但不常提起的事实：选对了单位，同一组数据会得到完全不同的故事。

打个比方。一家公司有五个部门。你想知道这家公司「赚得好不好」。你可以数每个员工赚了多少，可以数每个部门赚了多少，也可以数整个公司赚了多少。三个数，都对，各回答一个问题。但如果你问的是：哪一个部门在拖后腿？你要看部门的账。如果你问的是：哪个员工应当升职？你要看个人的账。

群体的账也有难处。蜜蜂的蜂群繁殖靠分蜂：春末夏初，老蜂王带着一部分工蜂飞走，另找地方筑巢；留下的蜂群，由新羽化的蜂王接手。要问的是，飞走的是母群的孩子，还是母群自己搬了家；留下的是母群，还是它的女儿。养蜂人说得很随意，要写进适应度的公式，就得先选一种说法。

选择单位之争，争了半个世纪，其实就是在争：我们该用哪一本账。

本书这里的意思，不是要在这场争论里站队，而是指出一个更根本的事实：不管用哪一本账，**总得有一个东西，把后代记到那本账上**。基因的后代，由复制来记；个体的后代，由生殖来记；群体的后代，由群体繁殖来记。这些「记」，是不同的结构在做，不是同一个。

◆ 四、一片森林算几个

回到克隆植物。美国犹他州有一片叫「潘多」（Pando）的颤杨林，据报道，它由一个基因型长出的几万根树干组成，共享同一个根系，被认为是已知最重的单个生物之一〔待核〕。

这片森林，用不同的单位去数：

数树干，是几万个「个体」。

数基因型，是一个「个体」。

数根系，也是一个「个体」。

如果问：这片森林一年「繁殖」了多少次？数树干，是几万次萌芽；数基因型，是零，因为没有新的基因型出现；数种子，是另一个数。

三个数，在适应度的计算里，会导出三种不同的结论。一个想知道这片森林演化趋势的研究者，必须先选一种。他选哪一种，是研究者做的决定，不是森林告诉他的。

这并不是说森林没有个体性。它的意思是：个体性不是一个等着被观察的现成事实，它是被一种记法定下来的。而记法不同，结论就不同。

◆ 五、户名不在选择里

回到那一缸水草。

假如用适应度的办法数。老缸里的一株草，剪下一段插到新缸，这一段长成了新的一株。这一株，算是母株的后代吗？

有一个生态学上的老区分：**基株**与**分株**。基株（genet）指由一颗种子发育出来的整个克隆，包括它所有的无性繁殖的部分；分株（ramet）指其中每一个能独立生活的单位。一片由一颗种子发育的杨树林，是一个基株、几千个分株。

数后代的时候，有两种数法：数分株，一株一株数，新缸里的算一个新的；数基株，整片只算一个，新缸里的不算新增。两种数法，得到的适应度完全不同，对选择的预测也可能完全不同。

选择自己不会告诉你该用哪一种。选择只会作用在「被数的那个东西」上。

也就是说，**选择给出的是「有多少」，「这些算谁的」是另一件事**。

再看几个例子。

第一个，上一章讲到的豆科植物。根瘤里的菌，有的老实固氮，有的偷懒。宿主减少对偷懒者的供氧，它们的繁殖下降。这里，「多少」在变：偷懒菌的后代变少。不过更重要的是，**哪一些根瘤菌的后代，被允许继续记在这个宿主的「共生谱系」里**，是宿主决定的。

第二个，蜜蜂。蜂群里的工蜂不生育，她们的「适应度」，如果按自己生的孩子数，是零。可是按汉密尔顿的办法，她们帮蜂后养大的妹妹，算作她们的包容适应

度。这是一个很聪明的记法，也是一个必须被明说的记法：**谁帮了谁，多少算到谁的账上，是规则决定的。**

第三个，癌。一个细胞突变后分裂得特别快，它的后代数量高于周围的细胞。按「有多少」来数，这个细胞适应度很高。不过它的后代，最后随着宿主的死亡一起消失了。这些后代，算谁的？算那个癌细胞，还是算整个身体？第 26 章要讲。

这些例子里，「多少」都是可以数的。数不清的，是「算谁的」。

◆ 六、拿数字走一遍

光说不够，拿几个数字走一遍。下面的数是本书编的，只为看清算法，不是哪一种植物的实测。

设有一小片草，开春时是三株，各从一粒不同的种子长成。到了秋天，每一株都靠匍匐的茎，长出了六个能独立扎根的小苗，一共十八个，加上原来的三株，合计二十一个。同一个秋天里，其中一株落下一粒种子，萌出一株新苗。

要问的是，这片草这一年的适应度是多少。

数分株。开春三个，入冬二十二个，增长了七倍多。

数基株。开春三个，入冬四个，增长了三分之一。

两个数，差了五倍多。

再设边上另有一片，条件一样，只是不长匍匐茎，靠种子繁殖：三株，落下十二粒种子，萌出十二株新苗。数分株，开春三个，入冬十五个，增长五倍。数基株，也是五倍。

现在比一比。按分株数，匍匐的那片赢，七倍多对五倍。按基株数，种子的那片赢，五倍对三分之一。

「谁更适应」，答案随着你数什么，整个翻了过来。

选择没有出错。选择只是作用在了「被数的那个东西」上。出错的是，我们以为只有一种数法。

◆ 七、手上的两个动作

户名，在人手里是很具体的动作。

吊兰有一种长长的茎，茎上垂着小苗，已经长出了根须。小苗没剪下来的时候，算母株的一部分，靠母株供水供肥。剪刀一落，它就成了另一株。

从一个变成两个，发生在哪一刻？不是它长出根须的时候，也不是它第一次自己吸水的时候。在家里的账上，是剪刀落下的那一刻。

自然界里没有这把剪刀。风、水流、动物的脚、茎的枯断，在不同的时刻替它剪。同一类植物，在不同的地方，一变二的时刻不同，适应度的算法就得跟着变。

阿远每周也做一个差不多的动作，叫挑单菌落。

菌液涂在平板上，每一个能长起来的细胞，长成一个小圆点，叫菌落。阿远用牙签挑起其中一个，转进新的培养液。

这是微生物实验室里最平常的动作，平常到没有人觉得它在做什么大事。

实验室里通常把一个菌落看作来自一个细胞。这个看法大体靠得住，偶尔也靠不住：两个粘在一起的细胞，会长成一个看上去只有一个的点。

挑这一下，等于在说：这一管以后的所有细胞，都记在那个起点细胞的名下。

这道手续不是细菌做的，是阿远的手做的。他的手还有偏好：习惯挑最圆、最大、边缘最整齐的那一个，自己不一定留意。细菌自己从不挑单菌落。不过这一下很有力量：它把一锅各不相同的细胞，变成了一管户名清楚的细胞，后面所有的比较，都建立在这一下之上。

第 7 章的转瓶是一道随机的关，挑单菌落是一道有意的关。两者都在写户名，只是写的人不同。

◆ 八、一个常见的反对：只数基因不行吗

有读者会说：既然数分株还是数基株要看约定，那干脆只数基因，就绕开了。

这是第 2 章里基因派的办法，它完全成立，而且在很大一片地方最干净。

它成立的条件是：你关心的那一段序列，在传递中保持完整，它的每一份拷贝，都能追到一路复制下来的来路。

克隆植物就满足这个条件。上面两种数法里，序列的拷贝数是一样多的。

不过，拷贝数回答的是「这段序列留下了多少份」，回答不了「这些份被哪一家收下了」。同一段序列的一百份拷贝，分散在一百个能独立扎根的分株里，和集中在一个基株里，是两种局面：前者里，每个分株自己承受天气和虫害；后者里，整片一起承受。

所以，只数基因，不是绕开了户名。它是把户名记在了序列的名下。

这是一种记法，而且是很好的一种。可它仍然是一种记法。

◆ 九、谁来写户名

那么，户名是谁来写的?

这就是本书全书的问题。但在这一章，先把它的形状画出来。

写户名的东西，必须满足三个条件。

第一，它必须在后代出现的那个节点上起作用。比如，一个受精卵从一个细胞开始，这个「单个细胞」的瓶颈，就把后代记到了「这一个亲代集体」的名下；一个细胞团随机碎裂成几块，每块各自长大，则没有这样的记法。

第二，它必须一代一代重复。只发生一次的，不算结构，是偶然。户名要一代代地写，才有稳定的账。

第三，它必须有一个「谁在写」。一道无利害的筛，一个有利害的守门者，一个无利害却能提出候选的设计者。三类写法，后果不同。

本书把满足这三个条件的东西，叫作**记功口**。第 17 章会把它完整讲出来，现在只是预告。

现在先把这一章的结论落下来：**适应度这个概念，有一半是「数」，另一半是「记」。数的那一半，选择管；记的那一半，选择不管，要靠一个别的东西来做。这一半，在现有的理论里，没有位置。**

◆ 十、放回日子里

那缸水草，后来被陈老师分成了三份，一份给了阿远，一份送了邻居，一份留在家里。

过了一年，邻居来串门，说她那缸草长得特别好，问陈老师：「当初那几根，是不是你家那株的孩子？」

陈老师说：「是它的一部分。」

「那我家这缸，算你家的吗？」

陈老师笑了：「你家的，算你家的。」

阿远在一旁听着，忽然意识到：陈老师刚才说的，不是生物学，是「户名」。一缸水草，在生物学上可能是同一个基株的一部分，在邻里之间，已经是另一户的了。同一件东西，记在哪里，取决于谁在记。

阿远回到实验室，挑单菌落的时候，手停了一下。

他看着平板上那些小圆点，想：我挑哪一个，是我定的。这一管以后的所有细胞，都记在这一个的名下。他在管壁上写下日期和编号。那串编号，就是户名。

你也可以试试。分一盆绿萝给朋友，过一年再问：「这是我的那盆的孩子，还是你的绿萝？」看看你们俩，会不会给出同一个答案。

这一章落在持有者的利害上。适应度数的是多少，不管谁数；户名写给谁，要看写的人有没有利害。选择是无利害的筛，所以它给不出户名；这一点，是整本书里第一个可以量的差别。

> 带走的话
>
> **选择会数数，不会写名字。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「适应度已经把后代讲清了」这个默认；适应度里有一半是「数」，另一半是「记」。
>
> 立了什么：立了一句话——选择给出多少，不给出户名；并留下一个伏笔：户名由什么做出来，第 17 章回答。

第 10 章

欠条二

突变有机制、有偏向，但不朝适应定向——「变异不看方向」的操作定义

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一件事看上去全凭运气，可你越看越觉得，运气也有它的脾气。

陈老师在课上演示抛硬币。她先拿一枚新的，抛了二十次，十一次正面，九次反面，学生们说：「差不多一半一半。」

然后她从抽屉里拿出另一枚，边缘磨歪了一点。她让学生一人抛十次，全班加起来，正面明显多。

「这一枚是偏的。」一个学生说。

「对，」陈老师说，「可它知道你押哪边吗？」

教室里安静了一下。有人笑：「它怎么可能知道。」

「那么，」陈老师说，「偏，和知道，是两回事。一枚歪了边的硬币，每次都往同一边多落一点，可它既不是为了让你赢，也不是为了让你输。」

这一章要讲的，就是这个「偏，但不知道你押哪边」。它讲的是生物学里最容易被误解的一件事：变异。

◆ 二、偏，但不知道你押哪边

变异，是达尔文过程的第一件事。没有变异，选择无物可选。

关于变异，生物学里有一个经典的结论：变异是随机的。意思是，变异的出现，与生物当下面临的环境需要无关。细菌在抗生素下变得耐药，不是因为抗生素「诱导」出了耐药突变，而是耐药突变本来就在种群里零星存在，抗生素只是把它们挑了出来。

这个结论的最有名的实验证据，是卢里亚（Salvador Luria）和德尔布吕克（Max Delbrück）1943 年的「波动实验」〔待核〕。他们把同一株细菌分成许多独立的小培养，让每一管各自长，然后全部暴露于一种会杀死细菌的病毒。如果耐药是被病毒诱导出来的，各管里的耐药菌数目应该差不多；如果耐药突变是本来就随机出现的，各管里的数目就应该忽高忽低，因为有的管里突变早出现、传了很多代，有的管里晚出现、传得少。实验结果，是后者。

这是生物学史上最漂亮的实验之一。它说明：变异不是被环境「定做」的。

后来的研究，把这个图景丰富了。变异不是均匀的。有些位置的 DNA 比别的位置更容易出错；有些类型的改变（比如把一个碱基换成另一个特定的碱基）比别的类型更常发生；基因组里不同区域，修复的效率也不同。这些都是「突变的偏向」。有机制，有偏向。

2022 年，有一个研究组在《自然》杂志上发表了一篇关于拟南芥的文章〔待核〕，据报告，他们发现拟南芥基因组里重要基因所在的区域，突变率比别处更低，这种偏向与基因组上的某些表观标记有关。他们据此提出，突变的偏向，可能反映了一种「保护重要基因」的演化结果。这个结论引起了不小的争议，有其他研究者提出，这一图景也许可以用测序和统计上的因素来解释〔待核〕。

本书无意裁决这场争论。它的出现本身，说明变异的「偏向」是活跃的研究前沿。不过无论怎样争论，有一点没有变：这类偏向，是指突变发生的概率不均匀，而不是指突变「朝着当下有利的方向」发生。

◆ 三、一个关于彩票的实验

卢里亚和德尔布吕克的实验，值得多讲几句，因为它的聪明，在于一个统计的画面。

先想两种可能。

第一种：耐药是被病毒诱导出来的。每一管里的细菌，遇到病毒的时候，各自有一个很小的机会变成耐药的。这像每个人各抛一枚硬币，结果集中在平均数附近：各管里的耐药菌，数目差不多。

第二种：耐药突变在遇到病毒之前，就已经随机出现了。这像彩票。多数管里没有中奖，一个耐药的也没有；偶尔有一管，突变出现得早，传了很多代，一下子有几百个。各管之间忽高忽低，差得很远。

他们把许多支独立的小管排开，数结果，看到的是彩票〔待核〕。

据卢里亚自己后来的回忆，他是在一次联欢会上，看同事玩老虎机，想到这个办法的〔待核〕。老虎机和彩票是一回事：多数时候什么也没有，偶尔吐出一大把。

1952 年，莱德伯格夫妇（Joshua Lederberg 和 Esther Lederberg）用一块丝绒，做了另一种检验〔待核〕。他们把长满菌落的平板轻轻按在丝绒上，再把丝绒依次按到几个新平板上，每个新平板都复印出同样位置的菌落图案。有的新平板里加了抗生素。结果是，在加了抗生素的平板上活下来的位置，对应回没加抗生素的原板，早就是耐药细胞所在的位置〔待核〕。

两个实验，办法不同，指向一处：变异先出现，选择后来挑。变异出现的时候，不知道选择要什么。

◆ 四、偏向有名有姓

「有偏向」不是一句空话。偏向有名有姓，每一种都有化学上的原因。

第一种，碱基的换法不一样。DNA 的四个碱基里，有两对性质相近。换成相近的那个，叫转换；换成差得远的，叫颠换。在许多生物里，转换比颠换常见得多，人类基因组里大约是两倍上下〔待核〕。

第二种，被贴了标记的位置特别容易变。在许多脊椎动物的基因组里，有些胞嘧啶会被贴上一个甲基，这样的胞嘧啶容易自发地变成胸腺嘧啶，于是那些位置的突变，比别处高出许多〔待核〕。

第三种，重复的地方容易打滑。一段短序列连着重复很多遍，复制的时候，酶容易滑一步，多抄或者少抄一遍。

三种偏向，都有机制，都能测，都不均匀。

没有一种需要「知道」环境要什么。转换多于颠换，在沙漠里和在海里一样；甲基标记的位置容易变，春天和冬天一样。

人类的新突变也能这样测。把父母和孩子的基因组一并测出来对比，就能找出孩子身上父母谁都没有的新突变，每个孩子大约几十个〔待核〕。再追下去，还能分辨每一个来自父亲还是母亲。据报告，来自父亲的更多，而且随着父亲年龄增大而增多〔待核〕。

请留意这一步。一个新突变出现的时候，没有户名。它是靠父母与孩子的对照，被追认给某一位亲代的。追认，是一道手续。

◆ 五、一场差点推翻随机性的争论

关于变异的随机性，生物学史上有一场著名的争论，值得单独讲一讲。

1988 年，约翰·凯恩斯（John Cairns）和同事在《自然》上发表了一项研究〔待核〕。他们把一种不能消化乳糖的大肠杆菌放在只有乳糖的培养基上，让它们挨饿。过了一段时间，据报告，这些细菌里长出了能消化乳糖的突变株，数量似乎超过了「随机突变」所能预期的。他们的解读是：细菌在饥饿的压力下，是不是有可能「有选择地」产生有用的突变？这个想法被称为「定向突变」。

这个报告一下子引起了轰动。因为如果它是对的，意味着变异和环境的需要之间有一条通道，拉马克式的遗传似乎要复活了。

接下来的几年，许多研究者去重复、去分析。后来的结论大致是：这个现象可以用别的机制解释，比如细菌在饥饿时，整体的突变率会上升（所谓「应激诱导的突变」），而且这种上升可以集中在基因组的某些区域；同时，原来观察到的结果里，也混入了选择在其间的作用〔待核〕。这些机制，并不是让突变「知道」哪一个有用，而是让突变的总体概率变大了。

其中一种后来被较多讨论的解释是：饥饿的时候，细胞里那段有缺陷的基因被多复制了几份，拷贝多了，碰上恢复功能的突变的机会就多了；能吃乳糖之后，细胞才继续长大〔待核〕。这个解释里，没有哪一步需要突变「知道」方向。

这个例子之所以值得讲，是因为它很好地说明了，什么叫「有机制、有偏向、不朝适应定向」。在饥饿下，突变率的确可能变化，这是有机制、有偏向的。但没有证据表明，突变能根据「当下哪个方向有利」来精确选择方向。

争论的结果，不是证明了变异绝对随机，而是把「随机」的意思弄准确了：**变异的概率可以不均匀，也可以随压力变，但它不朝当下的适应方向定向。**

这就是下面要写的操作定义的来历。

◆ 六、操作定义

现在可以给出本书的操作定义了。本书把这一层意思，叫作「变异不看方向」。它的用法很窄，只有一层意思：

突变有机制，有偏向，但它的偏向，与「此时此地哪个方向有利」统计上无关。

这就是本书说的「变异不看方向」。注意这三个短语。

「有机制」：突变不是魔法，每一类突变都有它的化学和物理上的原因。

「有偏向」：突变的概率分布不均匀，某些位置、某些类型更常见。

「不朝适应定向」：偏向的方向，与当下的适应方向，没有系统性的相关。

这个定义可以测。方法是：选定一个生物，在一个环境里，一边测出每种可能的突变发生的概率（突变谱），一边测出每种突变在这个环境里的适应度效应（选择谱）。然后问：这两张谱，相关吗?

如果突变谱和选择谱呈正相关，也就是越有利的突变越容易出现，那就是「朝适应定向」，本书的定义就被推翻。如果没有系统性的相关，本书的定义就成立。

这是一个可检验的陈述。目前已有的证据，大体支持「无关」，但在细节上（比如压力下突变率上升的各种机制），还有许多开放的问题。本书取的是保守的立场：不朝适应定向，写下来，随时接受修订。

◆ 七、把规则换一换

另一堂课上，陈老师给那枚歪边的硬币加了一条规则。

第一轮，规则是：抛出正面，算「活下来」。第二轮，规则换成：抛出反面，算「活下来」。硬币还是那一枚。

每个学生抛十次，把「活下来」的次数报到黑板上。

第一轮，全班「活下来」的次数多。第二轮，少。

陈老师问：「它是在帮第一轮的忙吗？」

学生们说不是。

「那它是在跟第二轮作对吗？」

一个学生说：「也不是。它没变，是规则变了。」

这就是「不朝适应定向」的意思。第一轮，硬币的偏碰巧顺着规则；第二轮，碰巧逆着规则。把两轮合起来看，硬币的偏，和「此时此地什么算有利」，没有关系。

规则可以换，硬币的脾气没换。

◆ 八、一个常见的反对：偏向不就是定向吗

读到这里，你也许会问：突变既然有偏向，那不就是有方向吗？拉马克的影子，是不是又回来了？

这个问题值得认真答。

「偏向」和「定向」是两个词，说的是两件事。

偏向，是说突变的概率分布不均匀，有的位置高，有的位置低。这是关于突变自己的一张谱。

定向，是说这张谱跟着此时此地的好坏走：什么有利，就多出什么。这是突变谱和选择谱之间的关系。

前者是事实，后者才是本书的操作定义要排除的东西。

还有一个相近的问题：压力大的时候，突变率上升，这算不算定向？

不算。压力下整体突变率上升，是所有方向一起变高，像把整个转盘拨快了。转盘拨快了，指针并不因此知道该停在哪里。

◆ 九、发育偏向：第四条路线的强项

在这里，要把第四条路线——演化发育生物学——再写一节。因为这是它的强项。

演化发育生物学讲的「发育偏向」，是另一个层次的偏向。突变本身可以是均匀的，但一个突变能不能「长出」一个活的身体，要经过发育这道工序。发育的结构，决定了哪些变化容易走通，哪些走不通。

打一个比方。一座房子的设计图，如果你随机改动一处，可能会让整座房子塌掉，也可能只是让窗户变大了一点。改动的位置不同，后果就不同。发育网络里，有的节点牵一发而动全身，有的则可以自由调整。

所以，同样的随机突变，经过发育的「过滤」，出现在成体上的变化就是有偏向的。比如，许多脊椎动物的四肢，趾的数目变少比变多容易；同一类昆虫的翅脉模式，沿着某几个方向变化比沿别的方向容易〔待核〕。

这是演化发育生物学的一大贡献：它让人看到，选择之前，已经有一道「筛」，是发育这道筛。

本书对此没有异议。这个偏向，同样是「有机制、有偏向」，也同样不朝「此时此地的有利」定向，它是发育的结构给出的，而不是当下的环境给出的。所以，它与本书的操作定义相容。

◆ 十、三家都需要变异，又都没把它当成事

那么，这第二张欠条，欠在哪里?

三家都用到变异。基因派用它作为复制中出错的来源；生态位派用它作为构建者之间的差异；有机体派用它作为能动者彼此不同的原因。三家都需要「变异不是朝着适应定向冒出来的」这个前提，否则选择就没有事可做：如果变异已经朝着有利的方向冒出来，选择只是在确认。

可是三家都没有把这个前提当成「需要说明的事」。它被当成背景，一个不值得提的东西。

为什么这是一张欠条？因为「变异不朝适应定向」，意味着这个世界上存在一类「不可预期的东西」：它的出现，不是任何一方设计的，也不是任何一方预料的。这类东西，必须被某个东西接住：有的被选择淘汰，有的被留下。留下的那些，要被记到某个名下。

换句话说：如果变异是定向的，那么谁的变异，就是谁的功劳，户名是现成的。正因为变异是「无主」的，所以「记到谁名下」才成了一个问题。

这是第二张欠条的意思：**变异的无主，使户名成为必须由结构去做的事**。三家都用了变异的无主，又没问：无主的东西，是怎样落户的？

第 9 章说，选择只数数，不写名字。这一章说，变异本来就没有名字。两头合在一起，户名无处可落，只能由另一道东西来写。

◆ 十一、放回日子里

后来上课，陈老师又拿出那枚歪边的硬币。

她问学生：「你们抛一百次，它大概会有多少次正面？」

学生们说了一堆数，有人说七十，有人说六十五。

她说：「我告诉你们，它偏的方向，我自己也不知道。」

学生们愣了。她说：「我没测过。偏，和知道偏向哪边，又是两回事。」

阿远在教室后面听着，忽然想起实验室里每次做测序，都要先测一个「本底错误率」，才能知道后面读到的变异是真的还是仪器的。他在手机上写了一行字：先测偏，再谈变。

你也可以试试。下次有人说「这全凭运气」，你问一句：这个运气，偏不偏？偏的话，往哪边偏？

变异讲到这里。下一章，要讲一股既不在变异、也不在保留的劲：吸引。

这一章落在持有者的利害上，同时是回弹系数的第一个预告。变异不看方向，所以谁来收，就成了关键：收的人有没有利害，收了以后撤掉这个口，谱系会不会回到原来的样子。后面会有一个系数，专门量这一点。

带走的话

变异有脾气，却没有方向感。 ◆

小账

拆了什么：拆了「变异要么随机、要么被环境定做」的二分；变异有机制、有偏向，但不朝适应定向。

立了什么：立了「变异不看方向」在生物学里的操作定义，并指出第二张欠条——变异的无主，使户名成为必须由结构去做的事。

第 11 章

孔雀的尾巴

美聚是独立的一股劲，配偶选择也是一道记功口（达尔文、Fisher、Prum）

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一个小孩问了一个问题，你给出了一个听上去很有道理的答案，孩子又追了一句，你就答不上来了。

周末，阿远带表姐家的豆豆去动物园。孔雀正好在开屏，一整片蓝绿色的羽毛在阳光下铺开，像一把巨大的扇子，上面一只只「眼睛」闪闪发亮。

豆豆仰着头看，说：「舅舅，它的尾巴那么大那么重，跑都跑不快，为什么还要长这么大？」

阿远想起大学里学过的，说：「因为母孔雀喜欢。」

豆豆想了想：「她喜欢，就算数吗？」

阿远愣住了。他本来觉得这是一句再清楚不过的话：母的喜欢，公的就长大尾巴，下一代的公孔雀就更多地有大尾巴。可是孩子问的是，「算数」是什么意思？她喜欢，是不是就等于下一代的账，记在了那只公孔雀的名下？

这一章，就要把这个「算数」讲清楚。

◆ 二、诚实信号：美归于真的说法

先要把一个最有力的对手请出来。因为在生物学里，对孔雀尾巴有一个流传很广的解释，它试图把美收回到「真」里去。

达尔文本人对孔雀尾巴是头疼的。据传他在一封给友人的信里说，每次看到孔雀尾巴上的羽毛，就觉得不舒服〔待核〕。原因很清楚：如果自然选择是「适者生存」，一条又大又重、招引天敌的尾巴，明摆着不利于生存，怎么会被选出来？

1871 年，达尔文在《人类的由来及性选择》里〔待核〕提出了答案：除了自然选择，还有**性选择**。一个个体不仅要活下来，还要被异性选中。一个性状如果能让它在竞争配偶时胜出，哪怕对生存有害，也可能被选择留下来。

后来的学者想追问：异性为什么偏偏喜欢这样的性状?

1975 年，以色列生物学家阿莫茨·扎哈维（Amotz Zahavi）提出了「累赘原理」〔待核〕。他的意思是：华丽而昂贵的性状，是一种诚实的信号。能拖着这么大一条尾巴还活得好好的雄孔雀，说明它的体质一定很强壮，因为只有强壮的个体才付得起这个代价。弱的个体假装不了，因为尾巴的代价会把它压垮。

这个说法很漂亮，也影响深远。它把「美」收回到了「真」里：母孔雀喜欢大尾巴，是因为大尾巴是对基因质量的一个可靠的、造不了假的信号。美，不过是真的广告。

本书要对累赘原理表示尊敬。它解释了许多现象：为什么有那么多动物的求偶信号昂贵到近乎自毁；为什么一些信号的强度和个体的健康状况真有关联。这一条，是「美归于真」的最强说法，到今天仍然是性选择理论的一根支柱。

◆ 三、诚实信号在什么条件下成立

累赘原理后来有了一个数学上站得住的版本。格拉芬（Alan Grafen）1990 年的一篇论文，据说证明了：只要信号的代价，对强的个体比对弱的个体便宜，诚实的信号就可以稳定地留下来〔待核〕。

这个条件很具体。它不要求信号越贵越好，要求的是同一个信号，强者付得起，弱者付不起，价差拉开了。

条件成立的地方，累赘原理完全成立。

一个常被举的例子是家朱雀。雄鸟胸前的红色，来自食物里的类胡萝卜素，吃得好，红得艳。据希尔（Geoffrey Hill）1991 年前后的研究，雌鸟偏爱更红的雄鸟〔待核〕。红色在这里很难造假：色素要从食物里来，来得多，说明找食的本事强。

这是美贴着真走的情形。本书不但承认它存在，还承认它在鸟类里相当常见。

◆ 四、美自己会长

可是，这并不是故事的全部。在扎哈维之前，还有另一条线索。

英国统计学家、遗传学家罗纳德·费希尔（R. A. Fisher）在 1930 年的《自然选择的遗传理论》里〔待核〕，提出过一个完全不同的想法，后来被叫作「费希尔失控」。

他的想法是这样的：假设有一部分母孔雀，偶然偏爱尾巴稍长的雄孔雀。偏爱长尾巴的母孔雀，会生下长尾巴的儿子，也会生下同样偏爱长尾巴的女儿，因为偏好和性状都是遗传的。于是，「偏好」和「尾巴」在后代里被绑在了一起。尾巴越长的雄孔雀越容易被选中，尾巴就越来越长；而选择长尾的母孔雀，也因为生下了更有魅力的儿子而占便宜，偏好也越来越强。两边互相推动，像一个正反馈，一直到长尾巴的生存代价大到刹住车为止。

在这个故事里，尾巴不必告诉母孔雀任何关于体质的信息。尾巴之所以美，是因为大家都觉得它美，而大家都这样觉得，是因为过去的母孔雀这样觉得。

2017 年，美国鸟类学家理查德·普鲁姆（Richard Prum）出版了《美的演化》〔待核〕，把这条线重新推到了前台。他的主张，用一句话概括：**美自己会长**。美不一定是真的广告，它可以是配偶偏好与性状共同演化的结果，一种自成一体的审美；这种审美，可以脱离任何实用的信号功能而独自展开。

普鲁姆的书，在鸟类学界引起不小的争论，有人认为他把「审美」说得太满，有人认为他批评适应主义批评得太狠。本书不替任何一方下判断，只拿走它里面一个对本书有用的东西：**「被选中的吸引」，是一股独立的劲，不一定能化成「有利于生存」或「诚实的信号」**。

本书把这股劲，叫作**美聚**：被选中的吸引。它与「保留」——能不能活下来、能不能守住形式——是两件事。一个形式可以因为美而聚拢后代，却不见得更能活命；也可以因为能活命而保留，却一点也不吸引谁。

◆ 五、失控不只是一个故事

费希尔的失控，起初只是书里的一段文字。1980 年代初，几位理论家把它写成了数学模型，其中有兰德（Russell Lande）1981 年的和柯克帕特里克（Mark Kirkpatrick）1982 年的〔待核〕。大意是：只要偏好和性状都有遗传基础，两者就会被绑在一起，沿着一条线一路往前走。

有人在实验室里检验过这条线。

柄眼蝇的雄蝇，眼睛长在细长的柄的两端，柄越宽，越受雌蝇欢迎。威尔金森（Gerald Wilkinson）和雷伊洛（Paul Reillo）在 1994 年前后，把柄眼蝇分成几组，一组选宽柄的雄蝇留种，一组选窄柄的。几代之后，据报告，不只是雄蝇的眼距变了，雌蝇的偏好也跟着变了：宽柄组的雌蝇，更偏爱宽柄的雄蝇〔待核〕。

偏好跟着性状一起走，正是失控的预言。

不过，这个结果不等于孔雀就是这样。在野外，要把累赘原理和失控分开，仍然很困难，因为两种说法对同一只孔雀，常常给出同样的预期。本书不裁这个官司。

◆ 六、有人量过这条尾巴

说到这里，也许你会问：这些都是故事，有没有人真的量过?

有。瑞典生物学家马尔特·安德松（Malte Andersson）在 1980 年代初做过一个著名的野外实验〔待核〕。他研究一种非洲的长尾寡妇鸟，雄鸟的尾羽特别长。他把一些雄鸟的尾羽剪短，把剪下来的羽毛接到另一些雄鸟的尾巴上，使它们的尾巴比天然的更长，还有一组只剪了再原样粘上，作为对照。结果据报告，尾巴被接长的雄鸟，筑巢的数量最多；尾巴被剪短的雄鸟，筑巢少。也就是说，雌鸟似乎偏爱更长的尾巴。

另一项研究，是英国生物学家玛丽昂·佩特里（Marion Petrie）在 1990 年代对孔雀做的〔待核〕。她在一个半自然的孔雀群里，观察雌孔雀选择谁。据她的报告，雄孔雀尾羽上「眼斑」的数量，与它得到的交配次数相关。

这些研究，当然有各自的争议，也有后来的重复和不同结果，本书不一一裁断。但至少有一点是清楚的：雌性的偏好，是一个可以测的量；它如何影响下一代的谱

系，也是一个可以测的量。本书说「配偶选择是一道记功口」，不是文学上的比喻，是在说一件可以用谱系追踪去核对的事：一窝蛋的父亲，是谁。

科学家们已经用亲子鉴定的办法，对许多野外种群做过这类核对。结果常常出人意料：有的种群里，名义上一夫一妻的鸟，窝里的雏鸟有相当一部分并非「那位丈夫」的孩子〔待核〕。这说明，「后代记在谁名下」这件事，在自然界里，不是靠肉眼看得出来的，需要专门的手段去查。

◆ 七、园丁鸟的亭子

澳大利亚和新几内亚有一类鸟，叫园丁鸟。雄鸟不靠尾巴，靠搭亭子。

缎蓝园丁鸟的雄鸟，用小树枝搭起两道平行的墙，涂上颜色，在门前摆满蓝色的东西：蓝色的羽毛，蓝色的花瓣，如今又添了蓝色的瓶盖〔待核〕。

雌鸟不会一进门就定。据报告，她们要逛过好几座亭子，看雄鸟在里面跳舞、展示，不满意就走〔待核〕。结果是，一个种群里，少数雄鸟得到了大部分的交配〔待核〕。

请留意这里的分工。

亭子是雄鸟搭的，可是亭子最后留下的，是雌鸟的挑选。雄鸟要在她的眼光里立得住，亭子才有意义。

普鲁姆很爱用这个例子。按他的论述，大意是：这些亭子几乎没有生存上的用处，却是偏好一代代塑造出来的产物〔待核〕。

对本书来说，这里有一个可以量的东西：雌鸟看了几座亭子，才定下来。看得多，是挑得严；看得少，是挑得松。这是持有者有多认真的一个读数。

◆ 八、好看，和活得下去

美聚与保留是两件事，最清楚的例子，在中国人的案头。

金鱼是由鲫鱼养出来的。中国人养金鱼的历史，据说有上千年〔待核〕。养鱼的人挑什么留种？挑好看的：颜色，尾形，眼睛的样子。龙睛的眼睛鼓出眼眶，水泡眼

的眼下挂着两个水泡。这些品种，放进大水里，要活下来都不容易，视力差，游得慢，离了人的照料，很快就会被吃掉或饿死〔待核〕。

好看被一代代留下来，活命的本事被一代代放下了。

这里有一道很清楚的记功口：养鱼人的手。他的利害是好看。

另一头，野外的孔雀鱼，故事倒了过来。特立尼达的溪流里，恩德勒（John Endler）1980　年前后的研究据报告发现：捕食者多的溪段，雄鱼身上的色斑少而暗；捕食者少的溪段，色斑多而艳〔待核〕。雌鱼偏爱艳色，捕食者也偏爱吃艳色。两股劲，在同一条鱼身上拉锯。

金鱼是美赢了，孔雀鱼是两边拉平了。

两个故事合起来，说的是同一件事：被挑中，和活下去，是两本账。有时候两本账的方向一致，有时候相反。

◆ 九、她喜欢，就记上了

现在可以回到豆豆的问题了：她喜欢，就算数吗?

用本书的话说：**算**。母孔雀的挑选，本身就是一道记功口。

想一想这件事发生的方式。一群雄孔雀，每一只都有可能成为下一代的父亲。母孔雀走过去，看，挑，选定一只。她选定了谁，下一代里就有谁的孩子，下一代的谱系里就记下了谁的名字。没被选中的雄孔雀，它们活得再久、再健康，也没有后代记在名下。

选择决定了「有多少」：被选中的多，没选中的少。可是挑选这个动作，同时决定了「算谁的」：这一窝蛋，是这一只公孔雀的孩子，不是旁边那一只的。

这是读者在本书里第一次看见一道具体的记功口。现在还不下定义，第 17 章才完整讲。但有三件事可以先记下：

第一，它在后代出现的节点上起作用。母孔雀的挑选，发生在受精之前，每一窝后代的「户名」，在蛋出现之前就定了。

第二，它一代代重复。母孔雀的挑选，是一个稳定的、跨世代的做法，不是一次性的运气。

第三，它有一个**持有者**，持有者有自己的利害。母孔雀是挑选的一方，她的后代的质量，直接取决于她选谁。她不是一道无利害的筛，是一个有利害的守门者。

这三件事，正是记功口的特征。孔雀的故事，所以不只是性选择的故事，而是一个「后代怎样被记到谁名下」的故事。

◆ 十、一个常见的反对：动物哪来的审美

有读者要反对：美是人的词，动物只是按本能行事，哪来的审美？

这个提醒是对的。本书用「美聚」这个词，不预设雌鸟心里有什么感受。

本书要说的很窄：有一方在挑，挑的结果可以测，挑的偏好可以遗传，也可以随代数改变。这些都是从外面看得见的东西。

至于她挑的时候，心里有没有觉得美，本书不谈。这里的挑选，只指能提出、挑选、否决，不等于有意识。

按普鲁姆的论述，大意是：这样的偏好，可以叫审美〔待核〕。本书只借他的一条，被选中的吸引是一股独立的劲；不借他的另一条，动物有审美的体验。

◆ 十一、放回日子里

动物园里，豆豆还不满足。他问阿远：「那要是母孔雀的眼光不好，选错了呢？」

阿远说：「那她的孩子就会不太好。」

「那她会不会后悔？」

阿远说：「孔雀不会后悔，可是她的后代，会替她承担。」

豆豆似懂非懂地点点头，又跑去看另一只孔雀了。

回家路上，阿远给陈老师发了一条语音，说起这段对话。陈老师听完，说：「你看，你自己也说出来了：她的后代，替她承担。这就是记账。」

陈老师的水草缸里，后来添了几尾孔雀鱼，是邻居送的。

每过一阵，鱼多了，她要捞出一些送人。阿远在旁边看，发现她捞走的，总是颜色暗的那几尾。

「老师，您为什么留下尾巴大的？」

「好看呀。」陈老师拿网兜的手停了一下，「你这么一问，我倒想起来了。这些年，我是不是一直在替它们挑？」

「是。」

「那这缸鱼，算我的，还是算它们自己的？」

阿远答不上来。他想起豆豆在动物园问的那句：她喜欢，就算数吗。

陈老师把网兜放下，说：「我这一下，大概也算数的。」

一缸鱼里，有一道记功口，持有者是陈老师，利害是好看。她从没把这件事叫作选择。如果她哪天换了口味，只留黑色的，这缸鱼的方向，就会跟着换。

你也可以试试。下次你看到一种「很美但没什么用」的东西，比如一种花、一首歌、一件衣服，先别急着问它有什么用，问一句：谁挑了它？挑的人，从中得到什么？

这一章落在持有者的利害上。挑选的一方是有利害的，她选错了，后代就吃亏；所以配偶选择这道口，记下的不是任意的好看，而是带着后果的好看。利害越实，记得越稳。

带走的话

孔雀的尾巴不是为了活下去，是为了被记上。◆

小账

拆了什么：拆了「美必须化成有用」的看法；累赘原理是它最强的说法，费希尔失控和普鲁姆则说明美可以自己长。

立了什么：立了美聚——被选中的吸引，是一股独立于保留的劲；并让读者第一次看见一道具体的记功口：配偶选择。

第 12 章

和最近的前人对账

Buss 的生殖系隔离、Michod 的适应度转移、Okasha 的两种多层选择、Rainey 的生态脚手架、Clarke 2013 的「个体化机制」与 Sober、Lewontin 以来的记账之争——他们讲了怎样数、靠什么机制分开，本卷多出的是持有者的利害：记功口对谁有利，可以测

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：拿着同一份材料，两个人算出了两个不同的数，你查了半天，发现不是谁算错了，而是两个人各用了一套算法。

陈老师在一个旧纸箱里翻出几十年前的成绩册。她当班主任时，学校要求两种记法：一本按小组记，一个小组一个总分；一本按个人记，一个人一个分数。

有一个学生，在小组册上是「第二组，全年级第三」，在个人册上是「中游偏下」。她看着这两页，想了很久。

那个学生并没有变。变的是「数的人」。

她对阿远说：「数的人不一样，算法就不一样。你们研究生物的，有没有人专门研究这个？」

阿远说：「有的。有很多人，都在研究怎么数。」

「那他们数得对吗？」

「他们数得很好，」阿远想了想，「可我觉得他们好像没问，是谁在数。」

这一章，要把这些「数的人」请出来，一个一个对账。先还公道，再说本书在他们身上多出了什么。

◆ 二、他们讲了怎样数

下面七位，是离本书最近的前人。凡写到他们「预测什么」的地方，本书只写「按其框架推下去」，并保留〔待核〕，不替他们设预测，不把没写过的话安在他们头上。

Buss：生殖系隔离。美国生物学家里奥·巴斯（Leo Buss）1987 年出版《个体性的演化》。他的核心想法是：多细胞生物里，细胞之间并不总是和谐的。每个细胞都有自己复制的「自私倾向」，如果任其发展，身体会变成一场细胞之间的争夺。个体之所以成为一个个体，是因为演化出了抑制细胞层冲突的机制。其中最重要的一种，是把生殖的细胞早早隔离出来，只有这一小部分细胞能够把东西传到下一代，其余都是「身体」。这样，身体里的细胞没有传宗接代的机会，也就没有争夺的动力。

这个想法极有穿透力。它把「个体」当成一个需要被解释的东西，而不是现成的起点。离本书最近的，就是这一点。

Michod：适应度转移。美国生物学家理查德·米卓德（Richard Michod）在 1999 年的《达尔文动力学》里〔待核〕，讲了一个由单细胞走向多细胞个体的过程。大意是：细胞们起初各自为战，每个细胞的适应度就是自己的繁殖与存活。随着细胞开始分工，一部分负责繁殖（生殖细胞），一部分负责存活（体细胞），集体的适应度逐渐不再等于细胞适应度的简单加总，而是「转移」到了集体层。集体的适应度与细胞的适应度脱钩，集体于是成为一个新的达尔文个体。

按其框架推下去，没有分工，就没有脱钩〔待核〕。

Okasha：两种多层选择。英国哲学家塞缪尔·奥卡沙（Samir Okasha）2006 年的《演化与选择的层次》〔待核〕，把多层选择分成了两种。一种叫 MLS1，把集体里的个体的后代数目当成适应度，看集体怎样影响个体；一种叫 MLS2，把集体产生的新集体数目当成集体的适应度，看集体本身怎样被选择。他的洞见是：这两种，是两种算适应度的办法，各有各的用处。

按其框架推下去，集体层的响应应当随两种算法所适用的条件连续地过渡〔待核〕。

Black、Bourrat、Rainey：生态脚手架。2020 年，布莱克（Andrew Black）、布拉（Pierrick Bourrat）和雷尼（Paul Rainey）在一篇讨论个体性起源的文章里〔待核〕，提出了「生态脚手架」的想法：在一个单细胞生物的环境里，有一些外加的条件，比如一块瓶颈、一种周期性的环境变化，会把细胞团逼成一个整

体去繁殖。这些外在的条件像脚手架一样撑着，集体于是成了达尔文意义上的个体。后来脚手架的作用可能被内化，集体自己带着这个结构走。

Godfrey-Smith：达尔文空间。澳大利亚哲学家彼得·戈弗雷-史密斯（Peter Godfrey-Smith）2009 年的《达尔文种群与自然选择》〔待核〕，用几个「坐标」来描述一个种群离「典型的达尔文个体」有多远。其中有一个坐标，是繁殖时有没有经过瓶颈，即新一代是否从很少的细胞开始。瓶颈，是一个衡量尺度。

Clarke：个体化机制。英国哲学家艾利·克拉克（Ellen Clarke）2013 年发表的文章〔待核〕，主张不要找一条普适的「个体」定义，而要承认个体化有多种机制，在不同的生物里，用的机制可以不同。重要的是看清每一种机制做了什么。

Sober 与 Lewontin：记账之争。1982 年，索伯（Elliott Sober）和列万廷发表了一篇关于基因选择的论文〔待核〕，指出在某些情形下，把「选择」归给基因，还是归给个体，取决于怎样「记账」，没有一个客观的、不依赖于记法的答案。这场「记账之争」，此后在选择单位的哲学里持续了几十年。

这七家，各自把「怎样数」讲得很细。本书对他们每一位都深怀敬意。

这七位背后，还站着一本绕不开的书：梅纳德·史密斯（John Maynard Smith）和绍特马里（Eörs Szathmáry）1995 年的《演化中的重大转变》。它把「新的个体是怎样出现的」，当成了生物学里一类正经的问题〔待核〕。

◆ 三、一个活的样本：从衣藻到团藻

要看清「怎样数」和「谁在数」，最好的办法，是看一条活着的梯子。

池塘里有一类绿色的藻，叫团藻类。它们像是同一个故事的几个章节。

最底下是衣藻，一个细胞，两条鞭毛，自己游，自己分裂。往上是盖尼藻（Gonium）：四个到十几个细胞排成一小片，每个细胞都还能自己生出一整片新的来〔待核〕。再往上，细胞多了，排成空心的球。最上面是团藻（Volvox）：一个小球上有几千个细胞，绝大多数是不生育的体细胞，只有十几个大细胞负责生殖〔待核〕。

米卓德把这一类藻当作他的样本，用来看适应度怎样一步步「转移」到集体上〔待核〕。

阿远的手机里存着一段团藻的显微视频。一个绿色的球，慢慢地转着，球里面还有几个更小的球。

他拿给陈老师看。

陈老师看了很久：「里面那些小球，算大球的孩子，还是大球的内脏？」

「是孩子。过一阵，小球长大了，从大球里游出去。」

「那大球呢？」

「据说大球上的体细胞，就死了。」阿远说。〔待核〕

「全部？」

「差不多。」

陈老师放下手机，说：「那大球一辈子，生了这么几个，生完自己就没了。它那一辈子，算谁的？」

阿远答不上来。

这一问，恰好落在两位前人中间。巴斯问的是，生殖的细胞为什么要早早隔出来；柯克伍德问的是，身体为什么只是用完即弃的。团藻把两个问题摆在了同一个小球上。

◆ 四、他们各自成立的条件

对前人，只说「讲得很细」不够，要写出每一家完全成立的条件。

巴斯的冲突压制，成立在一个条件上：细胞之间确实有利益冲突，而且有些细胞可以靠作弊多留后代。在这样的体系里，把生殖早早隔出来，是压住冲突最省力的办法。第 13 章要讲的盘基网柄菌，就是它的一个活证据。

米卓德的适应度转移，成立在另一个条件上：集体层的适应度，在某一步里，确实不再是细胞适应度的简单加总。团藻这样的体系里，这一步看得见。

奥卡沙的两种算法，成立得更宽：只要多层次同时存在，就必须说清用哪一层的账。这条提醒几乎没有例外。

脚手架的想法，成立在实验里：外加的瓶颈，确实能把细胞团推到成为达尔文个体的路上。

戈弗雷-史密斯的坐标，成立在比较里：用瓶颈这个坐标，确实能把许多生物排成一个序。

克拉克的多机制，成立在生物的多样上：不同的类群，的确在用不同的办法。

每一家都有自己牢靠的地方。本书的每一处追问，都站在这些牢靠的地方上。

◆ 五、离我们最近的两位

在这七家里，有两位与本书「近得几乎要重合」，要单独拿出来对账。它们是巴斯，和另一位：柯克伍德。

巴斯讲的是冲突怎样被压住。生殖系隔离，是一种压制细胞层冲突的机制。它说明为什么一个多细胞个体可以保持合作：因为身体里的细胞，没有传宗接代的机会，不值得作弊。

柯克伍德讲的是资源怎样被分。一次性体细胞理论，讲的是有限的资源怎样在修补身体与生殖之间分配。它说明为什么衰老会发生：因为修补得越好，留给生殖的就越少。

本书讲的，是**户名**。

这句话怎么理解？用一个例子。

设想有两个细胞团，看上去一模一样。每个团里有一百个细胞，每个细胞每天都把同样多的资源，分给自己的生长和对外的繁殖。资源分配，完全相同。

不同的是账。

第一个细胞团，每一个新团都是从一个细胞开始的，这个细胞来自老团的某一个细胞，每一代的创始细胞，都被记到「那一个老团」的名下。一个新团的所有细胞，都是同一个创始细胞的后代，它们彼此的利益，在一代代里被绑在一起。

第二个细胞团，新团是由许多细胞随机聚拢而成的：从不同的老团里各取一些细胞，混在一起。新团里的细胞，来自许多个不同的老团。这样，没有哪一个老团，能够说「这一个新团是我的」。

两种情况，资源分配完全一样，细胞之间的亲缘度也可以完全一样（假设所有细胞基因相同）。可是，第一种，集体层的差异能被遗传下去，集体可以作为一个整体被选择，个体性出现；第二种，集体层的差异，每一代都被打散，没有一条集体谱系，个体性无从谈起。

同样的资源分配，记到不同的名下，个体就不同。

这是本书的看法，用的是本书自己的推演，不是对巴斯或柯克伍德的复述。巴斯的隔离机制，可以看成一种做账的办法，它把后代记到了生殖系的名下；柯克伍德的分配，是账上的预算。本书想把这本账本身，拿出来作为一个对象去研究。

◆ 六、老字号的账

上面那个例子是假想的细胞团。换一个你熟悉的场面，再走一遍。

一家老字号，开了十家分店。十家店的伙计工钱一样，进货一样，每家每月赚的也一样。资源分配，完全相同。

不同的是账。

第一种记法：十家店的盈亏，都记在「字号」名下。字号有一本总账，分店只是分店。字号的名声，字号的货，字号的规矩，一代代传下去；哪家分店出了岔子，砸的是字号的牌子。

第二种记法：十家店各记各的账，各自盈亏，各自传给各自的后人。过几年，十家店的口味、规矩、价钱，就各走各的了。

资源分配一样，伙计一样，赚得一样，结局不同。第一种里，有一个「字号」在延续；第二种里，只有十家各自的店。

这就是户名。它不改变资源怎么分，它改变的是，这些东西最后留在谁的名下。

把这个画面放回细胞团：一百个细胞，每个每天吃同样的，用同样的，繁殖同样的。账记到集体名下，集体就成了一个能被选择的东西；账记到细胞各自名下，集体就只是一个临时的聚会。

你现在可以拿这个例子，讲给身边的人听。

◆ 七、多出的那一点：持有者

那么，本书多出的，究竟是什么？

最诚实的回答是：**多出一点，持有者的利害**。

回想上一章的母孔雀：她是挑选的一方，她挑谁，会影响她后代的质量。她是记功口的**持有者**，而且她有利害。

再想一个相反的情形：一块岩石，把一群生物隔在两边，使两边的后代分道扬镳。岩石也在决定「哪些后代与哪些后代在一起」，可是岩石没有利害。它是一道**无利害的筛**。

再想第三种：一位育种者，在一群犬里，挑选哪几条留种。他有自己的利害：他想要某种外形，某种性格。他是一个**有利害的守门者**。

还有第四种，是本书第四编要讲的：一个设计流程，由机器提出成千上万个候选，再由机器排序。它没有利害，却能提出候选，不只是筛，还能出主意。这是一类**无利害而能提出候选的设计者**。

三类持有者，对记账的方式有不同的影响。无利害的筛，不会偏袒；有利害的守门者，会偏袒自己想要的；无利害而能提出候选的设计者，则能扩大选项，而不替任何人偏袒。

这三类，在巴斯和柯克伍德那里没有对应项。隔离机制不问「谁在隔离」，资源分配不问「谁在分配」。本书把这个问题问了出来，而且这个问题可以测：谁握着口，他得到什么，撤掉他之后会怎样。第 17 章把它写成三个可测的量。

◆ 八、为什么「持有者」这一点要紧

你可能会问：持有者有没有利害，真的会改变什么吗？这一点，值得用一个对比来说明。

设想三种做法，处理同一批候选。

第一种，一道**无利害的筛**。比如一条河，把大颗的种子冲到下游，小颗的留在上游。河不在乎哪种种子长得好，它只是按大小分。它的作用是稳定的，不过它的方向，是由种子的物理性质决定的，不是由任何一方的「想要」决定的。

第二种，一个**有利害的守门者**。比如一位农民，在收获的谷子里挑出最饱满的留种。他的利害很清楚：明年想多收粮。他挑的方向，与他的目标一致；这个方向，可能与谷子自己的「利益」一致，也可能不一致。比如，他可能选出了容易脱粒、却在野外活不下去的谷子。

第三种，一个**无利害而能提出候选的设计者**。比如一套 AI 设计流程，一夜之间提出成千上万个蛋白候选，再按某种标准排序。它没有想要，也不为明年的收成发愁。可是它的「提出」，扩大了可选的范围，它的「排序」，又在悄悄地决定哪些候选会被人看见。

这三种做法，对谱系的影响不同：

无利害的筛，不偏袒，所以其作用可以被预测，但它没有能力提出新的东西。

有利害的守门者，会偏袒自己想要的，所以其作用带着他的目标，也带着他的盲区。

无利害而能提出候选的设计者，既没有偏袒，又能扩大选项，不过它的「不偏袒」，不等于它的作用没有方向，它的方向，来自它被训练的目标，和用它的人给它的任务。

把这三种放在一起，你就能看出，**「谁握着口」这件事，是一个会改变结果的变量**。前人的框架，往往把记账的机制看成一个中性的装置，本书的看法是：装置不是中性的，握装置的是谁，在不同的情形里，会让结果很不一样。

这一点可以测。比如，在同一批候选上，换不同的持有者来记账，看谱系的走向有什么差别。第 17 章把它写成「持有者的利害」这个量，第 37 章把它写进试验。

◆ 九、一个常见的反对：这不就是隔离换了个名字吗

最直接的反对，来自巴斯那一边：你说的记功口，不就是生殖系隔离换了个名字吗?

本书先承认：在许多例子里，两者分不开。

生殖系隔离，既压住了细胞层的冲突，也把后代记到了生殖系名下。在一个体系里，这两件事同时发生，你很难指着其中一件说，这是户名，那是冲突压制。

所以本书不说巴斯错了。本书说的是，要把两者分开，需要一类特别的实验：保持隔离的结构不变，只换握着口的是谁。

同样是把一小部分细胞隔出来，专门负责生殖。这个隔离，如果是细胞团自己做的，是一种持有者；如果是实验者按自己的标准挑出来的，是另一种；如果是一道随机的筛，又是一种。结构相同，持有者不同，谱系的走向会不会不同?

如果走向相同，本书在巴斯之上多出的东西，就只剩下换了一种说法。到那时，本书收窄为一句话：在巴斯之上，只多出「持有者的利害可以测」这一点。

如果走向不同，持有者就是一个真变量。

这个检验，第 17 章写成可以测的量，第 37 章写成试验。

◆ 十、预告分歧

本书在这里预告一个分歧预测。完整的写法在第 17 章，这里先预告它的形状。

设想一个实验：从一种单细胞生物出发，让它长成细胞团，所有组别都是克隆的，没有生殖分工，选择压力相同。只改一件事：新团的创始细胞，来自同一个老团的比例。这个比例，本书叫作「记账一致性」。

按其框架推下去，Michod　的路线预测：没有分工，就没有集体层的脱钩〔待核〕；Okasha 的框架预测：集体层的响应，随一致性连续变化〔待核〕。

本书预测：一致性高的那组，先出现集体层的可遗传变异，然后才出现脱钩；分工若出现，在其后；并且响应在一致性上有阈值，不是连续变化的。

请注意，这里本书只写自己的预测。对手的预测，一律保留〔待核〕，等原文核对后再确认。如果核对后发现原文与这里的写法不符，要按原文改。

◆ 十一、放回日子里

陈老师把那两本成绩册重新放回纸箱，盖上盖子。

阿远在一旁问：「老师，您现在知道那个学生到底是第几名了吗？」

「知道了，」陈老师说，「他在小组里是第三，在个人里是中游。」

「那他到底是哪个？」

「他是两个。」陈老师说，「可是学校最后只发了一张奖状。」

「奖状上写的是谁的名字？」

陈老师笑了：「写的是小组的名字。」

阿远低头想了很久，说：「所以最后算数的，是奖状上那个名字。」

你也可以试试。下次你听到一个「团队成绩」，先分开问两件事：这个成绩是怎样数出来的？奖状上写的是谁的名字？

> 带走的话
>
> **怎样数，前人讲过了；谁在数、他得不得好处，还没人测过。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「个体性已经被前人解释清楚了」的印象；七位前人讲了怎样数、靠什么机制分开，但没有问谁握着那道口。
>
> 立了什么：立了本书多出的一点——记功口有持有者，持有者的利害可以测；并预告分歧预测，对手一侧一律用「按其框架推下去」〔待核〕。

第 13 章

四个「互相」检验进化论史

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：有人拿着一堆数据，给你讲一个很有道理的故事，你听着听着，心里冒出一个念头——他是不是先有了结论，再去挑的数据？

阿远教陈老师用表格软件。她学得很认真，在一列数字旁边画了个小图。画完了，她看着图，忽然说：

「你先告诉我规则，再给我看数据。」

「什么规则？」

「怎么算对，怎么算不对。」陈老师说，「你要是先给我看数据，我这个人，会挑着看。看到合我心意的，我就说有道理；看到不合的，我就说是例外。这是人的毛病。」

阿远笑了，说：「这也是做科学的人的毛病。」

「所以要先写规则，」陈老师点头，「再看材料。」

这一章，就按陈老师的办法办。先把四条规则写下来，写得别人可以拿去重做；再看材料，进化论史上四个案例，各用一条规则过一遍。最后让读者先见到下一章、后几章要反复出现的三种生物。

◆ 二、规则先定

前面几章说了，本书把生物学里的三家编码为三头：客体、互动、主体。本书的一个基本假设是：这三头不是三个先存在、后拼起来的东西，而是同一个聚合体的三种侧重，它们互相改写。

这个说法，需要被检验。本书设计了四个检验，叫作四个「互相」，因为它们检验的都是「三头是否互相改写」。规则如下，请先读规则，再往下看材料。

检验一：共变。规则：在一个体系里，如果其中一头发生了变化，另外两头中至少有一头，在合理的时间尺度内，跟着变化。变化的方向，不由第一头的变化单独决定。共变不要求因果，只要求同步出现，并且这种同步，在独立的多个例子里重复。

检验二：抽离。规则：把其中一头从体系里去掉，或者让它的作用显著减弱，观察其余两头是否还能维持原来的现象。如果现象消失或明显改变，说明被抽掉的那一头不是可有可无的背景。抽离，可以是自然发生的（某个生物天然缺少某一头），也可以是实验做出来的。

检验三：阈值位移。规则：一头的变化，会让另一头出现的门槛移动。判断标准：改变第一头的某个参数，观察第二头出现所需要的条件（比如代数、强度、比例）有没有系统性的变动。

检验四：干预追踪。规则：对其中一头做一个明确的干预，然后在多个世代里，同时追踪另外两头的变化，记录哪一头先变、哪一头后变、变了多少。

这四条规则，有三个共同的要求。

第一，**规则在看材料之前写定**，不许事后调整。第二，**判据要能被别人重复**：别人拿同样的规则，去看同样的材料，应当得到大致相同的判断。第三，**不通过的也要记**：如果某个案例不符合，要写下来，不能当作例外略过。

规则写到什么程度，才算别人能重做？拿共变来说。

规则只说「一头变，另外两头至少有一头跟着变」，还不够。要让别人能重做，还得先写下四样：哪些物种算在里面；变化用什么量来记，比如两棵谱系树的相似程度，或者基因组大小的增减；差多久还算同步，这是时间尺度的容差；要几个独立的例子，才算重复。

这四样不写，规则就留着后门：事后总能找到一种算法，让结果看起来是对的。

后面第 37 章的试验，把这一条用到了极处：容差窗在试验之前就登记好。

◆ 三、四个检验，四个案例

共变：蚜虫与它的内共生菌。

蚜虫是一类以植物汁液为食的小虫。汁液里的营养单调，缺少几种必需氨基酸。蚜虫的细胞里，住着一种叫布赫纳氏菌（Buchnera）的细菌，专门替它合成这些营养。这种菌在蚜虫母亲的体内，一代代通过卵传给下一代〔待核〕。

研究者发现，如果把蚜虫的不同物种和它们各自的布赫纳菌的谱系图，并排画出来，两棵树几乎是平行的：蚜虫的物种分化，伴随着菌的同步分化。同时，这种菌的基因组随着长期共生，大幅缩小，丢掉了许多独立生活所必需的基因〔待核〕。

布赫纳菌的基因组只有六十多万个碱基，大肠杆菌的约有四百六十万〔待核〕。缩掉的那一大截，是它住进宿主细胞以后用不着的东西。

这个案例通过了共变的检验。宿主（主体）和菌（另一个主体）的谱系同步变化，彼此的基因组（客体）也在互相调整，它们之间稳定的垂直传递（互动），是三者共变的接口。

这条垂直通道还有另一层意思：母蚜把菌带进卵里，等于把「这一份菌算谁的后代」直接写进了传递本身，几乎不必另外去记。

抽离：盘基网柄菌。

盘基网柄菌是一种土壤里的变形虫。食物充足时，它们各自独立生活，一个细胞就是一个个体。食物耗尽时，成千上万个细胞聚拢在一起，形成一个小小的子实体：一部分细胞变成柄，死去；另一部分变成孢子，传下去。

这里发生了一件有意思的事：这个聚拢，不是从一个细胞长成的，而是不同来源的细胞聚在一起，没有一个「单细胞瓶颈」。研究者发现，这样的聚集体里，有些品系是「作弊者」：它们倾向于挤进孢子那一部分，让别人去做柄〔待核〕。

对本书来说，这是一个自然的抽离案例。它「抽掉」的，是单细胞起点这道关口。结果：作弊者出现，集体的合作不稳定。这与本书的预测一致：缺了那道把后代记到同一个集体名下的关口，集体层的合作就难以稳定。

不过，这个案例没有完全通过，要照实记下来。第一，在野外采到的盘基网柄菌子实体里，混合的程度并不总是高，不少子实体里的细胞来自同一个或很近的品系

〔待核〕。第二，这种变形虫自己有一套认亲的办法，能偏向和自己相近的细胞抱团，把陌生的排在一边〔待核〕。

也就是说，它在没有单细胞瓶颈的情况下，另外长出了一道替代的关口。这一条对本书是两面的：它说明「抽离」没有抽干净；它也说明，关口被拿走以后，生物会想办法再造一道。

阈值位移：雪花酵母。

2012 年，拉特克利夫（William Ratcliff）等人做了一个实验〔待核〕：他们把酵母放在液体培养基里，每天让培养管静置一小会儿，只取沉到管底的那一部分去继续培养。因为大的团块沉得快，实验选择的是沉降速度快的。几十天下来，据报告，酵母演化出了一种「雪花」形的多细胞结构：细胞分裂之后不分开，形成分枝的团块。

雪花酵母的有趣之处在于，它的团块是「从一个细胞长出来的」：每个团块的所有细胞，都来自同一个祖先细胞。也就是说，在这个体系里，那道把后代记到同一个名下的结构，是「先定」的，是细胞分裂后不分开这件事本身带来的。

后来的研究者发现，这些雪花长到一定大小就会断开：团块里挤得太紧，分枝连接处的细胞承受不住，团块断成几片，每一片又从头长起〔待核〕。这等于说，团块自己有了一个「繁殖」的时刻，而且每一次，新的团块都是从一个断片开始的。再往后，有人报告，在选择更大个头的条件下，雪花酵母经过几千代，长到了肉眼看得见的大小〔待核〕。

本书的读法是：这个体系里有一个「门槛」。团块要大到一定尺寸，才有沉降上的优势；而团块要长到那个尺寸，需要多个世代的积累。照这个读法推下去，如果改变一个参数，比如让细胞分裂后更容易分开，团块长大的门槛就应当移动。这是一个可以拿去做的检验，本书只写出它的形状，不替实验报告结果。

干预追踪：银狐驯化。

1959 年前后，苏联遗传学家德米特里·别利亚耶夫（Dmitry Belyaev）开始了一个驯化实验〔待核〕。他和同事在养殖场的银狐里，只选一个标准：对人的反应是否温和。一代一代挑下来，只留最温顺的繁殖。

据报告，选择了十几代之后，狐狸的行为明显变得温顺，有的主动靠近人；同时，一些他们并没有选择的性状也跟着变了：毛色出现斑块，耳朵变得下垂，尾巴卷起来〔待核〕。

挑的办法很简单。小狐狸长到几个月大的时候，让试验者伸出手去，看它们是缩回去、扑上来咬，还是凑过来〔待核〕。每一代，只有表现最温顺的那一小部分，才有机会生下一代〔待核〕。

同一个养殖场里，据说还养了另一条线，反过来只选最凶的〔待核〕。两条线并排放着，就成了一个自带对照的干预。

这是一个干预追踪的典型：干预的是一头（人握着记功口，决定哪些狐狸的后代留下），追踪的是另外两头的变化（行为、形态、基因）。

这个案例对本书特别有价值，因为它里面的记功口，很清楚地摆在那里：是人，是人的选择标准。

◆ 四、四个检验，各自怎样算「不通过」

规则之外，还要先写下：什么结果，算这个案例没过。

共变不通过：两头的变化并不同步，或者同步只出现一次，换一个例子就没有了。

抽离不通过：去掉一头，现象照旧。

阈值位移不通过：改了参数，门槛纹丝不动。

干预追踪不通过：干预了一头，另外两头在多代里没有系统的变化，或者先后次序倒了过来。

把这四条放回前面的案例，结果是这样的。

蚜虫那一例，通过了共变，不过在有些类群里，原来的共生菌被别的菌补充甚至取代过，这是不同步的地方〔待核〕。盘基网柄菌那一例，通过了一半，上面已经说了。雪花酵母那一例，本书只写出了检验的形状，没有结果，所以不算通过。银狐那一例，通过了干预追踪，不过它主要是一条线，没有独立的重复〔待核〕。

四个案例，没有一个干干净净。

这是正常的。一个规则如果每次都全过，要么规则太松，要么案例挑得太巧。

◆ 五、一个常见的反对：案例是你挑的

读到这里，一位认真的读者会说：规则是你先写的，可案例是你挑的。你挑了顺手的。

这个反对击中了要害，值得老实回答。

本书能做的有三件。

第一，四个案例都是老案例，不是本书新找的。蚜虫与共生菌，盘基网柄菌，雪花酵母，银狐，各自有一大批文献，彼此独立，不是为本书写的。

第二，不合的地方写出来。上面已经写了：盘基网柄菌没有完全通过，雪花酵母还没有结果，银狐只有一条线。

第三，把规则交给别人。你可以拿同样的四条规则，去找本书没有挑的案例，把「不通过」的那一堆列出来。如果不通过的比通过的多，本书的说法就要收窄。

这三件事，不能让选择的偏差消失。它们只能让偏差露出来，让别人看得见。

◆ 六、三种生物先见个面

这一章的最后，要把后面要反复出现的三种生物，先介绍一下。

莱茵衣藻（Chlamydomonas reinhardtii），是一种单细胞的绿藻，两条鞭毛，能游泳，能光合。它在实验室里被研究得极其透彻。2019 年，赫伦（Matthew Herron）等人在一项实验里〔待核〕，让衣藻与一种会捕食它的小动物共同生活，据报告，经过几百代，一部分衣藻出现了形成细胞团的性状。这是从头演化多细胞的实验里，一个重要的体系。据报告，那些细胞团不是细胞随机粘到一起的，而是细胞分裂以后没有散开，留在了一起〔待核〕。也就是说，这个团的起点，是一个细胞。

本书第 37 章的判决性试验，就是在这个体系上，再加一个因素。

雪花酵母，上面已经介绍。它是「结构先定」的对照：细胞团的单细胞起点，是这种生物天生带着的。

盘基网柄菌，上面也介绍了。它是「低一致性」的自然对照：聚集成体，没有单细胞瓶颈，作弊者多。

这三种生物，放在一起，刚好排成一条梯子：衣藻，是可以人为调节一致性的实验体系；雪花酵母，是一致性天生高的例子；盘基网柄菌，是一致性天生低的例子。

读到第 37 章的时候，你会再次见到它们。到那时，它们每一个，都有一个角色。

另外，在这里可以先预告一个问题，留到第 18 章再回答：这几个例子里，基因相同的细胞团，亲缘度几乎一样，那么「记账一致性」和「亲缘度」，还有没有可能分开？

下一章，把这几个检验背后用到的码表写出来。

◆ 七、放回日子里

后来，阿远也养成了一个习惯：每次读到一篇很有说服力的论文，他先翻到方法部分，看他们是不是先写好了规则。

有一次，他对陈老师说：「老师，我发现一件事。好论文和坏论文，往往不是结论不同，而是规则写在哪儿不同。」

陈老师说：「规则写在前面的，是在邀请别人来验。写在后面的，是在邀请别人来信。」

阿远把这句话抄在了笔记本上。

又有一次，陈老师在笔记本上画了两栏，左边写「合的」，右边写「不合的」。

她对阿远说：「你每回给我讲一个案例，都要在右边那栏也写一条。」

阿远说：「右边那栏，常常是空的。」

「空的，我才不放心。」陈老师说。

后来阿远给她讲盘基网柄菌，右边那一栏，他写的第一条是：它自己会认亲。

你也可以试试。下次有人给你讲一个数据，你问一句：你是先定的规则，还是先看的数据？问得多了，你会发现，规则先于材料，是人类发明的一件极好的事。

带走的话

先定规则再看历史，历史才不会只说你爱听的。 ◆

小账

拆了什么：拆了「三头纠缠只是一种说法」的印象；用共变、抽离、阈值位移、干预追踪四条先写定的规则，在四个案例上各过一遍。

立了什么：立了四个「互相」检验的规则，并让读者先见到判决性试验里的三种生物：莱茵衣藻、雪花酵母、盘基网柄菌。

第 14 章

欠条定理与属性三方程

一张码表，一次盲编

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：你觉得自己说清楚了一件事，别人看了，却说「我没看懂」。你再讲一遍，还是不懂。到最后你才发现，不是别人笨，是你有一些话，一直在心里，没有写出来。

陈老师有一个办法。每年期末，她出一道作文题，批改的时候，让两个从没见过面的老师，各自给同一篇作文打分，互相不通气。打完了，再把两张分数放在一起对。

「分数一样，」她说，「才算数。」

「要是不一样呢？」

「那就说明评分标准里，有一块只在我自己的脑子里。」陈老师说，「得把它写下来，再打一遍。」

这一章，要把本书到现在为止讲的「欠条」，写成一条可以被别人拿去核对的定理；还要把互动那一头拆成两件，让三头写成一组可测的方程。陈老师的办法，在这里用得上：规则要写下来，要让没读过这本书的人，也能照着去打分。

◆ 二、一张码表

先看码表。码表的作用，是规定：在本书的编码里，哪些原始的项，归哪一头。

归哪一头	原始项	说明
客体	序列、复制、保真、基因频率、突变	能被复制、能被测出来、能摆在桌面上的东西
互动·换土	生态位构建、环境改变、生态遗产、共生交换	有机体改了环境，环境回头改变选择压力

归哪一头	原始项	说明
互动·记功	瓶颈、生殖系隔离、制裁、配偶选择、育种、AI 设计流程	决定「这一份后代、这一个效果算在谁名下」的结构或做法
主体	自维持、组织闭合、觅位选择、能动	自己维持自己、自己挑环境、能提出挑选否决

有几件事要说明。

第一，互动那一头，被拆成了两件：换土，和记功。第 3 章留过这个伏笔。生态位派讲的是前一件；后一件，三家都没有单独讲。

第二，同一个词放在哪一栏，要看它在具体句子里起什么作用，不是看它的名字。比如「瓶颈」，当它指的是一个细胞数目少的阶段时，是在描述一个读数；当它指的是「把后代记到同一个集体名下」的做法时，才归记功。码表只是给出默认的归属，遇到歧义，要看上下文。

第三，这张码表是一个**编码假说**，不是对学科史的定论。你可以不同意其中某一项的归属，但你必须说清楚，你为什么把它放在别处，放到别处之后，推导会有什么变化。

◆ 三、欠条定理

有了码表，欠条就可以被精确地定义了。

一个项，如果满足下面四个条件，就是一张欠条：

第一，它出现在某一家的推导里，并且在推导里起作用。

第二，它不在这一家的「立论门」之内，也就是说，它不属于这一家押的那一头。

第三，它在推导里是直接给定的，没有被这一家从自己的前提里推出来。

第四，这一家没有把它明确声明为假设。

这四个条件缺一不可。比如，演化发育生物学明说「我讨论的是已经能发育的有机体」，这是声明过的条件，不算欠条（第四个条件不满足）。基因派用「载具」，却没有说明载具从哪里来，这就是一张欠条。

然后是**欠条定理**：

只要本体被押在一头，推导里就必然借另外两头。

这句话怎么理解？想象一个理论，它说：一切性质，都可以从客体那一头推出来。那么，当它要解释「有机体为什么是一个整体」的时候，它必须有办法回答。如果它回答不出来，又不肯停下，那它就得从别处借。借的就是互动或主体的东西。

定理的意思，不是说这个理论不好，而是说：**一个单押一头的理论，不可能是自足的**。这对三家来说，是一个中性的结论。

盲编：为了让这个判断不依赖我，本书还有一个办法：请一个**没读过本书的人**，拿着这张码表，去读三家各自的核心文本，把里面每一个用到的原始项，一个个标出来：是归客体、互动，还是主体？再看每一项是不是在推导里被推出来的。这样标出来的欠条表，如果和本书的不一致，本书的就可以被推翻。

这是本书对自己的一个约束：欠条不是我说了算，是别人拿着码表，能核对出来。

◆ 四、盲编走一遍

光讲规则，不如走一遍。下面这句话是本书自拟的，不是任何一家的原话，只为演示盲编是怎么做的。

「在这片草原上，带有抗旱序列的草，留下的种子更多，所以这条序列在种群里越来越常见。」

一位没读过本书的编码者，拿着码表，把这句话用到的原始项，一个个挑出来。

「抗旱序列」，归客体。「越来越常见」是基因频率，也归客体。

「草」呢？

「草」这个字，在句子里干着很重的活：它是「留下种子」的那一位，是被数的那一位。可是码表的客体一栏里，只有序列、复制、频率；互动一栏里没有；主体一栏里有自维持、能动，也没有「一株草」这样的单位本身。

于是编码者给「草」打上一个问号：它是一个单位，是谁把它当成了单位?

接着，用欠条的四个条件逐条核对。

第一，它在推导里起作用吗？起。没有它，「留下的种子更多」无从数起。

第二，它在这一家的立论门之外吗？这句话押的是客体，「草」不在客体的门里。在门外。

第三，它是直接给定、没有推出来的吗？句子里没有任何一步，从序列推出「草」。是给定的。

第四，这一家有没有声明它是假设？没有。

四条都满足，这是一张欠条：被数的那一个单位。

现在把这句话改一改：

「设这片草原上的草，都是已经长成的、有边界的单株。在这个前提下，带有抗旱序列的草，留下的种子更多。」

同一个字「草」，第四个条件变了。这一家声明了它是假设，这就不是欠条，是一笔明账。

前后两句话，用的字几乎一样。差的，只是有没有人把话说在明处。

最后一步是请第二位编码者，不和第一位通气，各编一遍，再对。两张表一致，才算数。两位编码者的一致程度，通常用一个叫科恩　kappa　的统计量来报告〔待核〕。

◆ 五、定理会怎样被推翻

一条定理，要说清怎样算它错了，才算认真。

欠条定理有三种被推翻的办法。

第一种：找到一个只押一头、却从头到尾自足的理论。它用到的每一个原始项，要么在门里，要么被它自己推了出来，要么被明明白白声明过。这样的理论只要有一个，定理就不成立。

第二种：盲编的人，拿着码表，在三家的核心文本里，标不出本书说的那些欠条，或者标出来的是完全另一批。

第三种：码表本身站不住。如果大量的原始项，放哪一栏因人而异，谁都说得通，那么「借了哪一头」就没有确定的意思。

对第一种，本书要公道地说一句：有些理论确实接近自足。群体遗传学的教科书模型，开头往往就写明：设有一个种群，里面有若干个体，每个个体带有某某基因型。这是写在明处的假设，不算欠条，它在声明的范围内，干净得很。

定理说的是「借」，不是说每一次借都是欠条。借是必然的；声明了的借，是明账，没声明的借，才是欠条。

◆ 六、三条方程，三种测法

现在可以把三头之间的关系，写成一组方程了。先说这组方程的性质。

它们是**属性层**的方程，不是对世界的最终定律。写出方程，不等于证明；方程的价值，在于它要求你说清楚：每一个量，用什么办法测。

本书的三条方程，用大白话说，是这样的。

互动那一头，拆成两件：换土（生态位构建）与记功（记功口）。

第一条：能动，由基因与记功口一起定。某一层的能动，在记账稳定到那一层时出现。

什么意思？一个细胞团，什么时候开始表现得像一个「有能动的整体」，能作为一个单位去挑环境、去躲避危险？本书说：是当那个细胞团的后代，被一代代稳定地记到同一个名下之后。记账不稳定，能动停留在细胞那一层；记账稳定到了集体那一层，能动才会在集体那一层出现。

怎样测?**能动,用觅位选择率**。也就是,这一层的单位,在可选的位置里,倾向于待在哪里。

第二条:基因频率,由能动与记功口一起定。翻转阈值落在「记账一致性 × 持续代数」上。

什么意思?一个基因在种群里变多还是变少,不只看它自己的好坏,还要看带着它的那个单位,有没有能动,以及后代是怎样被记的。当记账一致性高、持续的代数也足够多时,原本由细胞层决定的频率变化,会翻转为由集体层决定。

怎样测?**记账一致性,用谱系追踪;基因频率,用测序时间序列**。前者看新一代的创始细胞,有多大比例来自同一个亲代集体;后者看每一代里各个基因型的占比。生态位构建指数,是这一条的协变量:换土的程度,会影响频率,要在统计里把它控制住。

第三条:记功口,由能动与基因一起定。回写在此:持有者怎样记,回头改写被记的谱系,也改写持有者自己。

什么意思?记功口不是一个固定不变的装置。握着口的一方,怎么记,会改变被记的谱系;谱系变了,反过来又改变握口的一方自己。育种者挑了几代狗,狗变了,育种者的口味和标准也跟着变了。

怎样测?同时追踪持有者的标准,和被记谱系的变化,看哪一个先动。

这三条,彼此是缠在一起的:能动靠记功口,频率靠能动和记功口,记功口又靠能动和基因。没有谁先谁后,所以叫纠缠。

◆ 七、三条方程,各配一个日子里的例子

方程读起来抽象,拿学校里的事走一遍。

陈老师的学校,几十年里评奖的办法变过。

起先,奖状发给个人。每个学生为自己的名次忙,班级只是一间教室。后来学校改了办法:每学期按班评,全班每个人的分数加起来,记在班的名下,班有班的奖状,班的名声挂在走廊里。

这样评了几年，班开始有了「班的样子」。运动会上有人替班出力，自习时有人替班里的同学补课，同一个班的学生说话办事，带上了一个整体的口气。

这是第一条在说的：某一层的能动，在记账稳定到那一层时出现。记在个人名下，能动停在个人；记到班的名下并且稳定了好几年，能动才在班这一层出现。

第二条说的是阈值。假设学校想知道，评班评到什么时候，同学们的行为会从「各为各的」翻成「各为班的」。直觉上，这取决于两样：班的组成稳不稳，年年重新分班就是不稳；还有这个办法已经持续了多少年。把两样乘起来，乘积小，行为变化来自个人；乘积过了某条线，就翻到班这一边。

下面的数是本书编的，纯属示意。把班的稳定程度记作零到一：年年重新分班，是零点三；多年固定，是零点九。办法持续了二十年。两样一乘：零点三乘二十是六，零点九乘二十是十八。设翻转线在十，第一个班翻不过去，第二个翻过去了。

真生物里的翻转线是多少，本书不知道。这正是第 37 章的试验要事先登记、要去测的。

第三条说的是回写。评班评了十年，学校的评语悄悄变了：以前写「学习刻苦」，后来写「集体意识强」。评的人以为是自己在定标准，其实标准也被被评的班塑造了。班在变，评的人的眼光也在变。

这个类比到这里就停：学校里没有基因这一头。

◆ 八、每个量到底怎么测

方程要有用，每个量都得有一个别人能去测的办法。这里把几个量再说细一点，只讲思路，不讲操作。

觅位选择率。给生物一排可选的位置，看它们停在哪里。比如一条从凉到暖的长槽，把线虫或果蝇放进去，过一阵看它们分布在哪一段〔待核〕。这是对单个个体的测法。要问细胞团这一层有没有能动，就把细胞团整个放进去，看它的偏好是否有别于单个细胞。同一个槽，两层各测一次，比较两个选择率。

记账一致性。给不同亲代团的细胞，贴上不同颜色的标记，比如不同的荧光，让它们去长出新的团，再数新团里创始的那一批细胞，有多大比例带着同一种颜色。比例高，就是一致性高。

基因频率。每隔若干代，取一份样品冷冻起来，最后一起测序，画出每个基因型的占比随代数变化的曲线。第 7 章 Lenski 的冷冻小管，就是这种测法的老样板。

还有一个协变量：换土的程度。细胞在改环境，改了多少，要单独记一笔，在统计里把它的影响扣掉，免得和记账的影响混在一起。

◆ 九、一个常见的反对：拆成两件，是不是凑出来的

一位怀疑的读者会问：把互动拆成换土和记功，是不是为了让方程凑数?

这个怀疑合理。回答它，只能靠一件事：两件能不能各自单独改。

第 7 章 Lenski 的瓶子里，就有一个现成的画面。L 排出的物质，给 S 造了一块土，这是换土；每天的转瓶，决定哪些后代进入明天的瓶子，这是记功。

原则上，实验者可以分开动这两件：换一种取样的办法，不动培养液的成分；或者改培养液的成分，不动取样的办法。具体哪一种改动，真能只动一件，要在每个实验里逐个审查。

两件原则上能分开改，就不是一件事换了两个名字。

◆ 十、放回日子里

那一年的作文评分，最后两位老师给的分，差了十几分。

陈老师把两份评分的细则拿过来对。差距出在「立意」那一项：一位老师把「角度新」算作立意好，另一位老师认为角度新而不扣题，反而扣分。

「所以，这一项，」她说，「我们得写下来：怎样算扣题。」

她当场在细则里加了一句。后来的几年，两位老师的评分，再也没有差过十分。

阿远听完，说：「这就像我们实验室的实验记录本，每一个测量，要写清楚用什么仪器、什么条件。」

「是的，」陈老师说，「写不清楚的东西，后来都会变成争吵。」

你也可以试试。下次你和别人争一件事，争了半天没结果，先停下来问：我们说的是同一个东西吗？把我们各自说的东西，用同一张表写下来，往往争论就消了一半。

三家欠的那一笔，有一个名字。下一编，把它请出来。

带走的话

互动那一头其实是两件事：换土，和记功。◆

小账

拆了什么：拆了「欠条只是修辞」的看法；码表和欠条定理让别人可以拿去核对，盲编可以推翻本书。

立了什么：立了互动的两件——换土与记功，并第一次完整写出三条方程，每个量都有测法。

第 三 编

缺了的第一层：不是没有「为了什么」，是被赶出了门

这一编九章，是全书的心脏。第 15 章先和生物学已有的「目的」之论对账：目的论、teleonomy、康德的「自然目的」。第 16 章把「活着」完整读一遍。第 17 章讲记功口，第 18 章讲个体怎样显出来，第 19 章讲功能是记出来的，第 20 章讲意义层在生物学里显成什么，第 21 章讲读数，第 22 章讲物种，第 23 章回到第 1 章的衰老难题，给出答案。

这一编的反差，是一个不太舒服的发现：生物学并不缺「为了什么」，它是把它当成目的论赶了出去。

第 15 章

意义层不是没有，是被当成目的论赶出了门

和 teleonomy、康德的「自然目的」对账

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：写东西的时候，被人把某个词划掉了，你觉得那个词不是多余的，可又说不出它为什么要留。

阿远写论文，写到一句：「这一段序列的作用，是为了稳定蛋白的折叠。」

导师拿笔，把「为了」两个字划掉，改成「有助于」。

他不服气，问：「为什么？」

导师说：「生物没有『为了』。『为了』是说它有目的。生物没有目的，只有选择留下来的效果。」

阿远照改了。可心里不踏实。回去给陈老师看，说起这件事。陈老师看着那句话，看了好一会儿。

「你们是怕这两个字吗？」她问。

阿远愣了一下。

「我教了四十年生物，」陈老师说，「讲台上从来不说『大自然的目的』，因为那是不对的。但我也不敢说『心脏的作用，只是碰巧有助于泵血』。心脏就是为了泵血长成这样的，对不对？」

这一章要谈的，就是这个「怕」。

◆ 二、为什么要把它赶出去

先要承认一件事：目的论被赶出生物学，是有道理的。

古希腊的亚里士多德，把解释一件东西的原因分成四种，其中一种叫「目的因」：一把刀为什么是这个样子，因为它是为了切东西。放到生物上，眼睛为什么是这个样子，因为它是为了看。这个解释很自然，很好懂，也很有力。

问题在于，它似乎暗示：有一个什么东西，事先想好了眼睛要用来看，然后把眼睛做成这样。这个「什么东西」，就是一个设计者。

十七世纪以后，近代科学兴起，一个重要的做法，是把这类「事先想好」的解释，从自然科学里清理出去。培根（Francis Bacon）有一句常被引用的话，大意是：目的因对于科学研究是不育的，像献给神的处女〔待核〕。要解释一件事，应当看它的前因：是什么推动了它，而不是它朝着什么去。

达尔文给了这个做法一个最漂亮的落脚点。他证明了，不需要设计者，只需要变异、选择和遗传，就能得到看上去像「被设计」的东西：眼睛，翅膀，心脏。从此，生物学可以说，这个器官是这个样子，因为在祖先里，长成这个样子的个体，留下了更多的后代。这是一个纯粹的因果解释，没有「事先想好」。

达尔文面对的对手，是一本在英国大学里读了半个世纪的书。1802 年，威廉·佩利（William Paley）出版《自然神学》〔待核〕，开篇是一个人在荒地上捡到一块表。

表里的齿轮咬得严丝合缝。你一看就知道，有人为了报时才做它。佩利接着说，眼睛比表精巧得多，所以眼睛背后，也该有一位制表的。

这个论证有一个好处：它把「为了」说成了一件可以检查的事，看零件之间配合得有多紧。它的毛病，只在最后一步。

达尔文拆的，就是最后一步。他没有否认眼睛配合得紧，他说的是：配合得紧，可以由一代一代的留下来造成，不必有制表人。

所以被赶出门的，其实是「制表人」，不是「配合得紧」这个事实。后面这个事实，生物学还得接着讲。

这是一个了不起的成就。所以本书要先还目的论的反对者一个公道：他们赶得对。如果「为了」意味着有一个设计者，把它赶出科学，是对的。

◆ 三、另一个理由：每个性状都有一个故事

赶它出门，还有第二个理由，和设计者无关。

1979 年，古尔德（Stephen Jay Gould）和列万廷发表了一篇有名的文章，题目里用了威尼斯圣马可教堂的「拱肩」作比方〔待核〕。两个圆拱并排撑起穹顶，拱与拱之间，必然留下一块三角形的空地。工匠后来在这些空地上画满了图案，看上去像是专门为画图留的。

其实不是。那块空地，是造拱的时候顺带留下的，图案是以后才画上去的。

他们的意思是：看见一个性状，就给它编一个「为了」，是生物学里一种很顺手、也很危险的习惯。故事编得越圆，越没有人去查。这类故事，后来被叫作「就是这样的故事」（just-so stories），名字借自吉卜林讲动物来历的童话集〔待核〕。

本书要还这个批评一个公道：它完全成立的条件，是那个「为了」没有任何独立的检验。你只是看见一个性状，就说它为了某件事，而没有拿出别的证据，那么划掉它，是对的。

这样再看阿远的导师。他那支红笔，也许不是在怕设计者。他是在问：你测过吗？

阿远后来补了一个对照：把那一段序列改掉，蛋白在同样的温度下，折叠稳定的比例降了下来。有了这个对照，那句话才站得住。

所以「为了」被赶，一半是怕设计者，另一半是怕没查过的故事。第二个理由，今天依然有效。本书不打算把它还回去。

◆ 四、像有目的：teleonomy

可是，赶得太干净，也有麻烦。生物看上去就是「像有目的」的：心脏像是为了泵血，叶子像是为了吸光，候鸟像是为了越冬。不让说「为了」，又得描述这个「像」。

1958 年，美国生物学家柯林·皮腾德里（Colin Pittendrigh）提出了一个新词：teleonomy，可以译作「目的性」或「似目的性」〔待核〕。意思是：生物的结构和

行为，表现出一种「像是被目的引导」的样子，但这个样子，是由自然选择产生的，并不需要真有一个目的。

后来，恩斯特·迈尔（Ernst Mayr）在 1974 年的一篇论文里〔待核〕，对这个概念作了进一步的辨析。他区分了几类东西：真正意义上的目的论（有预先设定的目标）、似目的性（由遗传程序引导的、朝向目标的过程）。他的意思是：生物体的目的性活动，是由一套「程序」引导的，这个程序是自然选择塑造的，它是「被编码的」。

迈尔还有一个更早的区分，是「封闭的程序」和「开放的程序」〔待核〕。封闭的程序，指一切指令都写在遗传里，生下来就带着。开放的程序，指遗传只写了一部分，其余要靠学习、经历去补。

举一个常被讲起的例子：候鸟往哪个方向飞。德国的贝特霍尔德（Peter Berthold）一类的研究者，在笼养的黑顶林莺身上做过杂交和繁育实验。据报告，幼鸟在没有见过任何同类迁徙的情况下，到了季节，依然朝着祖辈飞行的大致方向躁动不安〔待核〕。方向，在这里是「写好了」的一部分。

这就是 teleonomy 的好处：它能讲清，「像有目的」的行为里，哪些是程序带来的，哪些是经历补上的。

这是一个很聪明的做法。它保留了「像有目的」这个事实，同时又把「目的」的来源，放回了遗传程序。

本书要还它一个公道：teleonomy 让生物学可以光明正大地描述功能、适应、目标导向的行为，不必为用词感到心虚。

不过，对本书来说，这里有一个值得注意的地方。**teleonomy 把「为了什么」，押进了程序，也就是押进了客体那一头**。目的，在这里等于一份被编码的、可复制的指令。心脏为了泵血，是因为遗传程序里写着泵血；候鸟为了越冬，是因为程序里写着迁徙。

这样一来，「为了什么」成了一个读数：一份可以读出来的序列。这个处理，在客体那一头是完整的。不过，当你问「这个程序，是谁的？它的后代，算谁的？」时，程序自己回答不了。

◆ 五、把「为了」翻成「因为」

还有一种更朴素的办法，不必新造词，只需要换一个连词。

美国哲学家赖特（Larry Wright）在 1973 年讨论功能的文章里，给了一个办法〔待核〕：「心脏的功能是泵血」这句话，可以翻成「心脏之所以在这里，是因为它的祖先泵血，而泵血让那些祖先留下了后代」。这叫来历式的翻译。

翻完以后，「为了」不见了，只剩一串因果。没有设计者，也没有事先想好。每一环都可以去查：祖先是不是真的泵血，泵血是不是真的让它们多留后代。

这个办法，是生物学今天最常用的一种。本书也用。

不过翻译的时候，请留意那句话里藏着的几个字：「它的祖先」「那些祖先」「后代」。这几个字，默认已经有一条谱系摆在那里，祖先和后代，都已经算好了是一家人。

谁算一家人，怎样算，翻译句子没有讲。第 8 章讲过的那一笔欠条，就藏在这几个字里。

还有一个更直接的办法，可以看出这句翻译的边界：把它用到阿远的蛋白上。

「这个蛋白之所以在这里，是因为它的祖先——」

句子写不下去了。它没有祖先。「为了什么」在这里没有地方去，不是因为被赶了出去，而是因为那条谱系根本不存在。这一点，第 19 章接着讲。

◆ 六、康德留下的门缝

比达尔文更早，哲学家康德（Immanuel Kant）在 1790 年的《判断力批判》里，对生物有过一段非常深的思考〔待核〕。

他说，一个有机体，有一个很特别的性质：它的各个部分，既是整体的原因，又是整体的结果。一棵树，叶子靠根吸水，根靠叶子制造养分；树的每一部分，都为别的部分的存在而存在，并且也靠别的部分而存在。他把这样的东西叫作「自然目的」：一个东西，既是原因，又是结果，既是手段，又是目的。

这个想法，与本书第 4 章讲的有机体派（自维持、组织闭合）是一脉相承的。可以说，有机体派就是康德这一段话的现代版本。

康德拿一块钟表来对比。钟表里，一个齿轮带动另一个齿轮，部分与部分是互相配合的〔待核〕。可是一个齿轮，不会造出另一个齿轮；钟表也不会自己修自己，坏了零件，缺了的不会自己长出来。

树就不同。树的各部分，不但互相配合，还互相造出对方，整体坏了一块，其余的会想办法补上。这样互相造就的东西，康德才说是「自然目的」。

要把这里的意思说窄：这里的互相造就，说的是组织，不是感觉。自维持不等于意识。康德用的是「目的」这个词，本书借来的，只是它背后那个互相造就的结构。

康德还做了一件事：他同时说，我们不能真的断言，自然里有目的。我们只是在判断一个有机体的时候，不得不用「目的」这个概念，它是我们的反思判断的一个原则，不是对自然本身的断言。

这是一条很深的门缝：康德看到了，有机体要用「为了什么」才能被理解；他又说，那只是我们理解的方式。他把门开了一条缝，又把它关上了。

本书的看法是：「为了什么」，不只是我们的判断方式，它也是一个可以被放回自然里去的东西，只要你能说清楚，它是怎样发生的、怎样测。这一点，留到第 20 章再讲。

◆ 七、一个常见的反对：这不是目的论复辟吗

讲到这里，你很可能有一个疑问。

本书说，要把「为了什么」放回生物学。那不就是把目的论请了回来?

这个疑问值得认真回答，因为它抓住了本书最容易被误读的地方。回答有三点。

第一，本书不要设计者，也不要事先想好。本书说的「为了什么」，是一条谱系事后可以被看出来的去向，没有谁在前头定好。

第二，本书不预设终点。它不说谱系朝着哪里去，只说谱系有没有「能去别处」的余地。余地可以测，终点不能。

第三，它可以错。下一章起，「为了什么」会被落成几样可以测的东西。如果测不出来，这一层就是一句空话，应当收回。

还有一句要说明。本书不说谱系「想要」什么。想要，是有没有意识的问题，不在这一卷里。

还有一个接口，先留在这里。教研室里那个男孩问的「谁说它们是一家人」，到第 17 章会落成一个能测的数：新一代集体的创始细胞，有多大比例来自同一个亲代集体，逐代去测。那就是记账一致性。「为了什么」要成为生物学的话，得先过这一关。

所以请把这一章的意思读窄：不是把目的论请回来，而是承认有一层事情，生物学一直在做，只是不让自己说出口。

◆ 八、被写成读数，或被押进一头

回到这一章的标题：意义层不是没有，是被当成目的论赶出了门。

在生物学里，「为了什么」的去向，大致有两种。

第一种，**被写成读数**。比如适应度。一个性状「为了什么」？为了留下更多的后代。适应度，成了「为了什么」的替身。这样，意义层被压平成一个数：留下了多少后代。

第二种，**被押进一头**。押进客体：为了复制（基因派，或 teleonomy 的程序）。押进主体：为了维持自己（有机体派）。押进互动：为了适应环境（生态位派）。每一种，都把「为了什么」落在三头中的一头，另外两头不再有位置。

这两种处理，都是有道理的。适应度是一个很好的工具；程序、自维持、适应，都真的是生物学里的重要内容。但把它们当成「为了什么」的全部，就丢了东西。

丢掉的，是这样一个问题：一条谱系，不只是在延续，它还在往哪里去？一棵树，不只是活着，它还在长出新的枝；一个物种，不只是在生存，它还保留着变出新东西的余地。这类「往哪里去」，被适应度压成了一个数，被程序压成了一份指令，才没有一个位置。

举一个能算出来的对照。设想两条谱系，每一代都恰好留下两个后代，适应度一模一样。

第一条谱系，三十代过去，每一代长得和第一代没有区别。第二条谱系，每隔几代就有一个新的样子被留进来，三十代之后，已经和起点相差很远。

适应度这一个数，把两条谱系记成了同一个数。可是谁都看得出，它们不是同一回事。

这个差别，不在「多少」里，在「去向」里。生物学没有不看它，只是没有给它一个正式的位置。

本书把这类东西，叫作**意义层**：创造、自由、幸福，在生物学里的样子。第 20 章会把它们逐一落到可以测的地方。

◆ 九、一份旧教案

那天下午，陈老师在书柜底层翻出一摞旧教案。纸已经发黄，是蓝黑钢笔字。

她抽出其中一页，念给阿远听：「叶绿体的作用，是为了光合作用。」

页边有另一个人的红笔，把「为了」圈了出来，写着两个小字：改掉。

「那是教研组统一的意见，」她说，「八几年的事了。说『为了』有目的论的味道，学生会以为叶绿体有想法。」

阿远笑了：「后来改成什么？」

「改成『叶绿体是光合作用的场所』。」陈老师摇摇头，「这句话我讲了三十年，几乎没有学生追问过。」

她停了一下。

「只有一年，有个男孩问：场所是场所，可它凭什么长成这样？」

阿远问：「您怎么答的？」

「我说，因为祖先里长成这样的，留下来了。」陈老师说，「他又问：谁的祖先？」

她把那页纸放回去。

「我当时答不上来。我只会说『同一种植物的』。可是他问的，是『谁说它们是一家人』。」

阿远没有说话。他想起导师那支红笔，也想起自己论文里被划掉的两个字。这一章前头讲过的东西，几十年前就在一间教研室里发生过了：词被换掉，问题被留了下来。

那个男孩的问题，本书到第 17 章才回答。

◆ 十、放回日子里

后来，阿远去找导师，说：「我想把那一句改回来。」

导师说：「哪一句？」

「『为了稳定蛋白的折叠』。」

导师皱了皱眉：「你要说它有目的吗？」

「不是，」阿远说，「我想说，这一段序列在这条谱系里，是因为稳定折叠而被留下的。」

导师想了想，说：「这句话比你原来那一句，好。」

回去路上，阿远给陈老师发了一条消息：「老师，我把『为了』又写回去了，不过加了一个条件。」

陈老师回了一句：「加条件，就是对了。」

你也可以试试。下次你被人用「没有目的」这类话把一个词赶出门，不用急着反驳，也不用急着服气，只问一句：这个词要说的那件事，换什么词说？如果换不出来，那个词就还得留着。

> 带走的话
>
> **不许说「为了」，问题并没有消失，只是换了个门进来。◆**

> **小 账**
>
> 拆了什么：拆了「生物学里没有『为了什么』」的印象；它是被当成目的论赶出门，或被写成读数、被押进了三头中的一头。
>
> 立了什么：立了意义层在生物学里有位置——它不是目的，是「往哪里去」，落在创造、自由、幸福上。

第 16 章

一次「活着」的完整读法

哪一头显、哪一维动、落在哪一界

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一个简单的问题问下来，你发现自己的答案，其实有好几层。

那天，阿远从实验室带回来一管菌液，装在一个小小的离心管里，浑浊的，微微泛黄。他把它放在陈老师桌上。

「这管里是表达那个蛋白的细菌，」他说，「细菌活着，蛋白不活着。可是蛋白有用，细菌是为了生产它才被养的。」

陈老师拿起那管，对着窗户的光看了看。里面什么也看不出来，只是一团浑浊。

「那么，」她把管子放下，「这管东西里，有几个『活着』？」

阿远数了一遍：「细菌是活的，一个。蛋白不是活的，零个。一共一个吧。」

「一管里有几亿个细菌，」陈老师说，「你说的是哪一个？」

阿远没答上来。他忽然觉得，这个问题比他想象的要大。

这一章，要把「活着」完整地读一遍。这是本书第一次完整讲出本书的新属性定义。

◆ 二、三问：哪一头、哪一维、哪一界

先把定义写出来，再拆开：

> **「个体」是互动那一头（记功口）显影、差异那一维稳定、落在现实界的一个账户；「活着」是这个账户在被记账期间的持存。**

这句话有三个部分，每个部分回答一个问题。

第一问：哪一头显?

前面说过，本书把一个东西的属性，看成三头缠在一起的：客体、互动、主体。三头不是三个先存在的东西，而是同一个聚合体的三种侧重。问「哪一头显」，就是问：在这件事里，是哪一头的特征最突出地显了出来。

「个体」这个属性，显的是**互动**那一头，而且是互动里的**记功**那一件：决定「这一份后代算谁的」的那道口。一个东西是不是一个个体，不取决于它是否有一层皮、有没有一副骨架，而取决于它的后代，是不是被稳定地记到了同一个名下。

第二问：哪一维动?

本书所属的框架，把任何属性的发生，分成三个维度：**显露**（样子冒出来，被认得出）、**差异**（一串一先一后的不同，有顺序）、**纠缠**（各部分缠在一起，互相牵制）。问「哪一维动」，就是问：在这件事里，是哪一维在起主导作用。

「个体」这个属性，动的是**差异**这一维，而且是差异的**稳定**：一串一代一代的不同，之所以能被认作是「同一条线」的延续，是因为这串不同稳定下来了，没有被打散。

这个「稳定」，也可以量。办法很朴素：把同一条线上相邻两代的差别，和不同线之间的差别比一比。

如果同一条线上，前后代的差别，一直小于线与线之间的差别，这条线就稳到可以被认作「一条」。反过来，如果线内的差别，和线与线之间的差别搅在一起分不开，那就谈不上有「一条」线。

这是一个可以逐代去查的数，不需要谁来判断「像不像一家人」。

第三问：落在哪一界?

本书把世界分成三界：**理念界**（可能的样子，设计，想法）、**现实界**（实际发生的、可以测的事）、**自我界**（被一个自己感到、认领的）。问「落在哪一界」，是问：这个属性，是在哪一界里被说的。

「个体」，说的是**现实界**里的事：它有没有稳定的谱系，可以去查，可以去测。至于一个个体「觉得自己是谁」，那是自我界的事，本书不管。

把三问合起来，就得到了定义：互动那一头（记功口）显影，差异那一维稳定，落在现实界——这样的东西，就是一个「个体」，一个账户。

「活着」，则是这个账户**在被记账期间的持存**。账户还在被记着，就是活着；账户不再被记，就是死了，或者从未活过。

这里的「期间」二字，有开头，也有结尾。

开头，是一道口把这一份记成了一户：一个细胞分裂完成的那一刻，一个受精卵形成的那一刻，一株苗从母株上断开、扎了根的那一刻。

结尾，是这条线不再被记：个体死了，被倒掉了，或者这条谱系断了。

所以，「活着」不是一个全有全无的标签，它是一段有头有尾的时间。至于这段时间多长，是可以测的。

◆ 三、以前的人，怎样回答「什么是活着」

在拆开这句定义之前，先看看前人是怎样答这个问题的。每一种答法，都有它成立的地方。

你在中学教科书里读到的，大概是一张清单：生物能新陈代谢，能生长，能繁殖，对刺激有反应，能适应环境。陈老师教了四十年，每年都要在黑板上写一遍。这张清单很有用，因为它让你拿到一个陌生东西时，有几件事可以去查。

1944 年，物理学家薛定谔（Erwin Schrödinger）出版了一本小书，题目就叫《生命是什么》〔待核〕。他的意思大致是：生命靠不断从环境里吸进有序，才能维持自己的有序，不至于散掉。后来的人把这一点叫作「负熵」。这个看法影响了整整一代生物学家。

另一个常被引用的说法，来自美国航天局一个小组的工作定义：生命是一个能自己维持、并且能经历达尔文式演化的化学体系〔待核〕。这一句，把代谢和演化，放进了同一句话。

这几种答法，本书都不推翻。清单查得出的东西，查得出；负熵说得对；能演化，也确实是生命的要件。

不过它们都有一处没有交代。清单说「生物能繁殖」，却没说哪一个才是那个繁殖的「生物」。定义说「能经历演化」，也没说演化作用在哪一个单位上。一个蚁群里，一只蚂蚁在代谢，整个蚁群也在繁殖，该看哪一个，没有交代。

这个「哪一个」，前人一般当成了给定。本书的新定义，要做的就是把这个「哪一个」，从给定里拿出来，变成可以问、可以测的东西。

◆ 四、一管菌液里的两种东西

现在回到阿远那一管菌液，用这套读法，来读里面有什么。

第一种东西：细菌。

一管里有几亿个大肠杆菌。每一个细菌，每隔二十分钟左右，分裂成两个。分裂的时候，一个细胞变成两个细胞，每个细胞都是原来那一个的「后代」。

这笔账是谁在记，有两道口在同时起作用。

第一道，是细胞自己：一个细胞分裂，一变二，两个子细胞都记在这个细胞的名下。这是最简单的一种记功口：单细胞的分裂。每一个细胞，就是一个账户。

第二道，是实验室：每过一段时间，阿远会从这管里取一点，转到新的培养液里。取多少、取哪里，是他定的。被取走的那一点，成为下一轮的「后代」；其余的，被倒掉。这是一道外加的口，由一个有利害的守门者握着。

所以，这管菌液里的细菌，是有账户的，而且在被记账。从本书的定义看，它们是个体，是活着的。

第二种东西：蛋白。

蛋白由细菌表达，一串氨基酸折成一个形状。它有效果：能结合一种分子。

不过，它有账户吗?

蛋白不分裂，不复制自己。细菌把它造出来，它就在那里；细菌死了，它就慢慢降解。它没有「下一代」。如果想要更多的这种蛋白，需要实验室再表达一次。它的「持存」，不是它自己的谱系在持存，而是实验室记录里的一行字、冰箱里的一管质粒、一套实验流程在持存。

用本书的话说，这个蛋白，有**效果**，没有**账户**。它没有一条被稳定记着的谱系。所以它不是个体，也不是活着。

这两个例子放在一起，有一个对照。细菌是活着的，但它的效果（在这管里的功用），是被设计者要走的；蛋白不是活着的，但它的效果，恰恰是这管菌液存在的理由。一个有账户而效果不重要，一个有效果而没有账户。

这个对照，就是全书要处理的对象。陈老师那一问，就是在问：蛋白的「用」，既然没有账户，它算在谁名下？

◆ 五、一管里，到底几个账户

回到陈老师那个没答完的问题。

本书的回答是：看谁在记这笔账，账怎么记，数目就怎么数。

阿远带陈老师进了一次实验室，让她看转种。他从培养管里取出一小份菌液，加进一管新的培养液，比例是一比一百。剩下的大半管，倒进了废液桶。

陈老师站在旁边，看着那只桶。

「倒掉的那些，」她问，「它们的账呢？」

阿远愣了一下：「没有账。就是倒掉了。」

账其实是有的。只是被取走的那一小份，接着往下记；其余的，账在这一刻被销了。

这件事可以数出来。

按一比一百转种，每个细胞留下的机会，是百分之一。也就是说，这一次转种，每一百个细胞里，平均有九十九个的账户被关闭，一个被带进下一管。这里面没有谁比谁强的意思，它是一个随机的口，只管数量，不管谁是谁。

于是，一管里有几个账户，要看你问的是哪一道口。

按细胞自己的分裂算，一个细胞是一个户，一管里是几亿个。

按实验室的账算，记在本子上的是菌株的编号和转了多少代。同一个编号下的所有细胞，是一个户。

按转种这道口算，被记上的，是那被取走的一小份；被倒掉的，账户在这一刻关了。

三种数法没有谁错。它们回答的是三个问题，对应三道口，各有各的持有者。

你也许想追问，这笔账能不能读出来。

能。做法是在开头给每一个创始细胞挂上一个独一无二的标签，然后逐代查，看每一个标签的后代还剩多少。这类「谱系追踪」的办法，酵母和细菌里都有人做过，有的一次追踪几十万条谱系〔待核〕。账户被记了多久，是一个数；被关在第几代，也是一个数。

这就是「活着是账户在被记账期间的持存」那句话，落到实验台上的样子。

◆ 六、蛋白的账户，什么时候才会开

回到那只蛋白，用这套读法，沿着它的日子往下走一遍。

在计算机里，它只是一串被提出来的可能。这时候，谈不上账户。它在**理念界**，还没有落到实处。

表达出来以后，它在管里。有了形状，有了效果，可以被测量。它走进了**现实界**。可是它没有分裂，没有下一代，没有哪一道口把它的后代记到谁名下。有效果，没有账户。

假如有一天，某个团队把它放进一条长期培养的菌线里，而且这条线之所以被一代一代保留下来，正是因为这个蛋白的效果，那么情形就变了。那时，这条线有了账户，蛋白的效果被记在了这个名下。

要留意，这里写的是条件，不是步骤。本书不写怎样去做，只写：账户从什么时候才开始。

所以，「有效果」和「有账户」，是隔着一道口的。这一道口，就是下一章的主角。

◆ 七、账户比身体大：地下的一棵树

有些生物，让「身体」和「账户」分得很开。

美国犹他州有一片颤杨林，叫潘多（Pando）。一眼看过去，是成千上万棵树。可是树干下面，据说连着同一套根，所有树干的遗传信息一样，被认作同一个克隆。通常引用的数字，是约四万七千根树干，占地约四十多公顷〔待核〕。

俄勒冈州一片森林里的蜜环菌，更极端。据报告，一株蜜环菌的菌丝网，铺开了近一千公顷，年龄估计在数千年〔待核〕。

问这样的东西「有几个活着」，按教科书的清单，答不出来。树干死了一根，另一根又长出来，整片林子一直在。

按本书的读法，这里要数的，不是树干，是账户。看哪一条克隆线被一代代记在同一个名下，答案是一条。树干死掉，是账户里一个部件的更替。账户本身在持存，所以这条线是活着的。

反过来，如果两棵颤杨树干之间，根系早就断了，各自从种子长起来，那么它们是两个账户，哪怕站得再近。

这个对比，说明了定义里「落在现实界」的意思：账户是可以去查的。顺着根挖下去，看连不连，看基因是不是一样，答案就出来了。

◆ 八、画一张谱系图

那天陈老师没有再追问。她从抽屉里抽出一张作废的试卷，翻到背面，拿起铅笔。

「你把这管里的事，画给我看。」

阿远在纸的最上面画了一个点，是起点那个细胞。点下面分出两条线，每条线再分出两条。画到第五层，已经有三十二个端点。

「再往下呢?」陈老师问。

「再往下就画不下了。」

陈老师拿起橡皮，擦掉了其中大半的线，只留下几条从上贯到下的细线，别的都停在半路。

「你每转一次种，就是这样擦一次。」她说，「最后留在纸底的，是哪一条?」

阿远看着那张图。纸底上还留着几个端点，它们往上追，追到某个分叉，竟然汇到了同一条线上。

这张图，是谱系追踪读到的样子。管里现在所有的细胞，顺着往上追，经常汇到很少的几个祖先那里。这是随机的结果，没有谁比谁强，只是账在反复转种中一次一次被销，留下的，越来越集中在少数几条线上。

纸上每一个还连着底的端点，是一个仍在被记的账户。每一条停在半路的线，是一个已经关闭的账户。

「活着」和「死了」，在这张图上不是两种东西，是同一条线的两段：连着底的一段，和停下来的一段。

◆ 九、和 Pross、Godfrey-Smith 对账

这个定义，不是凭空来的。它与两位前人最接近，要对一下账。

Pross：动态动力学稳定性。以色列化学家阿迪·普罗斯（Addy Pross）在 2012 年出版《生命是什么?》〔待核〕，提出：生命的本质，是一种特殊的稳定性。普通的化学物质，靠「热力学稳定性」持续存在：它们能量低，不容易变。生命不是这样。生命是一群会复制自己的分子，它们靠不断复制、不断被消耗，来维持整体的存在。这是一种「动态动力学稳定性」：稳定的不是某一个分子，而是整个过程。

这个说法，与本书的「活着是账户的持存」很接近：两者都认为，生命的稳定，是一种过程的稳定，不是物质的稳定。

为了看清这一点，借一个小算例。设想一群会复制的分子，每个分子每小时有一半会坏掉。只要它们每小时复制出来的，比坏掉的多，整个群体的数量就能稳住，甚至增长。

这时候，稳定的不是任何一个分子，它们一个个在坏。稳定的是「这一群在复制」这件事。普罗斯要说的，大致就是这个意思〔待核〕。

本书多出的，是一点：**承载者由记账生成**。Pross 的体系里，那个会复制的实体，是现成的，有稳定性的是它。本书的说法是：什么是「那个会复制的实体」，要看账怎么记。一个细胞团的细胞，各自都在复制，那么稳定的是细胞，还是细胞团？这要看后代记在谁的名下。

Godfrey-Smith：达尔文空间。第 12 章已经介绍过，他用几个坐标，描述一个种群离「典型的达尔文个体」有多远。其中，瓶颈是一个坐标。

本书多出的有两点：第一，**瓶颈有持有者**，是谁把后代压进了瓶颈、他得到了什么，可以追问；第二，**瓶颈有下限**，记账一致性低于一个下限，那一层就不成其为个体。这两点，在坐标式的描述里，没有位置。

举个对照。一个人从一个受精卵开始。这道瓶颈，是由上一代的生殖系持有的：卵来自母体里的那条线，精子来自父体里的那条线，送出来的人是谁，可以追。

盘基网柄菌聚拢的时候，情形就不同。聚拢的细胞是谁，没有哪一个亲代集体在送，是土壤里恰好相邻的那些。这里连瓶颈都谈不上，更没有持有者。

在坐标式的描述里，两种情形都可以被写成「瓶颈宽或窄」的一个值。可是谁在持有、持有者的账能不能追，坐标里没有位置。

◆ 十、三个难办的情形

有三种情形，最容易让这个定义被追问。本书把它们摆出来，逐个读一遍。

第一个：病毒。一颗病毒颗粒自己不分裂，也不代谢。新的病毒颗粒，是宿主细胞照着它带来的指令造出来的。

按本书的读法，这里的口在宿主那里：谁的细胞在造、造多少、哪些被释放，是宿主这道口在记。病毒算不算「活着」，生物学内部有不同意见，本书不在这里裁决。这里只示范问法：谁在记，记在谁名下。

第二个：工蜂和工蚁。多数工蜂一生不产后代。她们的身体在觅食、在守巢、在代谢，这些都是真的。

按本书的读法，被记账的是蜂群这条线，由蜂后那道口去写后代。这并不是说工蜂「不算活着」。本书说的「活着」，是一个关于演化账户的用法，不是对任何一个生命价值的评判。一只工蜂的一生，在日子里怎样，是另一本账的事，第 35 章回来。

第三个：休眠的种子。以色列马萨达遗址出土过约两千年前的海枣种子，后来有人让它发了芽〔待核〕。这两千年里，它在不在「被记账」？

这是定义的一个边角。本书的读法是：账户的持存，不等于身体在动。只要这条线，后来能被查回来、接得上，那么这一段休眠，可以算账户在，只是没有新的一笔入账。不过，种子库里有编号、有采集记录的种子，账一直开着；两千年前埋下的野外种子，账是事后补开的。这两种情形，本书把它们分开写，是否同样算「持存」，留作待验。

◆ 十一、一个常见的反对：不生育的，就不算活着?

一个自然的疑问是：照这么说，骡子不能生育，工蜂不能生育，一个不育的人，岂不是都不算活着了?

不是。回答有三层。

第一，这句定义说的是演化上的账户，不是对任何人的评价。一个人在世上的分量，不由它判定。

第二，不育的个体，仍然是一个账户。骡子是一匹马和一头驴的后代，它的名字，是上一代那道口记上去的。它一生中，都在这条线上占着一个位置。它这一份不再往下分出新的户头，但在它活着的期间，这个账户是在被记着的。

第三，「期间」这个词，已经写进了定义里：活着，是被记账期间的持存。账户有开始，有结束。不育者的账户在它自己这里停下，这是演化账上的事实，并不改变这个个体在日子里的任何东西。

所以，被反对的其实是一个误读：把一个技术用法，当成了一句评价。本书不拿这个定义，去裁判谁活着、谁不算。

◆ 十二、数目全看怎么记，不就成了随意的?

还有一个反对，来自严格的人。

你说，一管里有几个账户，要看你问哪一道口。照这样，想数几个就有几个，岂不是随意。

不是。

口是生物的结构或做法，不是你的心情。细胞分裂的口，转种的口，实验室的编号，都是可以去查的。你换一道口，数出来的结果会变，可你换一个人去数同一道口，数出来的结果是一样的。

不同的口，给出不同的数，这并不矛盾。它们各自在回答一个问题。

真正需要回答的，是另一个问题：在你关心的这一层，到底是哪一道口在决定后代去哪里。这个问题没有现成的答案，要去查。第 18 章会给出一个办法：撤掉某道口，看那一层还回不回得去。

◆ 十三、自维持不等于意识

最后，要再强调一个边界，因为「个体」「活着」这些词，很容易被读成「有感觉」。

本书说的「活着」，只是一个**账户在被记账期间的持存**。它不包含任何关于感觉、意识、痛苦的断言。一个细菌是活着的，一个细胞团是一个个体，一株草莓是一个或几个个体，这些判断，都只涉及谱系，不涉及内心。

同样，有机体的自维持，是一种可以测的现象：一个细胞，能不能在饥饿里维持膜、维持能量。自维持是真的，能动是真的，可是自维持不等于意识。意识的问题，属于心理学卷，不在本书的范围。

◆ 十四、随身三问，用在任何一样东西上

这一章讲了不少例子。你不必记住它们，只要带走三个问题。

第一问：这里有几个账户? 先别数身体，数线。哪些东西，顺着往上追，追到同一个起点?

第二问：谁在记? 是细胞自己的分裂，是母体的生殖系，是宿主的制裁，是挑种子的人，还是一套流程？记账的那道口，是可以指出来的。

第三问：记了多久? 账户从哪一刻开，到哪一刻关。这一段，就是这个账户的「活着」。

三个问题，没有一个需要你去猜谁在想什么。它们问的是线、口和期间，都可以去查。

◆ 十五、放回日子里

那天晚上，陈老师送阿远下楼，路上遇到邻居抱着一盆吊兰。

「陈老师，您这盆兰草，是不是当年我送的那一盆分出来的？」

陈老师说：「是，那一盆分出来的第三代了。」

阿远在旁边听着，忽然觉得这个对话，就是本章要说的东西。吊兰一年年抽出匍匐茎，长出小苗，邻居分了一株给陈老师，陈老师又分了一株回去。三代人，三个阳台，一条没断过的线。

「老师，」他说，「这盆兰草的『活着』，是哪一盆的？」

陈老师笑了：「是这条线的。」

你也可以试试。数一数家里的一株植物，一只宠物，一个传下来的东西，问一句：它是哪一条线上的？这条线，是谁在记?

带走的话

活着，就是一个账户还在被记账。 ◆

小账

拆了什么：拆了「活着是一块肉的属性」的看法；一管菌液里，细菌有账户、蛋白没有账户。

立了什么：立了新属性定义，并用三问（哪一头显、哪一维动、落在哪一界）读了一遍；和 Pross、Godfrey-Smith 对了账。

第 17 章

记功口

选择决定多少，记功决定是谁的

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一件事做成了，功劳却落到了你没想到的人头上，而你当时还觉得，这好像也说得过去。

陈老师年轻的时候，带学生种过一块试验田。那年秋天丰收，亩产比往年高出一大截，县里很高兴，专门开了表彰会。奖状发下来，抬头写的是学校的名字。

回到教室，一个学生举手：「老师，那块地是我们种的。」

陈老师说：「是。」

「那奖状怎么是学校的？」

陈老师没有马上答。她看着那张奖状，想了很久，才说：「因为发奖的人，是按学校来记的。」

学生说：「那要是按班来记呢？」

「那就是班的。」

「要是按人来记呢？」

陈老师笑了：「那就要发好几十张奖状了。」

她当时觉得这是一件小事。多年以后她才意识到，这是一件很大的事：同一块丰收的地，可以有很多种记法，每一种记法，都会决定谁是赢家。

这一章，就从这个「记法」讲起。这是全书的母题章。

◆ 二、第三件事

先从达尔文说起。

教科书讲达尔文的自然选择，讲的是两件事：**变异**与**选择**。一个种群里，个体之间有变异；有的变异让个体留下更多的后代，这些变异就被选择留下来。

后来的教科书又加上遗传，说成三个条件：变异，适应度差异，遗传。1970年，美国生物学家列万廷（Richard Lewontin）在一篇讨论选择单位的论文里，把这三个条件写得很清楚〔待核〕：只要一个体系里，有性状的变异，不同性状的适应度有差异，并且这种适应度差异是可遗传的，自然选择就会发生。这个说法非常有名，被称为演化的「三条件」。

本书要先还它一个公道：这三个条件，是整个演化理论的骨架，到今天仍然是对的。后面讲的任何东西，都不推翻它们。

还要说出它完全成立的条件：凡是「单位已经定好」的地方，这三个条件就够用了，不需要再加第三件事。

长期培养的瓶子就是这样的地方。瓶子里，一个细胞就是一个户，分裂出来的两个，算谁的从来不用问。变异，适应度差异，遗传，三样齐了，选择就在走。三十多年下来，这套骨架没有出过错。

本书要补的那一件，只在「单位本身要不要定」的地方才露面。

本书想补的，是另一个东西。

读这三个条件的时候，请留意其中的「适应度差异」。适应度差异，是说有的类型留下的后代多，有的少。那么「后代」是谁的后代？是这个类型的，这个个体的，这个群体的？每一个条件，都默认有一个明确的单位，在那里被数。但这个单位，从哪里来？

本书的判断是：达尔文过程，不是两件事（变异、选择），而是三件（变异、选择、记功）。

> **达尔文过程不是两件事（变异、选择），而是三件（变异、选择、记功）。**

变异，提供可选的东西。选择，决定有多少。记功，决定这些算谁的。

这第三件事，一直在发生，只是一直被当成了背景。它之所以不被注意，是因为在大多数日常例子里，它太稳定了、太自然了。一头鹿生一头小鹿，谁的孩子，从来不用问。

◆ 三、记功不是遗传

读到这里，你很可能会想：第三件事，不就是遗传吗?

不是。这一点要说得非常清楚。

遗传讲的是后代像不像。记功讲的是后代算谁的。

两件事可以分开。举一个例子。

一棵苹果树，品种叫「红富士」。农人想要更多的红富士，办法是嫁接：从母树上剪一段枝条，接到另一棵砧木上。接上去的这一段，长出来的整棵树，在遗传上和母树一模一样，因为它就是母树的一段。遗传，是百分之百的。

不过，这棵新树，算谁的?算母树的「孩子」，还是母树的「一部分」，还是一个叫「红富士」的品种的又一株?果农不会这样问，他的账本上写的是「红富士，某年某月嫁接，某号地块」。这个「品种名」，是一个人记的户名。

再看一个相反的例子。一只杜鹃，把蛋下在另一种鸟的巢里。杜鹃的雏鸟，和养它的那对鸟，在遗传上毫无关系，长得也完全不像。不过，养它的那对鸟，却把全部的精力，花在了这只雏鸟身上。从「谁的繁殖投入」来看，这些投入，被记到了这只杜鹃的谱系上，没有被记到养它的那对鸟的谱系上。

这两个例子，一个是遗传完美、户名靠人记；一个是遗传完全无关、户名靠巢记。两件事，是可以分开的。

所以，本书说的第三件事，不是遗传。它是遗传之外的另一个东西：决定后代记到谁名下的那道结构。

◆ 四、户名和遗传分开的几个现场

前面的嫁接和杜鹃，是两个很干净的例子。再看几个，你会发现，户名和遗传分开，其实一直在发生。

牛的胚胎移植。一头优良的母牛，受精后，早期胚胎可以被取出来，放进另一头母牛的子宫里长大、出生。小牛的遗传，来自提供胚胎的那一头，怀胎的那一头，一个基因也没给。

那么，在牛群的登记簿上，这头小牛的母亲，写的是谁？不少品种协会的做法，是写遗传上的那一头，同时要求注明是移植所生〔待核〕。怀它的那一头，在登记簿里只是一栏备注。

这就是一道口：登记簿，在决定户名。它没改变遗传一个字。

克隆羊多莉。1996 年出生的多莉，是用一只成年母羊的乳腺细胞核，放进另一只母羊去掉了核的卵细胞里，再由第三只母羊怀胎生下的〔待核〕。三只母羊都和它有关，不过多莉细胞核里的遗传，几乎就是第一只母羊的复制品。

多莉有几个「母亲」？看你问的是哪一道口：问遗传，是提供细胞核的那一只；问怀胎，是第三只；问卵细胞，是第二只。三种数法都有人用，各回答各的问题。

这几个例子有一个共同点：遗传没变，可是「这一份算谁的」，只要换一本账，就换一个答案。而且，换账以后，实验室里的谱系追踪、牧场里的育种计划，都跟着变。

这就是为什么，本书把它当成第三件事，而不是遗传的一个脚注。

◆ 五、七道记功口

本书把决定「这一份后代、这一个效果算在谁名下」的那道结构或做法，叫作**记功口**。下面是本书对它的定义，请逐字读一遍：

> **记功口：决定「这一份后代、这一个效果算在谁名下」的生物结构或做法——单细胞瓶颈、生殖系隔离、繁殖体释放、宿主对共生菌的制裁、配偶选择、育种者、AI 设计流程。它不决定多少，只决定户名。个体不是被选择的单位，而是被记功的单位；适应度不是承载者的属性，而是记功口记下的一笔；功能不由来历定，由记账定。**

定义里列了七种。下面一种一种说，每一种，都用一个例子。

一，单细胞瓶颈。一个多细胞生物，每一代都从一个受精卵开始。这个受精卵，就是一个瓶颈：所有成体的细胞，都是这一个细胞的后代。这样，整个身体的所有细胞，都被记在同一个名下。

二，生殖系隔离。身体里的细胞分成两类：一类是体细胞，另一类是生殖细胞。只有生殖细胞的后代，能够传到下一代。这样，下一代的「户名」，只记给生殖系那一条线。

三，繁殖体释放。一些生物，把一部分身体，以小的颗粒释放出去，去长成新的个体：地衣的粉芽，苔藓的芽胞，一些藻类的繁殖团块。释放的是什么，释放的是不是整个集体的一小段，决定了新一代记在哪一个名下。

四，宿主对共生菌的制裁。第 3 章说过的豆科植物，对不肯固氮的根瘤菌减少供氧，使它们的繁殖下降。这里，宿主在决定：哪些共生者的后代，能够继续记在这个共生关系的账上。

五，配偶选择。第 11 章说过的孔雀。雌性挑哪一只雄性，下一代就记在那一只名下。

六，育种者。农人留种，育种者挑犬。他挑了谁，下一代的家畜、家犬，就记在谁的谱系上。

七，AI 设计流程。一套流程，提出成千上万个候选，再排序，再把前十个送去实验。哪些候选进入哪条谱系，由这套流程决定。这一种，是第四编的主角。

这七道口，看上去不一样，一个是细胞的结构，一个是生殖的安排，一个是共生的惩罚，一个是动物的偏好，一个是人的选择，一个是机器的流程。

它们有一个共同点：每一道口，都在回答同一个问题：**这一份后代，记到谁名下？**

◆ 六、用同一句话，问七道口

七道口放在一起，看上去杂。不过你可以对每一道，问同样三句话：谁持有？持有者对结果有没有利害？撤掉它，下一代的户名会怎样变？

先看第一问和第二问的初步归类。这是本书的初步看法，归得对不对，要到实验里去核。

记功口	谁持有	持有者的利害
单细胞瓶颈	亲代的繁殖方式	无利害的筛
生殖系隔离	发育的程序	无利害的筛
繁殖体释放	亲代集体	无利害的筛
宿主对共生菌的制裁	宿主植株	有利害的守门者
配偶选择	挑选的一方	有利害的守门者
育种者	人	有利害的守门者
AI 设计流程	一套流程	无利害而能提出候选的设计者

第三问最有用。撤掉单细胞瓶颈，新一代的创始细胞就会变杂。撤掉宿主的制裁，不肯固氮的共生者往往会多留后代。撤掉育种者，家畜的谱系往往会向野外的方向漂回去。

撤掉以后变不变、变多快，就是第三个量，回弹系数，要测的东西。七道口不是七个比喻，是七个能被问到同一件事的结构。

◆ 七、三个能测的量

「记功口」不能只是一个比喻。本书给出三个量，每一个都可以去测。

第一个量：记账一致性。

定义：子代集体的创始细胞，来自同一个亲代集体的比例，逐代测。

举例。一个细胞团繁殖时，如果每一个新团，都是由一个细胞长成的，而这个细胞来自某一个老团，那么记账一致性就是百分之百。如果新团是由一堆细胞聚拢而成，这堆细胞来自三个不同的老团，各占三分之一，那么记账一致性就低得多。

怎么测？用谱系追踪：给每个创始细胞做标记，逐代记下它来自哪个老团。

第二个量：持有者的利害。

定义：握着记功口的一方，对结果有没有利害。本书分三类。

- 无利害的筛。比如一条河，把种子按大小分开。它不在乎哪一种种子长得好。
- 有利害的守门者。比如育种者、实验者，他们想要某种结果，所以挑。
- 无利害而能提出候选的设计者。比如一套 AI 设计流程，它自己没有想要，却能提出成千上万个候选。

怎么测？看持有者的挑选，跟他自己的目标有没有关系，撤换持有者后，结果有什么变化。

为什么要把持有者分成这三类？因为三类对谱系的作用不一样。

无利害的筛，只放过一部分。它挑得再严，也只是削掉一些，不往谱系里添东西，也不自己改口味。

有利害的守门者，会带着目标挑。同一窝猎犬，交给打猎的人，他留下鼻子灵、跑得快的；交给办犬展的人，他留下毛色漂亮、站姿好看的。几代以后，两群狗会不一样。守门者的目标，写进了谱系里。

无利害而能提出候选的，是第三种。它自己没有想要，却能提出成千上万个候选。这样的持有者，以前没有过。挑的人有利害，提的东西没有，两件事第一次分在了两处。这件事，第四编要用整整几章来讲。

第三个量：回弹系数。

定义：撤掉外加的记功口之后，集体层的某个读数，退回到撤之前水平的程度。用 0 到 1 表示：0 是完全不回弹，1 是完全退回去。

举例。一个细胞团，在实验者的人为干预下（比如每一代只挑单个细胞去繁殖），保持着集体层的合作。如果撤掉这个干预，团里的细胞又开始各自为政，合作崩了，回弹系数就接近 1；如果撤掉之后，合作依然稳定，回弹系数接近 0。

这三个量，把记功口，从一个说法，变成了一件可以测的事。

◆ 八、一个可复算的小例子

前面三个量，只给了定义。现在拿一个能用笔算的小例子，把它们走一遍。

先算记账一致性。

陈老师每年春天分豆种。秋天，各个班收豆荚，豆荚来自哪个班的试验畦，有记录。春天，她把种子分到新一年的各个畦里，每畦十粒。

设有四个新畦：

- 第一畦，十粒全来自一班的荚。
- 第二畦，十粒全来自二班的荚。
- 第三畦，六粒来自一班，四粒来自二班。
- 第四畦，四粒来自一班，三粒来自二班，三粒来自三班。

怎样算？这里取一种约定：每个新畦，找出提供种子最多的那个亲本班，看它占几成。

第一畦是 1.0，第二畦是 1.0，第三畦是 0.6，第四畦是 0.4。四个数取平均，得 0.75。

这一年的记账一致性，就是　0.75。明年再算一遍，后年再算一遍，得到的是一条逐代的曲线。

要说明：这只是一种约定。也可以不取最大的那一份，改看份额分得散不散。用哪一种，要在做之前写下来，写下以后不许换。

把豆种换成细胞，把班换成老细胞团，把畦换成新细胞团，数字不变，算法不变。这就是第一个量在实验室里的样子。

再算回弹系数。

设一群细胞团，在实验者每代只挑单个细胞做创始的时候，保持合作的团占九成。没有这道外加的口时，基线只有两成。

现在撤掉外加的口，再养二十代。

如果撤后合作的团还占八成五，说明基本没有退回去。回弹系数，取「有口时的读数，减去撤后的读数，除以有口时的读数，减去基线」，是 0.05 除以 0.7，约 0.07。几乎不回弹。

如果撤后降到三成，那么是 0.6 除以 0.7，约 0.86。大部分退回去了。

这也是一种约定，不是唯一的算法。重要的是两件事：算法在试验前登记，基线要测。

笔算下来，你会发现，这两个量没有任何一步需要「感觉这是不是一个个体」。它们只要你记数。

至于持有者的利害，不用算，要观察。撤换持有者，看他的挑选和他的目标有没有关系。一条河筛种子，换一条河，筛法照旧。换一个育种者，筛法就变。换一套流程呢？这是第四编要问的。

◆ 九、先记功，后个体

有了这三个量，可以讲全书最关键的一个命题了。

在习惯的说法里，先有个体，个体有了适应度，然后才有选择。本书的说法是倒过来的：

先有关口，把后代记到集体名下；集体层的可遗传变异随后出现；适应度脱钩更后；分工不是前提，是之后的读数。

这就是「**记功先于个体**」。

为什么这个次序要紧？因为它决定了一个过程的因果方向。习惯的说法里，细胞先分了工，一部分管生殖，一部分管身体，然后集体才成了一个整体，才有集体层的适应度。分工是原因，个体是结果。

本书的说法里，是反过来的：先有那道把后代记到同一个名下的关口，哪怕这时候细胞之间还没有任何分工。关口一立，集体层的差异，开始能够遗传下去。接着，集体的适应度，与里面细胞的适应度，慢慢脱钩。最后，分工才出现，因为这时候，一个细胞为了集体放弃自己的繁殖，才变得「划算」。

这是一个可以检验的次序。它跟前人的路线，在同一个情形下，会给出不同的预测。

这个次序，在自然界里有没有留下过线索？有一条常被拿来讲的路，是从衣藻到团藻的一串生物〔待核〕。

最简单的一端，是单细胞的衣藻。往上，是几个、几十个细胞抱成一团的种类。再往上，是团藻（Volvox）：成千上万个细胞排成一个空心的球，球里只有少数几个细胞负责生殖，其余的负责游动。分工，在这一端最彻底。

这一串生物，常被摆成一个梯子，用来讲多细胞化是怎样一步步走上去的。

本书对这个梯子的看法是：它列出了「现在的样子」，至于哪一步在先、哪一步在后，梯子本身不会说。到底是先有分工、才有集体的账户，还是先有集体的账户、分工随后才出现，只有把一致性单独改一改，才能分出来。第 37 章的试验，问的就是这一点。

◆ 十、先后，是怎样量出来的

说「先」「后」，最怕的是事后挑时间。所以这四件事，各用各的测法，互相独立。

记账一致性，用谱系追踪，前面已经算过。

集体层的可遗传变异，看的是子团像不像亲团，而且是细胞层的差别解释不了的那一部分。如果子团像亲团，只是因为里面的细胞像，那只是细胞层的遗传；多出来的这一部分，才算集体层的。

脱钩，看的是集体的适应度，和它里面细胞平均的适应度，是不是不再同升同降。

分工，看的是团里有没有稳定分开的细胞类型，一部分负责繁殖，一部分不负责。

四件事用的是四种测法，没有一种需要借另一种的结果。这样，谁先谁后，才不是同一把尺量出来的。

还有一件事，必须在做之前写下来：容差窗。两件事出现的时间，如果相差不到事先规定的这个窗口，就算同时，不算先后。窗口多大，由试验前登记决定，之后不许改。

第 37 章会把这几件事写成可以执行的设计。这里只要你记住：「先记功」是一个有刻度的说法，不是一句口号。

◆ 十一、本书的主分歧预测

设想这样一个实验。

起点：一个克隆的细胞系，所有细胞基因相同。没有生殖分工。所有组别的选择压力相同。

只改一件事：记账一致性。分成三组：

- **单细胞创始**：每个新细胞团，都由一个细胞长成。记账一致性最高。
- **单亲多细胞创始**：每个新细胞团，由同一个老团里的几个细胞长成。记账一致性居中。
- **多亲混合创始**：每个新细胞团，由来自多个不同老团的细胞混合而成。记账一致性最低。

三组之间，除了这一点，其余完全一样。

然后看三件事：集体层的可遗传变异什么时候出现；适应度脱钩什么时候出现；分工若出现，在什么时候。

不同的理论，会有不同的预测。按其框架推下去：

Michod 的路线预测，没有生殖分工，就没有集体层的脱钩〔待核〕。

Okasha 的框架预测，集体层的响应，随记账一致性连续变化〔待核〕。

本书预测：**高一致性组，先出现集体层的可遗传变异，再出现脱钩；分工若出现，也在其后；而且集体层的响应，在记账一致性上有阈值。**

请注意这个预测的几个特点。第一，它和前面两家，在同一个情形下，给出不同的结论，所以是可以区分的。第二，它有一个次序（先可遗传变异、再脱钩、再分工），这个次序，可以逐代去查。第三，它说有阈值，不是连续变化，这一点，也可以通过多个一致性水平的实验去检验。

如果实验结果不是这样，本书要撤回或收窄。具体撤回什么、收窄成什么，第 37 章逐条写。

对手一侧的写法，请再留意一次：这里写的是「按其框架推下去」，并保留〔待核〕。本书没有替他们设预测，也不会用没有核对过的原文去反驳他们。

◆ 十二、它可能错在哪里

一个说法，要写明它自己可能错在哪里。关于这一章，有三个常见的反对，它们都值得回答。

反对一：记功口，不过是选择换了个名字。

回答：不是。选择决定的是「多少」，它的结果是一个计数。记功口决定的是「算谁的」，它的结果是一个户名。两者可以分开。长期培养的瓶子里，选择天天发生，户名从来不变；牛的胚胎移植里，选择没有变化，户名换了一栏。

这个回答，是可以被检验的：同样的选择压力，只改记法，看结果变不变。如果结果完全不变，这一章的母题就该撤回。

反对二：户名由观察者说了算，不是生物学的事。

有一类讲法认为，把适应度算在细胞这一层还是集体那一层，是一种算法的选择，取决于看的人想怎样描述〔待核〕。第 12 章介绍过奥卡沙（Samir Okasha）的两种多层选择，就是这个方向。

本书的回答是：在有些体系里，这确实只是算法。不过，在另一些体系里，是生物自己的结构在做这个选择：瓶颈把后代送到哪里，生殖系把哪些细胞留下，都不依赖观察者。你可以去追，追出来的结果，不会因为你换了一副眼镜而改变。

这就是为什么，本书要给「持有者」找一个位置：它让算法有了落点。

反对三：七道口放在一起，太杂了。

回答：它们杂，是因为它们本来就杂。本书没有说它们是一类东西，只说它们回答同一个问题。能不能放在一起，不看它们像不像，看三个量能不能对每一道口都测。

如果有一道口，三个量里有两个测不出来，那它就应当从名单里拿出去。名单不是封闭的。

◆ 十三、回头收账

现在，可以回头收几处伏笔了。

第 9 章留了一处：户名由什么做出来？现在可以回答：由记功口做出来，七道口里的一道或几道。

第 11 章留了一处：配偶选择也是一道记功口。现在可以回答：它是七道口之一，持有者是挑选的一方，有利害。

第 1 章留的那一处，要到第 23 章才收。

◆ 十四、放回日子里

后来，陈老师把那张旧奖状找出来，挂在了书房的墙上。

阿远去看她，看到那张奖状，念出上面的字：「某某县中学……」

「就是它，」陈老师说，「当年发给学校的。」

「可是那块地是你们种的。」

「是我们种的，」陈老师说，「可是记上去的，是学校。你看，『功』这个字，还要有人来『记』。」

阿远在书房里站了一会儿，说：「老师，我明白了，一个东西有用，是一件事；它被记在谁名下，是另一件事。」

陈老师忽然补了一句：「你们实验室那个蛋白，是不是也该有这样一张奖状？」

阿远没接话。他想起来，他们论文的作者栏里，写的是五个人的名字，没有一个是那个蛋白的。

「它有用，」陈老师说，「可是奖状上没有它的名字。」

这句话，一半是玩笑。另一半，是下一章要讲的东西。

陈老师点点头：「这就是选择和记功的区别。」

你也可以试试。下次你看到一张奖状、一个署名、一份工资单、一条家谱，问一句：这上面的名字，是谁写的？如果换一个人来写，名字会不会不同？

带走的话

选择决定有多少，记功口决定算谁的。 ◆

小账

拆了什么：拆了「达尔文过程只有两件事」的说法；变异、选择之外，还有第三件——记功。并分清了记功和遗传：遗传讲后代像不像，记功讲后代算谁的。

立了什么：立了记功口的定义、七道记功口、三个能测的量，以及「先记功，后个体」的次序和本书的主分歧预测。

第 18 章

个体是显出来的

记账一致性越过下限，撤关口不再回弹

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一件事，分的时候很容易，想合回去，却发现再也合不回去了。

阿远小时候，他家和两个叔叔家住在一个老院子里。院子里原来是一户：爷爷奶奶当家，三个儿子，一口锅吃饭，一本户口。爷爷过世以后，三兄弟商量着分了家，各立了户口本，各自做饭，各过各的日子。

最初几年，分得并不彻底。逢年过节，还是在老院子里一起吃饭；谁家有事，另外两家就过来帮忙。

可是时间一长，各家的作息、口味、花销，一点一点地走远了。孩子们在不同的学校读书，说话的口音都开始不一样。

有一年，奶奶说：「要不，还是合回来吧？」

三兄弟互相看了看，谁也没有接话。不是不愿意，是合不回去了。三家的账，已经各是各的了。

这件事，阿远后来想了很多年。他意识到，「分家」这个动作，起初是可以反悔的，一个字就能改回来；可是分了十几年以后，即使把那一个字撤掉，也已经回不去了。

这一章要讲的，就是这样一个「回不去的点」，在生物学里的样子。

◆ 二、下限与回弹

本书的母题里，有一个关键的判断：

> **一致性下限：记账一致性低于下限，那一层不成其为个体；越过下限足够多代，撤掉记功口也不回弹——这是个体性的判据，不是「关口被内化」。**

这句话有两层意思。

第一层：下限。记账一致性，是指新一代集体的创始细胞，来自同一个亲代集体的比例。本书说，这个比例有一个下限。低于下限，那一层就不成其为个体。

想一想。如果每一个新细胞团，都是来自十几个不同老团的细胞混在一起，那么，没有哪一个老团，能说「这个新团是我的后代」。集体这一层，没有谱系。没有谱系，集体就没有自己的适应度，选择只能作用在细胞那一层。这时候，说「这个细胞团是一个个体」，是没有根据的。

第二层：回弹。如果记账一致性高于下限，并且这样的情形持续了足够多的代数，那么，即使把外加的记功口撤掉，集体层的性状也不会退回去。这叫**不回弹**。

打个比方。一根弹簧，你把它拉长，一松手就缩回去，这是回弹。但如果拉得太久、拉得太远，超过了弹性限度，松手以后它就不会再缩回原来的长度了。集体层的个体性，有点像那根被拉过限度的弹簧。

为什么说这个是「个体性的判据」？因为它回答了一个很实际的问题：怎么判断一个集体，是不是真的成了一个个体，还是只是被外面的什么东西撑着？

回答是：把撑着的东西撤掉。如果它马上散架，它不是个体，只是被撑着的一堆；如果它撤掉以后还站着，而且站了很多代，它就是个体了。

这个判据，是**可以测**的。它不依赖于「我觉得这是个整体」，不依赖于集体看上去是不是整齐、分工是不是精细。它只问一个问题：撤掉之后，回不回弹。

这里的「回弹」，可以用第 17 章算过的办法写成一个数。同样一群细胞团，撤口之后合作的比例几乎不变，回弹系数约 0.07；撤口之后合作大半退掉，回弹系数约 0.86。两个数放在一起，哪一个更像一个个体，不用靠感觉。

有一个自然界里的例子，可以让你看到：缺了这样的关口，会是什么样子。

盘基网柄菌食物耗尽时，成千上万个细胞聚拢，一部分变成孢子，一部分变成柄，去支撑孢子。变成柄的，没有后代。

2000 年前后，斯特拉斯曼（Joan Strassmann）、朱（Yong Zhu）和奎勒（David Queller）报告，把不同品系的盘基网柄菌混在一起时，有的品系会占便宜：它们在孢子里的占比，超过了在细胞总数里的占比〔待核〕。占便宜的细胞，把当柄的活儿留给了别人。

这是一个现成的「撤关口」：这种生物没有单细胞瓶颈，聚拢的细胞来自四面八方。结果，集体的合作，每一次都要重新对付作弊者，从来没有稳到可以不管的地步。

对本书来说，这是一个提示：低一致性的集体，合作不稳。至于它离「下限」有多远，要靠逐代测，不能靠一个故事。

◆ 三、不是「关口被内化」

关于这个问题，前人其实有一个流传很广的说法，需要正面对账。

2020 年，布莱克、布拉和雷尼的论文提出了「生态脚手架」的概念〔待核〕。他们的意思是：在个体性刚出现的时候，集体需要外在的条件帮忙。比如，一个周期性的环境变化，每过一段时间，把细胞团打散成很小的片，使得下一轮的细胞团，都是从很少的细胞开始长起来的。这个外在的条件，就像盖房子时的脚手架，撑着一个还没有站稳的结构。

随着时间推移，他们设想，集体自己演化出了相应的机制，内在地做同样的事。脚手架可以撤掉，因为它的功能已经被「内化」了。

本书要还它一个公道：这是目前对个体性起源最清楚的一个说法之一。它抓住了一个要紧的事实：集体的个体性，开始的时候，常常依赖外部条件。脚手架这个比喻，非常好。

但本书想在判据上提出一个不同。

「内化」，是一个**机制**的说法：关口从外面搬进了里面。它预设了一件事：要有一个内在的东西，替代外在的关口。如果你要说一个集体已经是个体，就得先找到那个内在的东西。

为了公平，要说出这个说法完全成立的条件。

如果一个集体，演化出了一套看得见的内部做法，比如发育过程里专门有一步，把后代压回到少数几个细胞，那么说「关口被内化了」，既准确，也有用。它告诉你：外面撤了脚手架，里面有一套做法接上了。

在这样的体系里，布莱克、布拉和雷尼的说法，和本书的判据，给出的是同一个预测：撤掉外加的口，不回弹。

两个说法会分开的地方，只有一处：当你撤掉了外加的口，集体没有回弹，却还没有找到任何内部的做法。这时候，「内化」说要先找到机制，才肯下结论。本书的判据说，可以先下结论，机制留待后面去找。

这两种态度，各有各的用处。做实验的人想知道的是「它到底成没成」，先下判据，有好处。做机制研究的人想知道的是「它是怎么成的」，找机制，是他的本行。

本书的判据，不依赖机制，依赖**测量结果**：越过下限、持续足够多代，撤掉关口后，不回弹。至于是通过什么内在的机制做到不回弹的，可以有很多种可能，其中包括「内化」，也包括别的。

这个区别，看上去很小，但意义很大。因为它把个体性，从「找到那个机制」，变成了「做一次撤关口的测试」。前者需要事先知道机制是什么，后者不需要。

此外，本书还有一个与脚手架说法不同的地方：**脚手架可以撤掉之后又回来**。如果一个集体，在撤掉关口后不回弹，也许是因为它内化了；也许是因为它已经越过了某个门槛。到底是哪一种，需要通过实验去分辨。本书把「不回弹」当作个体性的**判据**，而不是个体性的**原因**。

还有一个说法，离本书的判据也很近。奎勒和斯特拉斯曼 2009 年讨论「有机体性」时〔待核〕，提出一个集体像不像一个有机体，要看里面合作多不多、冲突多不多：合作高、冲突低，就更像。

本书要还它一个公道：合作和冲突，是可以量的，而且很实用。盘基网柄菌里作弊者出现，就是冲突的读数。

本书的判据，和它是相邻的两个问法。它问：现在这个集体里，合作与冲突怎样？本书的判据多问一步：把外面撑着的东西撤掉，合作与冲突，还保得住吗？前者看现状，后者看撤后。

◆ 四、外加的口，是怎样加上去的

前面一直说「外加的记功口」。它在实验室里，常见的有三种加法。

第一种，按性状筛。2012 年的雪花酵母实验，每天让培养管静置，只取沉到管底的那一部分继续养。沉得快的大团块被留下，小的被丢掉〔待核〕。这里，口是「沉降速度」。

第二种，规定一个固定的生命周期。有的实验让细菌在液面上结成一层膜，膜长到一定程度，就被取出、打散，再接种下一轮〔待核〕。这里，口是实验者定的周期，团块怎样繁殖，是人规定的。

第三种，由环境提供压力。2019 年的衣藻实验，用一种会捕食衣藻的小动物作压力，单个的衣藻容易被吃，成团的更难被吃〔待核〕。这里，口是捕食者，它把某些形状的衣藻漏过去，另一些吃掉。

三种口，加法不同，持有者也不同：第一种是一个物理量，第二种是实验者，第三种是另一种生物。

所以，「撤掉外加的口」到底撤的是什么，要事先写明。撤沉降选择，撤周期，还是撤掉捕食者？撤法不同，读出来的回弹也不一定可比。第 37 章为此要多费几页。

◆ 五、它不是亲缘度

读到这里，一个熟悉演化论的读者，会提出一个很自然的质疑。

记账一致性，就是创始细胞来自同一个亲代集体的比例。它和群体内部的亲缘度，不是几乎一回事吗？一个集体里的细胞，亲缘度越高，不是就越容易合作吗？这难道不是亲缘选择，换了个名字？

这个质疑很有力量，必须正面回答。

先还汉密尔顿一个公道：亲缘选择，解释了大量合作现象，到今天仍然成立。汉密尔顿法则说，帮助亲属的倾向，只要好处乘以亲缘度大于代价，就会被选择留下来。无论是蜜蜂，是蚂蚁，还是细胞团，亲缘度高，合作就容易。

为了让这个公道有重量，算一笔账。

举个例子。你帮一个亲兄弟，亲缘度是二分之一。你付出的代价是一个后代的机会，记为 1。对方因此多留下三个后代，好处是 3。二分之一乘以 3 是 1.5，大于 1，这个帮助的倾向就会被选择留下。

这本账，算的是「帮助的得失」。

记账一致性这本账，算的是另一件事：后代的户名。两本账用的是同一批细胞，问的是两个问题。第一本问：这个细胞为什么肯帮别的细胞？第二本问：这一团细胞的后代，算在哪一个集体的名下？

在大多数自然情形里，记账一致性和亲缘度，确实高度相关。一个由单个细胞长成的细胞团，里面的细胞亲缘度很高（接近克隆）；一个由多个来源混合而成的细胞团，里面的细胞亲缘度通常较低。所以在自然界里，两者经常是一起变的。

可是，两者**不是同一个量**。有一些情形，它们可以分开。

情形一：克隆起始的混合创始。

设想一个实验。所有的细胞，基因完全相同（克隆）。那么，任意两个细胞之间的亲缘度，都是最高值：它们没有任何基因上的差别。

现在做两种安排。

安排甲：每一个新细胞团，都由一个细胞长成，这个细胞来自某一个老团。

安排乙：每一个新细胞团，由许多细胞聚拢而成，这些细胞来自许多不同的老团。

两种安排里，细胞基因都相同，细胞之间的亲缘度完全一样（都是最高）。不过，记账一致性不同：甲是百分之百（创始细胞来自同一个老团），乙很低（创始细胞来自许多不同的老团）。

这时候，汉密尔顿法则里的亲缘度，在甲和乙里是一样的，所以它预测：两种安排里，合作的倾向应当没有差别。本书的预测不同：甲里，集体层的可遗传变异会出现，个体性会形成；乙里，集体层的差异每一代都被打散，没有集体谱系，个体性难以形成。

这是一个**可以区分**的预测。

两个量，怎样分别测?

亲缘度，用基因组测序：测集体里细胞之间的遗传相似度。

记账一致性，用谱系追踪：给创始细胞做标记，逐代记下它来自哪个老团。

两个量，用两种不同的手段，分别测，分别报告。第 37 章的判决性试验里，就是这样设计的。

情形二：一个反过来的情形。

上面是亲缘度相同、记账一致性不同。反过来的情形，也有。

普通狨猴常生双胞胎。两个胚胎的胎盘血管会连通，血细胞互相混入，结果每只狨猴的血液里，有两套遗传不同的细胞〔待核〕。这两套细胞之间，亲缘度只有二分之一，不是克隆。

可是，两个胚胎，来自同一个母体。按本书的读法，它们的创始来源，是同一个亲代，记账一致性很高。

亲缘度低，记账一致性高。这个例子要留意，它的细节，血细胞混入到什么程度，是否也包括生殖系，文献里有不同的报告，需要核对〔待核〕。这里只拿它说明，两个量在逻辑上，不是一回事。

情形三：两个量一起动，没法分开的地方。

也要老实说，在很多体系里，两个量一起动，实验分不开。

盘基网柄菌就是这样。聚拢的细胞，亲缘度往往不高，来源也杂。野外取的子实体里，常发现同时有几种遗传型〔待核〕。在这里，亲缘度低，记账一致性也低，两者同升同降。它是一个有趣的现象，却不能用来区分两个量。

所以第 37 章的设计，主体用的是衣藻，盘基网柄菌只作低一致性的自然对照。衣藻是克隆，亲缘度可以固定住，记账一致性可以人为调。

分开的办法，说到底，是**固定一个，变动另一个**。

如果找不到让两者分开的实验呢?

那就要退一步，把话说窄一点：记账一致性，是亲缘度之外、可以单独操纵的一个因子。哪怕在某些体系里，两者实在分不开，本书也不说亲缘选择错了，只说：这里多出了一个可以独立控制的量。这个退路，已经写进了第 37 章。

◆ 六、阈值写在哪里

回到第 14 章的三条方程。第一条说：某一层的能动，在记账稳定到那一层时出现。第二条说：基因频率的翻转阈值，落在「记账一致性 × 持续代数」上。

现在可以用大白话，把这两条说得更具体一点。

想象一个坐标。横轴是记账一致性，从零到一；纵轴是持续的代数，从一代到许多代。把它们相乘，得到一个「累积的账」：账记得越一致、记得越久，累积越多。

本书的预测是：这个累积量，有一个**阈值**。没到阈值，集体层的性状还是由细胞层的力量决定的：细胞各自为政，集体是散的。越过阈值，翻转发生：集体层的力量成为主导，细胞开始为集体而行动。

这个翻转，不是一点一点、平滑地发生的，而是有一个拐点。拐点的位置，在不同的体系里不同，要通过实验去测，事先登记。

用生活里的话说：一个新组建的团队，起初每个人都在为自己打算；经过了足够多次的共同工作、每次都是同一批人，到了某一刻，团队「成了」一个团队，这时

候，即使把外面逼着大家合作的条件撤掉，团队也不会散。这个「到了某一刻」，就是阈值。

阈值是不是真的存在，是一个可以被推翻的预测。如果实验里，集体层的响应是随着一致性平平地、线性地上升，没有拐点，那么本书的这一条就要收窄（第 37 章的致命条款其三）。

◆ 七、「显出来」，不是「本来就在」

章题说，个体是显出来的。你可能会想：是不是说，个体本来就藏在那里，现在才被我们看见?

不是。

水在零度以下结成冰。在零度以上，你问「这里面有没有冰」，答案是没有。不是冰藏在水里，我们看不见，而是它那时候还没有。

过了某个点，冰才有。过了以后，它不依赖你怎么看。你闭上眼睛，它还是冰。

个体的显出来，有一点像这样：低于下限，那一层没有个体这回事，问「它是不是一个」，没有答案。越过下限、站稳了以后，才有「它是一个」这个事实，而且这个事实，不依赖谁去数。

要说明，这只是一个类比。冰是物理的相变，个体是谱系上的事，细节不同。本书借它，只为说明一件事：「显出来」，是从没有到有。

这就是为什么，这一章要看的不是「现在像不像一个」，而是「撤掉以后还在不在」。

◆ 八、下限在哪里：一条要画出来的曲线

讲了半天「下限」，你会问：它到底是多少?

本书的回答是：不知道，而且不打算猜一个数。

原因有两个。第一，下限很可能随体系不同而不同。一团衣藻的下限，和一团酵母的下限，不会是同一个数。第二，一个预先说好的数，反而会让试验变成「凑数」。

本书要的是一条曲线。横轴是记账一致性，一组一组地调，从低到高。纵轴是撤掉外加的口以后，回弹的系数。每个点，要有足够多的重复。

如果曲线是一条平滑的斜线，一致性每多一点，回弹就少一点，那么没有下限，这一章的核心要收窄。

如果曲线在某个位置，突然折下去，回弹从很大掉到接近零，那个位置，就是这个体系的下限。

这条曲线画出来之前，「下限」只是一个预言。画出来之后，它是一个读数。

◆ 九、它可能错在哪里

一个判据，要写明自己怎么会错。这一章的核心，有三个地方可能出问题。

第一，不回弹，也许是别的原因。

集体撤了外加的口以后没有退回去，原因可能不是「它成了个体」。也许是它早已适应了实验室的环境，也许是培养液对这种团块天然有利。所以必须有对照：同一批材料，一部分继续留着外加的口，一部分撤掉；再用另一种环境重复。只有撤口那一组独自不回弹，才好说是个体性的作用。

第二，回弹可能很慢。

有些体系，撤口之后十几代都看不出变化，几十代以后，作弊者才慢慢长起来。如果只看十几代，会得出「不回弹」的结论，看得再久一点，又变了。所以，「足够多代」是多少，要在试验前登记，登记以后，也要多留一个观察期，看看有没有迟来的回弹。

第三，下限可能不是一个点，是一片区域。

在区域里，有的重复回弹，有的不回弹。这时候，应当如实报告比例，不要硬定一个数。

这三处，都已经写进了第 37 章的设计。写进去的意思是：如果结果不是这样，本书认账。

◆ 十、留一个伏笔

最后，要留一个伏笔，给第 37 章。

假设有一天，实验做出来了：越过了阈值，持续了足够多的代数，撤掉外加的记功口，集体层的性状还是回弹了，而且回弹系数显著大于零。

这时候该怎么办?

按本书事先写好的条款：撤回「不回弹即个体」与「个体是显出来的」的核心命题。这不是客气话，是预先登记的。

也就是说，这一章讲的所有东西，都押在一场尚未做的实验上。本书写到这里，要老老实实告诉读者：这是一个可以被推翻的命题。

◆ 十一、两个班并成一个班

陈老师年轻时，遇到过一件事。

有一年，县中学里有位老师调走，没有人接，两个小班合成了一个班。两边都是二十八个学生，原来各有各的班主任、各的值日表、各的圈子。

校方安排了一个办法：每周两次，座位打乱重排，两边的学生，一定要坐在一起。

头一个月，学生抱怨连连。不过到学期末，大家坐熟了，传话、借笔记、一起值日，两个圈子开始搅在一起。

第二个学期，这个安排被撤了，座位随便坐。

陈老师留意了几天。有的学生又坐回原来的堆里，有的没有。到了第二年，座位随便坐，几乎看不出原来分过两边。毕业那天拍合影，没有人记得哪一排是原来的哪个班。

她后来跟阿远说起这件事，只说了一句：「那学期要是没撤，也许后来就不一样。」

这是日子里的一个类比，不是证据。班级不是谱系，学生也不是细胞。可是它让你看到一件事：撤掉那个外加的安排，是回弹，还是不回弹，取决于它已经撑了多久，以及撑的时候，有没有真的把两边混成了一边。

这正是「一致性乘以代数」的日子版：混得多，撑得久，撤掉才站得住。

◆ 十二、放回日子里

后来，阿远回老家，三家人聚在院子里吃年夜饭。

三张桌子拼在一起，三家人坐在一起，孩子们跑来跑去。奶奶坐在中间，看着满院子的人，笑着说：「看，这不是又合在一起了吗？」

大伯说：「妈，您别说了，一年就合这么一次。」

小叔说：「平时各家各户，谁还管谁。」

阿远在旁边听着，忽然意识到，这顿饭，是一道外加的口：过年的这个习俗，把三家人暂时拢在了一起。平时，这道口撤掉了，三家人立刻又各是各的。

「回弹系数，」他心里默默地想，「差不多是 1。」

他把这件事讲给陈老师听。陈老师笑了，说：「那你们家是没越过阈值。」

阿远说：「是，三家人不是一个个体。」

你也可以试试。看一个你熟悉的集体，一个家，一个小组，一支球队，想一想：把外面逼着它合在一起的条件撤掉，它还在不在？

> 带走的话
>
> **个体不是先有的，是账记够了、拆也拆不回去的那一刻显出来的。◆**

> 小 账
>
> 拆了什么：拆了「关口被内化」是个体性判据的说法，也拆了「记账一致性不过是亲缘度换个名字」的疑问。
>
> 立了什么：立了一致性下限与不回弹的个体性判据，并给出亲缘度相同而记账一致性不同的克隆混合创始，以及阈值的形状。

第 19 章

功能是记出来的

沼泽人、Millikan 的来历论、Cummins 的角色论与组织论之外的第四种

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：捡到一样东西，不知道它是干什么的，却一眼觉得它「应该」是干什么的。

陈老师有一天在阳台上，看着阿远发来的那张蛋白结构图，又问了一个问题。

「你那个蛋白，从来没有祖宗，」她说，「它的『功能』，是从哪一天开始的？」

阿远想了想：「从我们测出它能结合那个分子的那一天开始。」

「在那之前呢？」

「在那之前，它在计算机里。」

「在计算机里的时候，它有功能吗？」

阿远说：「它有结构，有结合的可能。」

「可能，」陈老师说，「还不是功能？」

阿远沉默了一会儿。他发现，自己在日常工作里天天说「这个蛋白的功能是什么」，可是被追问一句「功能是什么」，竟然答不上来。

这一章，就从这个追问开始。

◆ 二、沼泽人落了地

先讲一个思想实验。

美国哲学家唐纳德·戴维森（Donald Davidson）在 1987 年的一篇文章里讲了一个故事〔待核〕。

一个人走在沼泽边，被一道雷劈死了。同一时间，另一道雷击中了沼泽里的一棵枯树，纯属偶然地，树里的分子重新组合，形成了一个和那个人一模一样的东西：每一个原子的位置都一样，身体、大脑、记忆的结构，都一样。这个东西站起来，走回那个人的家，开始过那个人的生活。

这就是「沼泽人」。

戴维森想问的是，这个沼泽人有没有思想，他的词有没有意思，他的「认出」朋友，算不算真的认出。戴维森的结论，大意是：沼泽人没有历史，所以他的词语，缺少一种使之有意义的来历。

在哲学里，这个思想实验被广泛借用，包括用在功能的问题上：沼泽人的心脏，有没有「泵血」的功能？它在泵血，但它没有来历：它不是一代代泵血的心脏的后代。

几十年里，沼泽人只是一个思想实验。因为在自然界里，没有这样的东西：一切有功用的结构，都有祖先。

现在，它落了地。

在它落地之前，其实有过两个半步。

第一步在 2003 年。美国的贝克（David Baker）组设计了一个叫 Top7 的蛋白，它的折叠方式，在天然蛋白里没有见过〔待核〕。这件事当时的意义，在于证明「形状可以被设计出来」。没有人说它有什么功能。它有形状，没有用处。

第二步在 2010 年前后。一支团队造出了一个细胞，基因组是人工合成后移进去的〔待核〕。它让「合成」这件事有了先例。不过那个细胞的壳子是现成的，有祖先，所以它不是沼泽人，只是换了遗传的老细胞。

2024 年的诺贝尔化学奖，一半给了蛋白质设计，一半给了结构预测。到了这个时候，「设计出自然界没有的、而且有用的蛋白」，已经是实验室里常做的事。

于是，才有了一个真正的沼泽人：有形状，有效果，没有祖先，没有任何一条谱系是它的来路。

阿远实验室里的那个蛋白，从来没有祖先。它由 AI 提出，在计算机里「折」出一个形状，再被细菌表达出来。它有效果（能结合一个分子），但它没有来历：不是任何一个蛋白的后代。它是第一批真实的沼泽人。

◆ 三、三种功能论

生物学和哲学里，关于「功能」是什么，有几种有影响的说法。每一种，都值得先还公道。

第一种：来历论。美国哲学家露丝·米利肯（Ruth Millikan）在 1984 年的《语言、思想与其他生物范畴》里〔待核〕，提出了功能的「来历论」（也叫病因论、选择论）。意思是：一个东西的功能，是它的祖先因为做了这件事而被选择留下来的那件事。心脏的功能是泵血，因为祖先的心脏，正是因为泵血，才让它们的拥有者留下了更多后代。

这个说法很有力量。它回答了一个关键的问题：功能和「碰巧产生的效果」有什么区别？心脏会发出「扑通扑通」的声音，但这不是它的功能，因为没有哪一代心脏，是因为发出声音而被选择的。

来历论还有一个更硬的长处：它能讲「出错」。

一颗天生有缺陷的心脏，泵不动血。来历论说，它的功能仍然是泵血。因为它的祖先正是因为泵血才被选中的，这颗心脏是这条线的一份子，它「应该」泵血，只是没做到。

这一点，只有来历论讲得干脆。角色论说，它现在泵不了血，所以它没有这个功能。来历论说，它有，只是坏了。

你在医院里听到「功能衰竭」「功能不全」，用的就是这种说法。

按来历论的说法，沼泽人的心脏没有功能：它没有祖先，没有被选择过。许多人觉得这个结论反直觉。可它是这套理论的自洽推论。

第二种：角色论。美国哲学家罗伯特·卡明斯（Robert Cummins）在 1975 年的「功能分析」一文里〔待核〕，提出了另一种说法：一个东西的功能，是它在一个

更大的系统里所起的作用。你要解释一个系统怎样完成某个能力，就把它拆成几个部分，每个部分对这个能力的贡献，就是它的功能。心脏的功能是泵血，因为在循环系统里，它的作用是把血推出去。

这个说法的好处，是不必追溯历史。沼泽人的心脏，在沼泽人的身体里，同样泵血，所以有功能。它也适用于人造的东西：一个螺丝钉，一个蛋白，一个基因回路。

这个说法的难处，是太宽松：只要你定义了一个系统，选了一个能力，系统里的任何一个部分，都有「功能」。心脏的「扑通」声，在医生听诊这个系统里，也有功能。

还要说它完全成立的条件：当你要解释一个系统做成了某件事，角色论正好合适。

阿远每天在实验室里说的，大半是这种话：这一段是启动子，这个蛋白是切割用的，这个回路是用来产生荧光的。这是工程语言，也是生理学的语言。系统是人定的，能力是人选的，部分的贡献，是人拆出来的。在这种场合，角色论毫无问题。

它出问题的地方，只在你想把这个「功能」，当成这个东西自己的属性、跟着它走的时候。

第三种：组织论。莫西奥（Matteo Mossio）、萨伯里多（Cristian Saborido）和莫雷诺（Alvaro Moreno）在 2009 年提出了功能的「组织论」〔待核〕。意思是：一个东西的功能，是它对维持这个有机体自己的组织，所做的贡献。心脏的功能是泵血，因为泵血维持了身体的各个部分，包括心脏自己。

这个说法，与本书第 4 章的有机体派一脉相承，抓住了生物的一个要紧特点：功能是一种自我维持的贡献，它不是外面强加给东西的标签。

这个说法有一道门槛：只有处在「自己维持自己」的组织里的东西，才谈得上功能。莫西奥等人的意思大致是，一个部分要算有功能，它得是被整体造出来的约束，又反过来帮整体维持这些约束〔待核〕。一块掉进细胞里的沙粒，也许对细胞有点作用，但不是功能。

这里的自维持，说的是组织怎样闭合，不是感觉。自维持不等于意识。

这三种说法，各有各的长处。来历论回答了「为什么是这个功能」；角色论回答了「它在系统里做什么」；组织论回答了「它为谁而做」。

◆ 四、第四种：记出来的功能

可是，三种说法，遇到阿远的蛋白，都会卡住。

来历论说：它没有祖先，没有功能。

角色论说：它在这个实验里结合了一个分子，有「功能」。不过这个「功能」，是由实验设计者指定的，换一个实验，就是另一个。

组织论说：它没有对任何自维持的组织做贡献，也没有功能。

三种说法，三种答案。这是一个有意思的现象：这个蛋白，把三种说法之间的分歧，一下子摆在了桌面上。

本书提出第四种。

> **功能不由来历定，由记账定。**

意思是：一个东西的效果，只有被某一道记功口，记到某一条谱系名下，才成为这条谱系的功能。

这句话要慢慢读。

先看来历论。来历论说，功能要看祖先。本书说，看祖先，是因为祖先的账记过：祖先心脏的泵血，被记功口记到了那条谱系上，它的拥有者因此留下了后代。来历论是记账论的一个特殊情形：账是自然选择记的，记的是祖先。

再看角色论。角色论说，功能是它在系统里的贡献。本书说，贡献是真的，但要成为「功能」，还要有一个账户来承接这份贡献。没有账户，贡献只是一个效果。

再看组织论。组织论说，功能是对自维持组织的贡献。本书说，这很对，一个自维持的闭合，是一种账户；但账户不只是自维持的闭合，一个细胞团、一条品种、一条被育种者记着的谱系，也可以是账户。

所以，记账论没有推翻前三种，它把它们放进了同一个框架里：**一个效果，只要被某道记功口，记到某条谱系名下，就成了这条谱系的功能。**

这样，再回到阿远的蛋白，就有了一个清楚的回答。

陈老师问：它的「功能」是从哪一天开始的?

答案是：从有一道记功口，把它的效果记到某条谱系名下的那一天开始。

比如，某个团队用这个蛋白，做成一种酶，用在一条生产线上，这条生产线的细菌培养，每一代都带着这个蛋白，并且是因为这个蛋白的效果，才被保留。从那一天起，这个蛋白，就在一条谱系里有了自己的位置，它的效果，就是这条谱系的功能。

在那之前，它有结构，有效果，但没有功能。

有人会反对：那么，一个人造的酶，一个药用的蛋白，是不是永远没有功能?

不是。它可以有功能，只是这个功能，要由某一本账来记。

一个新药的蛋白，被写进了生产线、药典、一代代的生产批次里，每一批都是因为它的效果才被保留，它就有了账。这本账，持有者是人，是有利害的守门者。它的功能，是「被人记上的功能」，和驯化出来的功能，是同一类。

所以，不是没有功能，而是要问三件事：这个功能在哪一本账里，账的持有者是谁，撤掉这个持有者它还在不在。这三问，前面已经问过。

◆ 五、同一个效果，换一本账，功能就换

记账论还有一个推论：同一个效果，记到不同的名下，功能就不同。

鸟的羽毛是一个常被举的例子。一种说法认为，早期的羽毛，也许与保温或展示有关，后来才被用在飞行上〔待核〕。古尔德和弗尔巴（Elisabeth Vrba）1982 年专门造了一个词，叫「外适应」，讲的就是这类转用〔待核〕。

羽毛能产生升力，这个效果，也许早就存在。可是它成为飞行的功能，要等到有一条谱系，因为这个效果而被保留下来，被记在了这个名下。

换句话说，效果是原来的，账是后来换的。账一换，功能就换了。

阿远的蛋白也是这样：同一个结合效果，写在实验记录里，是一个效果；记到一条培养线上，才是功能。

◆ 六、怎样查：这个效果，有没有被记成功能

说「功能是记出来的」，不能只是一句话。要查它，有三步。

第一步：看有没有谱系。这个东西，是不是在某条一代代传下去的线上。没有线，就谈不上功能，到此为止。

第二步：看这条线的保留，是否依赖这个效果。这是最关键的一步。办法是做对照：同一条线，一组保留这个效果，一组把它去掉，各养许多代，看哪一组被留下的比例高。如果去掉效果，线照样被保留，那这个效果就只是一个附带的效果，不是功能。

第三步：看谁在记。是自然选择，是配偶，是宿主，或者是人。持有者不同，这个功能的性质也不同。

三步之中，第二步最容易被漏掉。许多故事讲到「它有这个效果，所以它是为这个」，就停了。没有对照，就没有第二步。

这和第 15 章讲过的拱肩，是同一个提醒：看见一个效果，不要马上说它是功能。

◆ 七、一个下午，三个答案

那个星期，阿远在实验室里，把陈老师那一问，拿去问了三个人。

「这个蛋白的功能是什么？」

同组的师兄头也没抬：「结合那个分子，结合强度你不是测过吗？」

导师想了想：「我们当初要的就是这个结合，所以算它的功能。不过有一点要注意，写论文别写成『天然功能』。」

另一个实验室来合作的人，看了看结构图：「我们想把它放到我们的菌株里，让它去干另一件事，结合只是第一步。」

三个答案，没有一个错。

阿远回去，把三句话写在本子上，旁边画了三个小框：师兄在算一个效果，导师在定一个用途，合作者在想一条线。

他忽然觉得，陈老师那一问，不是要一个答案，而是要他分清：这三个人说的，是三本不同的账。

◆ 八、阿远本子上的那张小表

阿远后来把本子上的三个小框，整理成了一张表。你也可以照着画：

谁在说	说的是什么	记在哪一本账	有谱系吗
师兄	它能结合那个分子	实验记录，一个效果	没有
导师	我们要的就是这个用途	课题的目标，人定的用途	没有
合作者	放进我们的菌株里做别的事	一条尚未建立的培养线	还没有，但有可能

三行里，只有第三行，指向一条谱系。前两行都是有用的话，却不是功能的话。

这张表不替任何人下结论。它只是让你在听到「这个东西的功能是什么」的时候，先问一句：这句话，是在说效果、用途，还是一条线?

◆ 九、无主之功

在这里，要第一次给一个现象起名字。

阿远的蛋白在被记到任何一条谱系之前，处于一种状态：**效果真实，却没有任何谱系靠它持存**。

本书把这种状态，叫作**无主之功**。

它不是一个贬义词。无主，不是说没有人关心它，也不是说它没有价值。实验室里的人可能很在意这个蛋白，它的效果可能很有用。无主，说的是：它没有一条被记着的谱系，靠它而延续。

用日子里的话讲：一个人捡到一笔钱，钱是真的，但还没有人认领；这笔钱有用，但没有户名。

还要补一句：无主之功是常态，不是例外。

AI　　流程一次提出成千上万个候选，被拿去做实验的，只是排在前面的一小部分，被带进一条长期培养线的，又只是其中的极少数。绝大多数候选，只是列表里的一行字。

所以，这一章里的蛋白，只是被挑出来讲的一个。它的特别之处，不在有多厉害，而在它让一个原来只存在于哲学课上的问题，有了一个可以放在显微镜旁边的实物。

这个概念，到第 31 章会完整讲，那里要讲它带来的危机与治理。在这一章，先给出名字，并且把它的位置摆清楚：它是沼泽人落了地。

还要避开一个容易混的词。生物学里已经有「孤儿基因」，指在别的物种里找不到同源的基因。

孤儿基因有谱系，它在所属的物种里一代代传，只是暂时没找到亲戚。无主之功不是这个。无主之功说的是：连谱系也没有的那种形式。

还有一点要说明：本书说的无主之功，是效果真实的一种状态，不是一个永久的标签。一旦某道记功口，把它的效果记进某条谱系，它就不再「无主」。

◆ 十、放回日子里

阿远后来跟陈老师说：「我想，我们组里已经有人在做那件事了。」

「哪件事？」

「给这个蛋白找一个『家』。」阿远说，「有一个合作团队，想把它放进一个菌株里，做一条长期培养的生产线。要是成了，这个蛋白，就会一代代传下去。」

陈老师说：「那它就有了户口。」

「是。」

「那到那时候，它的功能，算谁的？」

阿远想了想：「算那条生产线的，算那个菌株的。」

「那不算你的?」

阿远笑了:「我只是个提出候选的。」

你也可以试试。下次你看到一个工具、一个习惯、一个传下来的做法,想想:它的「功能」,是谁的?是谁让它留下来的?

这一章落在记账一致性上。功能不是看效果,是看这个效果被记到谁名下,记了多少代。同一个效果,一代一个户名,叫偶然;一直记在同一个户名下,才叫功能。沼泽人没有功能,是因为它没有任何一代的账。

> 带走的话
>
> **有效果不等于有功能,被记到谁名下才是。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么:拆了「功能由来历决定」的说法;沼泽人落了地,说明有效果而无来历的东西,三种功能论各有各的答案。
>
> 立了什么:立了第四种功能论——功能由记账定;并第一次给「无主之功」命名。

第 20 章

意义层在生物学里显成什么

新形式、可演化、繁盛与三界

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一盆花养了很多年，你忽然发现，它不只是活着，它还在长出你没见过的样子。

陈老师家阳台上，有一盆吊兰。这盆吊兰不是买来的，是十几年前一个邻居给的一小段，插在水里生了根，栽进盆里，后来每年抽出匍匐茎，长出小苗。她把小苗剪下来，一株株扦插，送了不少人。如今这盆，已经是第三代。

那天阿远来，她指给他看：「你看这一株，叶子边上有一圈白边，上一代没有。」

阿远凑近看，果然，叶缘有一道浅色的条纹。

「它不光活着，」陈老师说，「它还在长出没见过的样子。」

阿远说：「这是突变吧。」

「是突变，」陈老师说，「可是你看，它不是长出来就完了。我把它剪下来，种下去，它就带着这道白边，往下传了。」

阿远听着，忽然觉得，这句话比他实验室里的任何一个概念都准。长出新的，是一件事；新的能留下来，是另一件事；留下来以后还能继续长出更新的，是第三件事。

这一章要讲的，就是这三件事，在生物学里，各是什么样子。

◆ 二、新形式、可演化、繁盛

前面第 15 章说过，生物学并不是没有「为了什么」，它是把「为了什么」当成目的论赶了出去。本书把「为了什么」，叫作**意义层**，并且说它在生物学里有三个样子：创造、自由、幸福。

现在，把它们落到生物学自己的话上。

创造，显成「新形式」。意思是：前所未有的形式，进入了谱系。注意，是「进入谱系」，不是「冒出来」。一个突变冒出来，如果没有被留下，就消失了，它不算新形式。新形式要被记到某条谱系名下，才算。

吊兰叶子上的白边，如果那株小苗没有被剪下来插下去，它就消失了。是陈老师的剪刀和花盆，让它进入了一条谱系。

实验室里也有这样的例子。伦斯基实验里，大肠杆菌在含有柠檬酸的培养液中，经过三万多代，其中一支谱系忽然能够把柠檬酸当食物〔待核〕。这个本事，之前整个种群都没有。

它是一个新形式吗？按本书的说法，要看它有没有被记进一条谱系。这一支能用柠檬酸的细胞，后来被一代代保留，成了一条稳定的线，所以它进了谱系，算新形式。

如果那几个细胞，只是偶然冒出来，又被稀释掉了，它们就只是一次突变，不是一个新形式。

自由，显成「可演化」。意思是：谱系保留着变出新东西的余地。

1998 年，美国生物学家马克·克施纳（Marc Kirschner）和约翰·格哈特（John Gerhart）发表了一篇讨论「可演化性」的文章〔待核〕。他们的意思大致是：有些生物的结构，比另一些更容易产生可以存活的变异。比如，如果一个生物的身体是由一些相对独立的模块组成的，那么，改变其中一个模块，不会让整个身体崩溃，变化就容易发生。这种「容易变得出新东西」的性质，是可以被演化出来的。

他们列出的几样东西，大意是：基本的做法被许多生物共用，不必每次从头发明，这叫保守；各部件之间的联系比较松，改一处不会牵动全局，这叫弱联系〔待核〕；身体由相对独立的模块拼成，一个模块可以单独变〔待核〕。

可演化性的另一面，是它不是处处一样大。几乎所有哺乳动物的颈椎，都是七节：长颈鹿七节，老鼠也是七节，只有少数几种例外，比如树懒和海牛〔待核〕。别的地方，哺乳动物的身体变了无数样；唯独这一处，几乎不动。

所以，「可演化」说的不是处处都能变，而是总体上还留着变的余地，而且这个余地分布得不均匀。

本书把可演化，叫作「自由」：不是意志的自由，而是一条谱系「能往哪里去」的余地。

幸福，显成「繁盛」。意思是：谱系在三界里，都有位置。

这里先不展开三界（后面一节讲），先说一句大白话：一条谱系只是活下来、人口众多，还不是繁盛。繁盛是说，它在各个地方都站得住：可能的样子里有它，实际的世界里有它，它自己的位置也有它。

还要说清楚一件事：这里的「幸福」，在生物学里只降到「繁盛」这一层意思，不涉及任何快乐或痛苦的感受。一株草没有幸福不幸福，它只有站得住或站不住。感受的问题，不在本书范围，属于别的卷。

有一个常见的误会，要先清掉：繁盛不是「进步」。

谱系兴旺，不等于它变得更高级。有的谱系几亿年几乎不变，仍然兴旺；有的谱系越变越复杂，却很快断了。古尔德在一本关于生命演化的书里，反复提醒读者不要把「出现了更复杂的东西」，读成「演化在朝着复杂走」〔待核〕。

本书说的繁盛，只问一件事：这条谱系，在三界里有没有站住的位置。它不问谁更高。

这三样，不是只能说说，都有办法量。

新形式，数的是单位代数里，进入谱系并且稳住了的新型有几个。

可演化，看的是谱系里保留着多少可遗传的变异，以及遇到同一种压力时，它回应得有多快。

繁盛，看的是这条谱系在不同环境下的有效群体大小，而不只是总数。后面要讲的荷斯坦奶牛，就是在这一项上露出了底。

◆ 三、三句硬话

在别的学科里，意义层的三个样子，有三句话，说它们缺一不可。放到生物学里，这三句话，是这样的。

没有自由的创造，是苦役。

例子：只出新品种，不留余地。现代农业里，一个常见的做法是：育种者不断培育出产量更高的新品种，推向田间；农民很快都种这一个品种。每一年都有「新」，不过各品种之间的遗传差异越来越小。新的东西不断进入，但整个体系的变异余地却在缩小。创造在继续，自由在消失。

这就是苦役：每一年都得推出下一个新品种，才能维持产量，因为整个体系已经没有别的路了。

自然界里，也有类似苦役的东西，常被叫作「红皇后」。

名字来自《爱丽丝镜中奇遇》里的红皇后，她说，你得拼命地跑，才能留在原地。范瓦伦（Leigh Van Valen）1973 年用这个比方，讲生物之间互相追赶：捕食者变得更会捉，猎物就得变得更会逃，双方都在变，却谁也没有赢〔待核〕。

按本书的读法，这像是创造不断、余地却不增加的一种局面：新形式一个个出来，是为了维持原来的位置。这只是一种读法，不是对红皇后的定论。

没有创造的自由，是空转。

例子：一个谱系保留着大量的变异，却被一套严格的筛挡着，没有一个新形式能被留下来。变异是有的，余地是有的，却没有一样东西能够进入谱系，成为新的形式。

这样的情形，在自然界里并不多见，更多出现在人为的管理里。比如，某些保种项目，花很大力气保存了大量的品种，却没有让它们进入任何实际的使用。变异的库存是满的，却没有一个新东西从里面长出来。

没有创造与自由的幸福，是麻醉。

例子：一个物种或品种，个体数量极多，看上去很兴旺，却没有新形式，也没有变化的余地。

荷斯坦奶牛，是世界上最常见的奶牛品种之一，全球有几千万头，产奶量惊人。不过，据遗传学研究的估计，这个品种的「有效群体大小」很小，远远小于它的实际数量〔待核〕。数量多，是因为人在记账的时候，只记了「产奶量」这一行。数量是繁盛的样子，却没有创造，也没有自由。

这三句话，是本书借自这个系列的共用口径，放到生物学里，各配上了例子。它们的意思是：意义层的三个样子，要同时有，才算健康。缺了哪一个，都会变形。

这三句话，也互相牵着。只出新形式，不留余地，是苦役。留着余地，没有新形式，是空转。数量很多，既没有新形式，也没有余地，是麻醉。

三样东西，缺哪一样，都不是故障，而是一种变形。谁都可以在自己的田里、家里，看到其中一种。

◆ 四、那一盆，又长回了绿

几个星期以后，阿远再去陈老师家，吊兰里多了一件事。

那盆带白边的吊兰，有一个芽，整片叶子都是绿的，一圈白边也没有。

「又来了，」陈老师说，拿起剪刀，把那个芽齐根剪掉。

阿远问：「它自己长回去了？」

「白边吊兰不稳，」陈老师说，「放着不管，绿的长得快，几年以后，满盆都是绿的。我每年都要剪。」

这是园艺人家都知道的事。带白边的叶片，据说是一层带色的细胞和一层不带色的细胞叠在一起的结果，绿色的芽一旦从里层冒出来，就容易压过白边〔待核〕。

阿远看着剪刀。他想起一件事：这就是一道记功口，在每年的春天，由陈老师握着。她剪掉绿芽，白边这一线才被记进下一年。

如果她哪一年不剪了呢?

「那就退回去了，」陈老师说，「你看，这白边不是长出来就算数，得有人一年一年地记。」

按本书的话，这是一个小小的回弹：撤掉修剪，性状往回退。

放在三句硬话里看，这盆吊兰还有一个提醒：创造出来的新形式，如果没有记功口守着，可能留不住。

◆ 五、真守、善推、美聚

在三个样子之外，生物学里还有「好不好」的一层：价值层。本系列第 255 号《SDE价值发生学》已经完整讲过价值的三股劲：真、善、美，是怎样发生的。本书不重讲，只给出生物学里的操作定义。

真守：复制保真。

注意，这里的「真」，不是「测得准」。测得准，是实验者的事；真守，是谱系把形式守住。一段 DNA 被复制时出错的概率极低，细胞里还有校对和修复的机器，这套机器，让一条谱系的形式可以稳定地传下去。真守，是谱系自己的功夫。

这里有一个小数字。大肠杆菌复制一次 DNA，加上校对和修复，每个碱基出错的机会，大约在十亿分之一到百亿分之一之间〔待核〕。这个数很低，所以谱系可以守住形式。

不过，真守不是越高越好。如果守得绝对一丝不差，就没有变异，没有变异，就没有新形式，也没有可演化。后来的研究者提出，选择能把出错率压到多低，有一个由种群大小决定的界限，再低就压不动了〔待核〕。所以，真守是一个在「守」和「变」之间落下来的值。

善推：交换互不吃亏。

指的是一个有机体与它的环境、共生方之间的交换，双方都不吃亏。线粒体和细胞的关系，是一种高度成熟的善推：线粒体得到稳定的住处和养料，细胞得到能量。宿主制裁不合作的共生菌，是它的边界与反例：交换如果有一方吃亏，另一方就要出手。

另一个常被讲的例子，是植物根上的菌根真菌。植物把光合作用得来的碳，送给真菌；真菌从土里吸来磷，送给植物。有一项研究报告，植物会把更多的碳，给提供更多磷的那一类真菌〔待核〕。

这里有一道很清楚的记功口：植物在决定，哪些真菌的账，记得更多。交换如果有一方吃亏，另一方就调整。这就是善推的边界。

美聚：被选中的吸引。

第 11 章讲过：性选择，从达尔文，经费希尔，到普鲁姆。被选中的吸引，是一股独立于「保留」的劲。

三股劲彼此不能替代。第 34 章会专门算这笔账。

美聚，有一个很直观的例子：园丁鸟。雄鸟用树枝搭一个凉亭，再摆上颜色鲜明的小物件，比如蓝色的东西，雌鸟来挑。凉亭本身没有任何生存用处。

雌鸟挑中谁，下一代就记在谁名下。美聚在这里，是实实在在的一股劲，不是「保留」的另一种说法。

◆ 六、三界与显出来的方向

最后，要把「三界」说清楚。

本书把任何一种属性的发生，放在三界里看：**理念界、现实界、自我界**。

理念界，是「可能的样子」：一个设计，一种想法，一个还没有出现的形式。

现实界，是「实际发生的事」：可以测的，可以查的，有谱系可追的。

自我界，是「被一个自己认领的」：落在一个有自己位置的主体身上的。

放到生物学里：

新形式，主要落在**理念界**：它是一个「前所未有的可能」，进入谱系之前，它只是一个可能的样子。

可演化，主要落在**现实界**：它是谱系实际保留着的、可以去测的变异余地。

繁盛，主要落在**自我界**：它说的是，一条谱系在各处站得住，它有自己的位置。

这里要特别声明一次：自我界不等于意识。本书说的「自我界」，在生物学里，只是说「这条谱系，作为一个账户，有它自己的位置」。一株草，一条谱系，不需要有意识，才能「繁盛」。

那么，显出来的方向，是什么?

一个形式，往往是从理念界，经过现实界，走到自我界的：先是一个可能，然后是一个实际，然后是一个有位置的存在。吊兰叶子上的白边，先是基因里的一个突变（可能），然后被剪下来种下去（实际进入谱系），然后成了这盆吊兰「自己的样子」（有位置）。

把前面几节压成一张小表，方便你查：

意义层	生物学里显成	主要落在	怎么量
创造	新形式	理念界	单位代数里进入谱系并稳住的新型数
自由	可演化	现实界	谱系里可遗传的变异量，对同一压力的回应速度
幸福	繁盛	自我界	不同环境下的有效群体大小

表里的「主要落在」，只是说侧重，三样东西在三界里都有影子，不是各管一界。

这个方向，不是铁律。也有倒过来的：一个存在，在自我界里站稳了，反过来改变了现实界里的环境，又打开了理念界里新的可能。这就是回写，第 32 章要讲。

◆ 七、阿远的蛋白，走完这三界了吗

把三界读成一条路，可以拿阿远的蛋白走一遍。

在计算机里，它是一个提出来的形状，是**理念界**里的一个可能。

在管子里，它被表达出来，有了效果，进了**现实界**。可以测它结合了什么，测它折得稳不稳。

要进**自我界**，还差最后一步：某条谱系把它认作自己的一部分，它在这条线上有了位置。这一步没有发生，所以它停在中间。

这和前一章讲的无主之功，是同一件事的两种说法。从三界看，它是只走完了前两界；从账看，它是还没有账户。

要说明，这不是在评价这个蛋白。很多东西，永远只走前两界。停在那里，没有错，只是还没被记。

◆ 八、三样东西，不同时到

最后要说一件容易被忽略的事：这三样东西，常常不是同时到的。

一个新形式刚进入谱系的时候，个体很少。伦斯基实验里那支能用柠檬酸的细胞，开始时只是整个种群里极小的一支〔待核〕。它是新的，但还谈不上繁盛。

反过来，一个很兴旺的类群，也许已经很久没有新形式。

所以，用这三样东西读一条谱系，要问的不是「三样齐不齐」，而是「现在缺的是哪一样，缺了多久」。缺的位置不同，要补的东西也不同。

◆ 九、放回日子里

那天阿远走的时候，陈老师剪了一小段吊兰，用湿纸巾包好，让他带回去。

「插在水里，」她说，「十天以后就生根。」

阿远拿着，回到宿舍，找了一个旧玻璃杯，插了进去。

过了两周，根长出来了，白白的，细细的。他把杯子放在窗台上，看着那一小段兰草，忽然想起一件事：这一株，有叶缘的白边吗？

他对着光看了看。有。

他给陈老师发了一条消息：「带白边的，传下来了。」

陈老师回：「那是你记上的。」

你也可以试试。扦插一盆植物，传给朋友；或者留一颗好吃的水果的种子，种下去。看着它长出来，问一句：这一个，是谁让它留下来的？它有没有可能长出别的样子？

带走的话

生命不只要活下去，它还在问「接下来能长成什么」。 ◆

小账

拆了什么：拆了「生物学里没有『为了什么』」的说法，把意义层落到三个可以看的样子：新形式、可演化、繁盛。

立了什么：立了三句硬话在生物学里的例子，以及真守、善推、美聚的操作定义，和三界里显出来的方向。

第 21 章

性状是读数

序列、轨迹、频率

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：拿到一份密密麻麻的报告，满纸的数字和字母，你看了半天，却觉得它说的不是你想知道的那件事。

阿远收到了测序公司寄来的结果。一个文件，几百兆，打开是几万行字母：A、T、C、G，一行一行，排得整整齐齐。

他对着屏幕看了很久，然后把文件的一个片段，打印出来，拿给陈老师看。

陈老师戴上老花镜，从头看到尾，看得很认真。过了一会儿，她把纸放下。

「这是脚印，」她说。

「什么？」

「这是脚印，」陈老师又说了一遍，「不是那个走路的人。」

阿远愣了一下。

「你看，」陈老师指着那一串字母，「这个，告诉你什么在这儿，什么时候被读出来了。可是你想知道的，是这条线怎么走过来的，对不对？脚印告诉你有人走过，走得有多深，往哪个方向。但那个人为什么走，要靠别的办法去问。」

这一章，要把生物学里最常见的三种「读数」，一种一种讲清楚。它们都是脚印。

◆ 二、取消一道二分

先要取消一道二分。

生物学里有一个很深的习惯：把一个生物，分成「本质」和「表现」两层。基因是本质，性状是表现。基因型是本质，表现型是基因型在环境里的「显现」。

这个二分，用起来很方便。你可以说：这个人的眼睛是蓝色的，因为他的基因里有某几个变异；这个性状，是那个基因的表现。

不过这个说法，有一个隐含的含义：基因是「在那里」的东西，性状是从它那里「跑出来」的东西。基因是原因，性状是结果；基因是真的，性状是影子。

这个二分，有它的来历。1909 年，丹麦的约翰森（Wilhelm Johannsen）造出了「基因型」和「表现型」这两个词〔待核〕。他要区分的是：一个个体带着的遗传，和它实际长成的样子，是两回事。

这个区分很有用。同样一个基因型，在不同的环境里长出不同的样子；不同的基因型，也可能长成一样。没有这个区分，遗传学几乎没法做。

本书保留这个区分。本书取消的，只是区分背后那层高低：以为基因型是真的，表现型是影子。

本书不这样看。本书说：**序列、表达轨迹、种群频率，都是读数，它们是达尔文过程一路留下的痕迹，不是某个本质的表现。**

什么意思?

意思是：序列，不是比性状更「深」的东西；它也是一种读数，只是读的方式不同。你读到了一段序列，你读到的是「这条谱系在这个位置上，现在是这几个字母」。性状，也是一种读数，你读到的是「这条谱系的这个个体，现在表现出这样的特征」。两种读数，都是痕迹。

痕迹的源头，不在它们任何一个里面，而在那个让谱系发生的过程里：变异、选择、记功。

这是第三编里一个比较抽象的地方。用日子里的话来讲：你在雪地里看到一串脚印，一种读法是，脚印是「人」的表现，人是本质，脚印是现象。另一种读法是：脚印是一条路留下的痕迹，路是怎么走出来的，要看更多别的东西：从哪里来，往哪里去，雪是什么时候下的。后一种读法，不把任何一样东西放在「本质」的位置上。

本书取后一种。

◆ 三、跳：一个字母换了

第一种读数，叫**跳**：序列。

一个碱基换了，就是换了。从 A 变成 G，是离散的，不是「半个 G」。序列这个读数，每一格都是明确的，不是连续的，要么是这个，要么是那个。所以叫「跳」：从一个值到另一个值，是跳过去的。

最著名的例子，是镰状细胞贫血。人的血红蛋白基因里，只要有一个碱基改变（让蛋白质里的一个氨基酸，从谷氨酸换成缬氨酸），就会让红细胞在缺氧的时候变形成镰刀状〔待核〕。一个字母，换了一个性状。

同一个变异，有一个有趣的两面：如果一个人只有一个拷贝，他对疟疾有一定的抵抗力；如果有两个拷贝，则会得严重的贫血。这个例子，常常被用来说明，同一个变异，在不同的情形里，适应度可以差得很远。

这是「跳」的力量：它精确，可数，可复制，可以放在数据库里，去比对。没有这种读数，今天的生物学几乎做不下去。

镰状细胞贫血是一个很干净的例子，因为一个字母就对上了一个性状。不过大多数性状不是这样。

人的身高，是很多个位置各加一点点的结果。有大规模的比较研究报告，与身高有关的位置，要以千计，每一个位置的贡献都很小〔待核〕。读到的每一格，仍然是离散的跳，可是要把它们加起来，才对上一个连续的性状。

所以，「跳」说的是读数的形状，不是说性状也是一跳一跳的。

◆ 四、波：一条曲线

第二种读数，叫**波**：表达与发育的轨迹。

序列是静态的，一份基因组，在一个个体一生里基本不变。可是细胞里发生的事情，是随时间起伏的：某个基因什么时候被打开，打开多久，表达多少，什么时候关上。这是一条曲线，一个波形。

一个很漂亮的例子，是脊椎动物胚胎里的体节形成。胚胎的背部，会按固定的时间间隔，依次长出一节一节的结构，将来变成脊椎骨和肌肉。研究发现，胚胎里有一个「分节时钟」：一些基因的表达，像钟摆一样周期性地起伏，每一次起伏，对应一节新体节〔待核〕。

这是一个典型的「波」：同样的基因，在不同的时间，被读出来的量不同。要理解体节，光知道有哪些基因不够，还要知道它们的表达曲线是什么形状。

再看一个更小的例子。2002 年，埃洛维茨（Michael Elowitz）等人在大肠杆菌里放了两个不同颜色的荧光标记，两个标记受同样的开关控制〔待核〕。如果细胞里的基因表达是严丝合缝的，所有细胞应该亮得一样。

结果不是。基因型完全一样的细胞，亮度各不相同，还彼此参差。这种偶然的起伏，被叫作「表达的噪声」。

同卵双胞胎也是一个例子。刚出生的时候，两个人的序列几乎一样；人到中年，据有人报告，两人身上的化学修饰差别已经明显拉大〔待核〕。

序列一样，波不一样。所以，要读一条谱系的「波」，序列读数是不够的。

英国生物学家康拉德·沃丁顿（Conrad Waddington）在 1957 年的《基因的策略》里〔待核〕，提出了一个著名的图像：「渐成景观」。一个发育中的细胞，像一个球，在一片起伏的山谷里往下滚，最后落在某一个谷底，成为某一种细胞。山谷的形状，由基因网络决定；球滚的路径，就是发育的轨迹。这个图像，把「波」变成了一幅画：轨迹，是一条沿着景观走下来的路。

◆ 五、散：一群里各占多少

第三种读数，叫**散**：种群里各型的频率分布。

不看一个个体，而是看一群：这一群里，有多少是这种性状，多少是那种性状。

最著名的例子，是英国的桦尺蛾。十九世纪中叶以前，曼彻斯特一带的桦尺蛾，以浅色型为主。工业革命以后，煤烟把树干熏黑，深色型的比例快速上升，几十年

里，一度成为多数。二十世纪下半叶，随着空气治理，深色型的比例又下降了〔待核〕。

这条曲线，一头升，一头降，是一个种群的频率随时间的变化。它不属于任何一只蛾，它是一个群体的读数。

这个例子，要补一个提醒。桦尺蛾的故事，在课本里讲得太圆。

二十世纪五十年代，英国的凯特威尔（Bernard Kettlewell）做了放飞和重捕的实验，说明鸟更容易吃到和背景不搭的蛾。后来，有人批评那批实验的方法，比如蛾在野外歇息的位置、放飞的数量〔待核〕。几十年后，另一位研究者（Michael Majerus）又重做了更长时间的观察，大体上支持了鸟捕食的解释〔待核〕。

这个来回，不推翻频率这个读数本身。频率的升降，是实测出来的。被争论的，是读数背后的原因。

这就是读数的本分：它给出的是真的痕迹，它不自动给出原因。

「散」，是群体遗传学最擅长的读数。它用方程描述频率的变化：突变率，选择系数，种群大小，迁移。方程的解，可以和观测的数据对。

◆ 六、读数不带户名

读数还有一个本分，是它不带户名。

阿远那份测序报告里，有几万行字母。它们分别属于谁？哪些是细菌染色体的片段，哪些是质粒，哪些是实验过程里混进来的别的东西？读数本身不说。要另外去比对、去判断。

古DNA研究也是这样。从一块古老的骨头里读出一段序列，读数只告诉你是这几个字母。至于它属于哪一条谱系、是不是后来的污染，要靠别的证据。环境里的DNA，更是如此。把一勺水里的所有片段读出来，哪一段属于哪一种生物，是后一步的工作〔待核〕。

所以，读数一手交给你的是「是什么」，不是「算谁的」。

「算谁的」，要靠谱系追踪、靠记账一致性去另外读。这两本账，是并列的两层。

这也是为什么，本书写到这一章，要把读数摆在一旁：它是痕迹，可靠，可复核，不过它回答的是另一个问题。

◆ 七、先还读数一个公道

读到这里，也许有人会问：既然读数都是脚印，为什么还要花这么大力气去读?

因为脚印，是我们能拿到的最扎实的东西。

没有读数，就没有今天的生物学。序列读出来了，我们才知道病毒怎样变异；轨迹测出来了，我们才知道胚胎怎样成形；频率统计出来了，我们才知道一个物种是在兴旺还是在衰落。读数是生物学最大的成就之一，是它从博物学走向科学的标志。

一个数字可以让你看到这件事的分量。人类基因组的第一份草图，在 2001 年发表，宣布完成是在 2003 年，前后花了十几年和巨大的投入〔待核〕。今天，一台机器几天就能读完一个人的基因组〔待核〕。读数的能力，是这半个世纪里生物学最实在的进步之一。

本书取消的，不是读数，而是「读数是本质的表现」这个二分。读数还是读数，一样硬，一样可复核。只是，它们不是故事的起点。

还要补一句：读数与力量，是并列的两层。读数，是序列、轨迹、频率；力量，是真守、善推、美聚。前者是痕迹，后者是推动痕迹出现的劲。第 34 章会说，这三股劲，都可以去算，而它们算出来的东西，常常恰恰就是读数。

说得具体一点。序列这一格的读数，是真守留下的痕迹：谱系把形式守住了，字母才会一代代对得上。

宿主与共生菌各自表达的曲线，彼此牵着起伏，是善推留下的痕迹：交换互不吃亏，两边的节奏才会对上。

一个群体里某一型的频率偏斜，有时是美聚留下的痕迹：被挑中的那一型，频率会升上去。

三种读数，三股劲。但没有一一对应是铁的。同一个读数，可以是几股劲共同留下的。所以，不要拿一个读数，直接读出一股劲。要先看账，再看痕迹。

◆ 八、读数最常见的三种误读

读数用得多了，容易被读歪。三种读数，各有一种常见的歪法。

跳的歪法：一个字母，一个性状。这是最常见的。除了少数干净的例子，多数性状是很多个字母合起来的结果，再加上环境。

波的歪法：把曲线当作里面装好的时钟。一条曲线，是细胞在某个环境里留下的轨迹。换一个环境，同一组基因，曲线就可能换了形状。

散的歪法：把平均数当作一个个体。一个种群里某个性状的平均值，不属于任何一个个体。平均身高是 169 厘米，你找遍全班，也许没有一个人正好是这个数。

三种歪法，来自同一个习惯：把读数当作本质，把它直接套到一个具体的东西上。这一章要取消的，就是这个习惯。

另外要说明一句：本书讲道理，不替你解读自己的检测报告，也不作诊疗建议。读到这里，如果你手上正好有一份这样的报告，请把它交给能解读它的医生，不要拿本书的话去套。

◆ 九、陈老师的身高本

陈老师有一个习惯，教书那些年，每个学期开学，她都给班里的学生量一次身高，记在一个小本子上。

那天阿远翻出了其中一本。纸页泛黄，一行一行，名字，日期，数字。

「平均线我画过，」陈老师说，「你看。」

她翻到后面，有一张手画的折线图，缓缓上升。

「可是你看这个，」她又翻出另一页，「这是一个女孩，十二岁那年一个学期长了好几厘米。这是另一个，十四岁才猛长。两个人，平均线上谁也找不到。」

阿远看着那两条歪歪扭扭的折线。

「所以平均线是什么?」他问。

「是一个班的影子。」陈老师说,「不是哪一个孩子的。」

阿远没有说话。他想起实验室里同样的事:种群频率的曲线是整体的读数,一个细胞的表达曲线是个体的读数,序列是别的读数。三条线读的是三样东西,放在一起,也不是同一条线。

按本书的话,这三种读数各是一个形状:跳,波,散。每一种,都是痕迹。

◆ 十、读数也有自己的账

取消那道二分以后,说话的方式会变一点。

以前你会说「这个基因决定了这个性状」。现在你更愿意说:「在这条谱系里,这一格读出来是这个,在这个环境里,轨迹读出来是那个。」句子长了一点,可每一个词都能去查。

读数自己也有一本账,每种读数各有各的误差。

跳的账:测序会读错,错多少,有一个出错率;同一个位置读多少遍,才敢相信,有一个覆盖深度。

波的账:曲线是一个一个点连起来的。点取得多密,决定你能不能看见一个短短的起伏。点取稀了,起伏就被漏掉。

散的账:频率是样本里数出来的。样本取得多大,决定那个数可靠到什么程度。十只蛾的比例,和一万只蛾的比例,说的不是同一种话。

先把读数自己的账算清楚,再去谈它背后的东西。这是对读数最基本的尊重。

◆ 十一、放回日子里

陈老师后来说:「我年轻时候教学生,总让他们背『基因型决定表现型』。」

阿远说:「现在还在背。」

「那现在我想补一句,」陈老师说,「基因型和表现型,都是读出来的。读的是同一条路上的两处脚印。」

阿远笑了：「这句话，学生是不是又得多背一句？」

「是，」陈老师说，「可这一句更有用。」

你也可以试试。下次你读到一个体检数字、一个成绩、一个排名，问一句：这是脚印，还是人？

带走的话

测出来的是脚印，走路的那件事要另算。 ◆

小账

拆了什么：拆了「性状是基因的表现」这道本质与现象的二分；序列、轨迹、频率，都是读数。

立了什么：立了读数三种——跳（序列）、波（表达与发育轨迹）、散（种群频率），并分清了读数与力量是并列的两层。

第 22 章

物种是显出来的

差异稳定越过阈值的那一段

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：两个人对着同一样东西，争得面红耳赤，争到最后你发现，他们争的其实是「怎么算同一个」。

陈老师带学生去郊外实习，在一片林子边上，两个学生为一只鸟吵了起来。

那是一种常见的小鸟，羽毛灰褐，肚子浅黄。一个学生翻着图鉴，说这是 A 种；另一个学生拿着手机里的鸟类识别软件，说这是 B 种。两种鸟在图鉴上看起来差不多，翅膀上的一道条纹，粗一点还是细一点，两个学生各有各的依据。

争了一路。

陈老师走在后面，没有劝。快到山脚的时候，一个学生问她：「老师，到底是哪一种？」

陈老师说：「你们俩争的，是它们是不是『两种』，对不对？」

两个学生互相看了一眼。

「如果它们是两种，」陈老师说，「那它们之间，什么东西把它们分开了？」

这一章，要谈的就是这个问题：物种，是怎样「显出来」的。

◆ 二、能不能生出孩子

先还生物学里最重要的一个物种概念一个公道。

1942 年，美国生物学家恩斯特·迈尔（Ernst Mayr）在《系统学与物种起源》里〔待核〕，提出了「生物学物种概念」：物种，是一群在自然状态下能够相互交配、并且与其他这类群体在生殖上隔离的种群。

简单说：能生出可育后代的，是同一个物种；生不出的，是不同的物种。

这个概念很成功。它给了物种一个操作性的定义：你可以去看它们能不能交配、后代能不能繁殖。对于大多数有性生殖的动物，这个办法很好用。马和驴可以交配，生出骡子，骡子不育，所以马和驴是两个物种。

它抓住了一个至关重要的事实：物种的边界，是由「谁和谁交换基因」决定的。同一个物种的个体，彼此之间有基因流；不同物种之间，基因流被切断了。

本书要先承认：这是一个了不起的洞见。它至今仍是物种研究的出发点。

物种概念不止这一个。林奈那一路，看的是形态：长得一样的，算一种。你在野外看鸟，拿着图鉴比羽毛，用的就是这一路，它简单，快，田野里最常用。

有的概念看谱系：同一个祖先分出来的一整支，算一种。有的看生态：占着同一类生活方式的，算一种。有人数过，各种物种概念加起来，有二十多个〔待核〕。

这些概念各有各的长处，各有各的卡处。生物学家不是没有办法，只是没有一把尺子，在所有地方都好用。

本书要说的，不是把它们统统换掉，而是换一个角度，看它们都在量什么。

◆ 三、卡住的地方

可是，它在几个地方卡住了。

环物种。有一类生物，围着一片不适合它们生存的地方（比如一座大山、一片沙漠）分布，形成一个环。环上相邻的种群，彼此可以交配；但环的两端，在同一个地方相遇的时候，已经不能交配了。

有人举过的例子，包括环绕青藏高原分布的一种柳莺，和美国加利福尼亚的一种蝾螈〔待核〕。按「能不能交配」的标准，环上每相邻的两个，是同一个种；可是两个末端，又是两个种。这就变成了一个悖论：甲和乙同种，乙和丙同种，丙和丁同种，一路往下，甲和末端的 Z 却不同种。同种是不能传递的。

杂交带。两个看起来不同的种群，在它们分布区相遇的地方，有时会形成一条杂交带：一些个体来自杂交，既有这一方的特征，也有那一方的。杂交带里的杂种，有

的可育，有的不可育。按「隔离」的标准，它们该算几个种？这要看在杂交带里，基因流有多大。生物学家对此经常有分歧。

细菌。细菌不通过交配繁殖。它们靠分裂繁殖，还会通过「水平基因转移」，把一段基因直接送到另一个细菌（甚至另一个种）里。那么，「能不能交配」这个标准，对细菌就根本用不上。

这三个卡住的地方，说明了一件事：物种不是「一个现成的盒子」。盒子的边界，在有的地方清晰，在有的地方模糊，在有的地方根本不存在。

这三个地方，值得一个一个看细一点。

环物种里，有一个被反复讲的例子：暗绿柳莺，围着青藏高原分布。2000 年前后，欧文（Darren Irwin）等人的研究报告，沿着环往北走，雄鸟的歌声一步一步地变；到了西伯利亚中部，环的两端碰到一起，歌声已经差得足够大，它们彼此不再回应〔待核〕。相邻的种群之间，没有一道清楚的线，到了尽头，线忽然有了。

环物种还有另一个著名例子：美国加利福尼亚的一种蝾螈。它们围着中央谷地分布，沿着山脉两侧向南扩散。在谷地的南端，两侧走来的两种类型相遇，形态差别很大，据报告基本不再杂交〔待核〕，而沿着环的中间各段，相邻的种群彼此是连着的。

杂交带里，常被讲到的是两种乌鸦：黑色的小嘴乌鸦（Corvus corone），和灰黑相间的冠小嘴乌鸦（Corvus cornix）〔译名待核〕。它们在欧洲中部相遇，有一条窄窄的杂交带。有研究报告，两种乌鸦基因组上的差别，主要集中在很小的几段，其余地方基本混在一起〔待核〕。它们看起来是两种，基因组里却不是处处分开。

细菌那边，同一个种的不同菌株，各自独有的基因，可以占到它们基因组相当一块〔待核〕。你拿一条菌株的基因表，去代表整个种，会漏掉很多东西。

◆ 四、稳定越过阈值的那一段

本书的看法是：物种，是用新属性定义再读一遍的结果。

回顾第 16 章的三问。

哪一头显？物种这个属性，显的是互动那一头，又是互动里的**记功**：什么样的交配，被算作「我们这一类」的后代；什么样的，不算。这是一道记功口，而且是一道由配偶选择、交配偏好、杂交不育、栖息地隔离等许多结构合起来构成的记功口。

哪一维动？差异那一维，而且是**稳定**：一串一代一代的差异，如果能稳定地维持，不被基因流冲淡，就成了一个「类」。

落在哪一界？现实界：可以去测的，谱系的、基因频率的、交配偏好的。

所以，物种不是一个预先存在的类，而是**差异的稳定，越过阈值的那一段**。

什么叫阈值？

想象两个种群，起初可以自由交配，基因流很大。随着时间推移，两个种群之间的差异慢慢积累：颜色不同了，歌声不同了，繁殖季节不同了。差异小的时候，基因流一冲，差异就被抹平了。差异大到一定程度，雌性开始只选「自己这一类」的雄性，杂种的后代也变得不如纯种，基因流被压下去了，差异就不再被抹平。

这个「不再被抹平」的拐点，就是阈值。越过它，两个群体各自稳定下来，成了两个「类」。没越过，它们还是一个连续体。

遗传学里有一个说法，和这个拐点的味道很近。1995 年，奥尔（H. Allen Orr）提出，两个分开的群体，各自积累的、混在一起就出毛病的差别，其数目随时间增长得越来越快，不是匀速的〔待核〕。他叫它「雪球效应」。

这不能直接拿来当作本书阈值的证据，它说的是杂种不相容，不是整个差异的稳定。不过它提供了一个线索：分开这件事，可能本来就不是匀速推进的。

这个说法，能够解释上面三个卡住的地方。环物种：环上相邻的种群之间，差异的稳定度还没越过阈值，所以是连续的；两个末端，越过了，所以分开。杂交带：差异的稳定度，正好处在阈值附近，所以是模糊的。细菌：它们的差异，靠别的机制稳定，不靠交配，但原则上也可以用「差异稳定度」来读。

◆ 五、这个阈值，要怎样量

说「阈值」，不能只是一个比方。得有办法去量。

取一条横跨两个类群的线，比如沿着环物种的环，或者横穿杂交带的一条样线。沿着这条线，在一个一个位置上，测三样东西。

第一样，基因流：两边的基因，在这个位置上，互相渗透了多少。

第二样，杂种的适应度：混合出来的后代，和纯种比，活得怎么样，留后代多不多。

第三样，配偶的偏好：一方，更愿意选谁。偏好有多强，可以通过选择实验去测。

三样东西，沿着线画成三条曲线。

如果差异的稳定，真的有一个阈值，那么应当能看到一个拐点：在拐点这一边，基因流大，偏好弱，杂种不吃亏；过了拐点，基因流被压下去，偏好变强，杂种吃亏。

如果三条曲线都是平平地、一点点地变，没有拐点，那么这一章的主张就要收窄。物种就只是一个方便的称呼，不是一个门槛。

要强调：这是本书对物种的一种读法，不是要取代生物学家手上的任何一把尺子。它只是提出一个可以去查的问题。

◆ 六、品种与物种，差在哪里

有一个对照，值得一说。

吉娃娃和大丹犬，体重相差几十倍。它们是不同的物种吗？不是，它们同属一个种。人把它们当作两个品种，是因为有一本账。

品种靠登记簿维持。登记簿规定了谁可以和谁交配，哪些后代能写进这个品种的名下。这是一道由人握着的记功口。

这样的差异，稳不稳？它靠的是外面的账本。如果撤掉登记簿，让它们自由交配，几代以后，这两个品种的差别往往会被混掉。这是一个回弹。

物种的情形，按本书的读法，不是这样。差异靠的是里面的做法：配偶偏好，杂种吃亏。外面的东西撤掉，差异也不容易被混掉。

按本书的读法，品种和物种的区别，可以用同一个问法来问：撤掉外面的账本，差异还在不在？这是一个读法，不是定论，具体到哪一对品种、哪一对物种，要靠实验去看，待验。

◆ 七、阿远的菌，算同一种吗

阿远每天用的大肠杆菌，也有这个问题。

他手上有两株菌，名字都叫大肠杆菌。一株是实验室里养了几十年的老品系，一株是合作者寄来的。他把两株的基因表并排打开，发现两边各有几百个基因，对方没有。

他拿着表去问陈老师：「老师，这两个是同一种吗？」

陈老师看了半天：「你们给它们起的是同一个名字？」

「是。」

「那起名字的时候，是怎么定的？」

阿远答不上来。他只知道教科书里就是这样写的。

这个情形，本书的读法能走到哪里？要老实说：在细菌这里，这一章的读法，只能走到「可以问」，还走不到「已经测」。

细菌之间，有基因互相转移，没有交配这种清清楚楚的记功口。是什么东西，在把一批细菌记成「同一伙」，现在没有人说得清。可能是共同的环境，可能是转移的偏好，也可能是别的。

所以，细菌的物种，本书把它放在待验里。这一章能做的，是把问题提对：不问「它们属不属于同一个盒子」，问「是什么在维持它们之间的差异」。

◆ 八、一个湖里的证据

要说明「配偶选择这道记功口在此起作用」，有一个很好的例子。

东非维多利亚湖里，生活着几百种丽鱼，它们在很短的时间里分化出来，形态相近，颜色各异。研究者发现，许多近缘种之间，雌鱼靠雄鱼的体色来挑选配偶：雌鱼

偏爱某种颜色的雄鱼，于是不同颜色的雄鱼，各自吸引不同偏好的雌鱼，两个群体之间的基因流就被压低了。

这几百种丽鱼，据估计是在大约一万五千年以内分化出来的〔待核〕。这是一个很短的时间。

这个湖，在更早的时候，据说曾经干涸过。后来水回来，丽鱼的祖先在这里铺开，朝着各种生活方式分出去：有的吃藻，有的吃螺，有的专门吃别的鱼的鱼苗〔待核〕。

1990 年代，瑞士生物学家奥勒·西豪森（Ole Seehausen）和同事发现一件事〔待核〕：湖水因为人类活动变得浑浊以后，水里的光线变差，雌鱼看不清雄鱼的颜色，选择就变得不那么挑剔了。一些原本分开的近缘种之间，开始出现杂交，种间的差异，有逐渐消失的趋势。

这个观察，据报告，对一些种类成立。它说明了什么？说明配偶选择，确实是在维持物种之间的界线：光线一变差，记功口的精度下降，户名开始混乱，物种的边界跟着模糊。

这个报告发表在 1997 年，作者是西豪森和他的同事，标题大意是：湖水富营养化，使性选择失效，使丽鱼的多样性受到威胁〔待核〕。

它的意思是，浑浊的水，把一道记功口的精度磨低了。这是一个难得的自然实验：没有谁专门去改动记功口，水质一变，它先松了。

这是物种「显出来」、也会「隐回去」的一个现场证据。

请把这个例子，和前面几章接起来。

第 11 章讲过，配偶选择是一道记功口，持有者是挑选的一方，有利害。丽鱼的雌鱼，就是这样的持有者。第 16 章讲过，账户靠被记账而持存。水一浑，雌鱼看不清，记账的精度下降，户名开始混，账户的边界就跟着松。

三个量里，这里用得上的是持有者的利害。雌鱼是有利害的守门者，她挑得准不准，直接决定杂种的比例。杂种占的比例，一年一年是升还是降，可以逐代去追。

还有一个问题，湖水慢慢变清以后，偏好会不会恢复，已经混了的差异会不会重新撑起来。那就是一次回弹的读数。这一点，本书没有查到可靠的报告，只能留作待验。

◆ 九、放回日子里

回到那一天的林子边。

陈老师对两个学生说：「你们别急着争它是 A 还是 B。先问一个问题：这两种鸟，在这片林子里，会不会互相选对方做伴？」

学生说：「图鉴上说，它们的叫声不同。」

「那就去听，」陈老师说，「听它们是不是只回应自己这一类的叫声。」

他们在林子里蹲了一个下午。傍晚，他们回来说，他们听到了两种叫声，没有听到哪个混着叫。

「那你们就有证据了，」陈老师说，「不是翅膀上那一道条纹，是它们彼此怎么选。」

回到宿舍，两个学生把各自拿来比的东西，写成了一张表。图鉴上那一道条纹，是一行。叫声，是一行。它们在林子里有没有互相选，又是一行。

争了一路，他们才发现，自己比的只是第一行。

你也可以试试。下次你为「这是不是同一类」争论的时候，换一个问法：它们之间，谁和谁互相选？选的结果，把谁记成了谁的？

> 带走的话
>
> **物种不是盒子，是差异稳住了的那一段路。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「物种是一个现成的类」的看法；环物种、杂交带、细菌，三处都让「能不能交配」卡住。
>
> 立了什么：立了物种是差异稳定越过阈值的那一段，并让配偶选择这道记功口在此起作用。

第 23 章

回到开场

衰老是身体不入账——先对账 Kirkwood 的一次性体细胞与 Buss 的生殖系隔离，本卷多出的是户名不是资源分配；记功口只记生殖系；一条可检验的预测：按「生殖系隔离的时点」分组，隔离越早的谱系衰老越明显；水螅与多数植物没有早期隔离的生殖系，几乎不衰老，正是这条预测的对照

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一个大日子，一屋子人，你忽然意识到，自己已经不是那个「被安排」的人了，而是那个「被指望」的人。

陈老师六十大寿。儿女回来了，孙辈围了一圈。大孙女端着一杯茶，笑着说：「奶奶，您这么多年教了那么多学生，肯定特别有成就感。」

陈老师接过茶，笑了笑，说：「我这身子，是借来的。」

孙辈们愣了一下。

「你们才是记上了账的，」她说，「我这一份，是要慢慢退场的。」

孩子们以为她在说笑话，一屋子人哄笑起来。只有阿远，因为刚好那天也在，听出了这句话里别的东西。

陈老师说的是对的，也不完全是玩笑。这一章，就要回到第 1 章那个后排男生的问题：自然选择那么挑剔，为什么放过了衰老?

◆ 二、魏斯曼的那道墙

在对账之前，要先请一个更早的人出场。

德国的魏斯曼（August Weismann），十九世纪末提出，生物的身体里，有两种东西：一种是生殖质，负责传给下一代；一种是体质，负责长身体、做事，到时候死去。生殖质不受体质的影响，体质的经历，传不到下一代〔待核〕。这条界线，后来被叫作「魏斯曼屏障」。

他还做过一个有名的实验：把小白鼠的尾巴一代代剪掉，看后代的尾巴会不会变短。据说，连着许多代，小鼠生出来的尾巴一直是原样〔待核〕。

这件事的意义，常被说成是反驳了「获得性遗传」。本书看它，还有另一层：魏斯曼最早把「身体」和「传下去的那一线」分成两份账，而且说，后一份才是要紧的。

他还试过回答「为什么会死」。1881 年前后，他提出，衰老的个体对物种没有用处，会占着资源，所以死亡是被演化出来的好事〔待核〕。这个说法，后来被多数人放弃了，因为它默认选择是为物种的好处而起作用。

本书要还他一个公道：他的答案多半错了，可是他的问题，把「两份账」摆在了桌面上，这是本章后面要接的东西。

◆ 三、离我们最近的两位，再对一次账

第 12 章已经把巴斯和柯克伍德请出来对过一次账。现在，要在衰老这个具体问题上，再对一次。

柯克伍德的一次性体细胞理论，讲的是资源怎样分。一个有机体，能量和材料是有限的，花在修补身体上，就少花在生殖上。外面越危险，把身体修得很好就越不划算。所以，身体是「一次性」的：做到够用就好。

巴斯的生殖系隔离，讲的是冲突怎样被压住。身体里的细胞，如果每一个都有传宗接代的机会，就会互相争夺。把生殖的任务集中到一小撮早早隔离出来的细胞里，其余细胞没有传宗接代的机会，也就没有争夺的动力，身体才能作为一个整体运转。

这两家，都离本书很近。可是本书要问的是另一件事：**户名。**

回忆第 12 章的那个例子：两个细胞团，资源分配完全相同，只是账记得不同，个体就不同。

把它用在身体和衰老上，是这样的。

想象两种生物，它们的资源分配，完全一样：每天把同样多的能量，分给身体的修补和后代的生产。

第一种生物，它的身体里，只有一小撮细胞（生殖系）的后代，会被记到下一代的名下，其余全部的细胞（体细胞），无论活得多久、修得多好，它们的后代都不会被记下来。

第二种生物，它的身体里，许多细胞都有机会，通过某种方式，产生下一代的一部分，比如长出芽，分出一块，长成新的个体。

两种生物，资源分配相同。但在第一种里，修补身体，在「账」上，对下一代的贡献，只能通过帮助生殖系成功来间接地显出来；而身体本身，不在账上。在第二种里，身体的细胞，本身就在账上：修好它们，就是在修好下一代的来源。

结果是：第一种生物的身体，会老，因为身体不入账，选择没有理由为它的长期维持「付费」；第二种生物的身体，可以不老，因为身体就是账本的一部分。

同样的资源分配，记到不同的名下，衰老就不同。

这是本书对这个问题的答案：不是资源怎样分，而是**户名**。

还要为柯克伍德补上他完全成立的条件，因为他的算术很干净。

设想一种小鱼，每年有一半被捕食者吃掉，与它身体修得好不好无关。一条刚出生的鱼，活过第六年的机会，是二分之一的六次方，约百分之一点六。一百条里，不到两条。

这时候，把大量资源花在「活过六年以后还结实」上，几乎是浪费。因为绝大多数个体，还没老到那一步，就被吃掉了。选择自然不会为那一步付费。

这个算术，直接解释了：为什么外面越危险的生物，往往老得越快、也越早繁殖。在这个范围里，一次性体细胞理论毫无问题。

再把「持有者」摆出来，因为这是本书比前人多的一点。

一个动物的生殖系，在发育早期就被留出来，这道口的持有者，是发育的程序，它没有利害，只是把这一群细胞放在一边。

可是下一代算谁的，不只是由程序定的。动物里，谁和谁配对，常常有一方在挑，挑的一方有利害：它的后代，记在被挑中的一方名下。人工养殖里，育种者决定留谁。后面要讲的果蝇实验里，实验者就是那个守门者。

巴斯讲的是冲突怎样被压住，没有问这道口是谁握着。柯克伍德讲的是资源怎样分，分配本身没有持有者。

持有者的利害，怎样测？看他的挑选，和他自己的目标有没有关系；撤换持有者，结果有没有变。这在后面那个果蝇实验里，已经做过一次。

巴斯自己也留意到了没有早期隔离的生物。他指出，在植物、海绵、刺胞动物这类生物里，体细胞也可能参与生殖，细胞这一层的选择，因此有机会发生〔待核〕。这与本书的读法并不冲突：没有早期隔离，身体更多地留在账上。这一点，也正是本章后面那条预测的出发点。

本书要补的，只是一件事：外在死亡率相同的两个类群，如果记账的方式不同，衰老会不会不同？这是一个资源分配回答不了、户名可以追问的问题。

◆ 四、身体不入账

现在，可以把答案完整写出来了。

> **自然选择容忍衰老，是因为记功口只记生殖系，身体是不入账的那部分。**

这句话里，每个词都有分量。

「记功口只记生殖系」：对于大多数动物来说，下一代的「户名」，是由生殖系那一条线写的。受精卵里的遗传信息，来自父母的生殖细胞；父母身体里的其他细胞，无论是肌肉、皮肤，还是神经，它们的「功」，不会被记入下一代的细胞谱系。

「身体是不入账的那部分」：身体，对谱系的延续，有重要的作用，它保护、喂养、运载生殖系，但它自己的细胞，不是谱系的一部分。

这样，选择对身体的态度，就有了一个新解释。

梅达沃说，晚发的害处，选择看不见。现在可以补一句：它看不见，是因为身体本来就不在账上，它在晚年的衰败，不影响账上的东西。

威廉斯说，年轻时的好处换老年的坏处。现在可以补一句：老年的坏处，落在不入账的身体上，所以交换才划算。

柯克伍德说，资源在修补和生殖之间分配。现在可以补一句：之所以分配给修补的那一份可以少，是因为修补的对象，不是账上的东西。

三种答法，到这里会合了。它们不是错的，它们是同一个事实的三个侧面。这个事实是：**身体是借来的**。

回头收第 1 章的伏笔：第 1 章说，三种答法都默认身体与生殖系的账本早已分好，现在可以回答：账本是这样分的，是由记功口分的，分的结果就是衰老。

在细胞里，账内账外，也许留下了一道痕迹。人的生殖细胞和不少干细胞，表达一种叫端粒酶的蛋白，能给染色体末端补上被磨短的部分；大多数体细胞，表达得很少〔待核〕。这是一个看上去与「谁入账」相合的读数。

要立刻说明：这只是一个痕迹，不是证明。读数不自带原因，第 21 章已经讲过。本书在这里只讲演化的道理，不讲应该怎样对待自己的身体，也不替任何人的健康情况下判断。

◆ 五、果蝇的一个旧实验：换了谁入账

有一个很老的实验，正好能拿来问：改一改「谁入账」，衰老会不会跟着动?

1980 年代，罗斯（Michael Rose）用果蝇做了这样一件事：他不让果蝇一羽化就繁殖，而是只留下很晚才产卵的那些，用它们的后代接着养下一代，一代一代这样做〔待核〕。

据报告，经过几十代，这些果蝇的寿命明显比对照组长。

这个实验里，谁握着记功口？是实验者。他规定了，只有晚期繁殖者的后代，才被记进下一代的名下。这是一个有利害的守门者。口一变，衰老的快慢也跟着变。

要说老实话：这个结果，梅达沃的说法、威廉斯的说法、柯克伍德的说法，都预期会出现。晚年的害处，选择看不见，一旦把「晚年」挪到繁殖期以内，选择就看见了。所以这个实验，并不能把本书的读法和前三家分开。

它能做的，是另一件事：它是「改变户名，衰老随之而变」的一个现成的实例。本书的次预测，要问的是自然界里，不同的类群之间，是不是也有这样的关联。

◆ 六、同样的基因，不同的户名：蜂后和工蜂

有一个现成的例子，可以看看户名的位置是怎样影响寿命的。

蜜蜂的一个蜂群里，蜂后和工蜂，在遗传上并没有本质的区别，都是受精卵发育来的。可是蜂后能活几年，夏天的工蜂只活几周〔待核〕。蚂蚁里更夸张：有人报告，实验室里一只黑毛蚁的蚁后，活了近三十年，而同一巢的工蚁，只有一年左右〔待核〕。

这两种个体，吃的食物不同，身体的发育不同，所以不能简单把差别全算在「户名」上。

不过，按本书的读法，有一件事是清楚的：蜂后是被记账的那一条线，工蜂的后代，大多不入账。蜂群的下一代，几乎全写在蜂后名下。

寿命长的，正好是在账上的那一个。这个吻合，不是证明，只是一个值得继续追的线索。

◆ 七、一条能被推翻的预测

一个说法，如果推不出任何可检验的东西，就只是一个故事。本书从上面的答案里，推出了一条预测，并且事先写明它可以被推翻。

> **一条可检验的预测：按「生殖系隔离的时点」分组，隔离越早的谱系衰老越明显；水螅与多数植物没有早期隔离的生殖系，几乎不衰老，正是这条预测的对照。**

先把这条预测拆开。

分组的依据，是「生殖系隔离的时点」：在个体发育的哪个阶段，那一小撮会成为生殖细胞的细胞，被从其余细胞里分开。

有些动物，比如脊椎动物，生殖系的隔离发生得很早：在胚胎发育的早期，就有一小撮「原始生殖细胞」被留了出来，此后它们走一条独立的路。

另一些生物，隔离发生得晚，或者根本没有明确的隔离。

本书的预测是：隔离越早，身体「不入账」得越彻底，衰老越明显；隔离越晚、越不彻底，身体越多地留在账上，衰老越轻。

对照一：水螅。

水螅是一种小小的淡水刺胞动物，身体像一根细管，一端有触手。它有一群很特别的细胞：干细胞，分布在身体里，不断地分裂，补充新细胞。水螅可以从身体侧壁长出芽，长成新的水螅。它没有早期隔离出来的专职生殖系：身体里的干细胞，既负责更新自己，也负责产生下一代。

1998 年，瑞士生物学家丹尼尔·马丁内斯（Daniel Martínez）发表了一项对水螅的长期观察〔待核〕。据报告，在好几年里，他养的水螅群体的死亡率没有随年龄上升，未见衰老的迹象。这一结论后来也有不同看法，研究者对水螅是否真的不衰老，仍在讨论〔待核〕。

对照二：多数植物。

植物的生殖，常常来自植株顶端的分生组织。分生组织是一群一直保持分裂能力的细胞，既长出新的枝叶，也在适当的时候分化出花，花里再产生生殖细胞。它们的生殖系，不是在胚胎早期就隔离出来的，而是在一生里晚近才从分生组织里分化出来的。

许多多年生的树木，据报告可以活几百年甚至几千年〔待核〕。这当然需要谨慎对待：一年生植物开花后死亡，那是另一类现象，有它自己的机制；树木的长寿，也不能简单等同于「不衰老」。本书只拿这个对比做一个粗线条的参照：没有早期隔离的生殖系的类群，往往也没有像脊椎动物那样明显的、随年龄上升的死亡率。

还有一条线索，需要放在旁边。有研究测了一棵很老的橡树，不同枝条之间，体细胞积累的突变，比按常理预期的要少得多〔待核〕。这提示，长寿的树，也许有它自己控制突变积累的办法，比如让茎顶端的细胞，很少分裂。

所以，树的长寿，并不只有「生殖系晚隔离」这一个解释。预测要和这些线索一起读，不能单独拿出来当作定论。

◆ 八、隔离时点，怎样分组

要把次预测做成一张真正能做的比较表，得把「隔离时点」分成几档。

动物学里，有一种分法：生殖细胞是预先在卵里备好的，还是后来由别的细胞诱导出来的〔待核〕。果蝇、线虫、斑马鱼的卵里，有特殊的物质，早早就把一小撮细胞定为生殖系。小鼠不同，生殖细胞是在胚胎发育到一定阶段，由周围信号诱导出来的〔待核〕。植物里，生殖系更晚，是从长久保持分裂能力的组织里分化出来的，不过这一点，学界有争论〔待核〕。

可以先分成早、中、晚三档，每档找几个类群。

比较时，有三件事要小心。

第一，亲缘近的物种，不能当作彼此独立的样本。因为它们共享祖先，会让结果看起来比实际更整齐。比较研究里，要用专门的办法校正〔待核〕。

第二，「衰老得快慢」要有一个统一的量。常用的办法，是看死亡率随年龄上升的快慢，把外在的死亡拿掉。这需要在受保护的环境里长期观察。

第三，要把前面说的混杂因素，一并控制：体型，外在死亡率，生活史。

这是一张大表，不是一次实验能填满的。不过表的格子，从现在起，就是可以填的。

◆ 九、单细胞的邻居：酵母和大肠杆菌

有人会提出一个反例：单细胞生物没有身体和生殖系的分别，那它们会衰老吗？

出芽的酵母是一个很清楚的案例。一个酵母母细胞出芽，芽长大脱落，成为一个新细胞。研究发现，母细胞能出芽的次数有限，大约二三十次，之后就衰老、停止；而它出的芽，一开始是年轻的〔待核〕。

按本书的读法，母细胞和芽之间，账记得不对称：被往下传的，是芽；母细胞的损伤，留在母细胞里。

大肠杆菌是一个更微妙的例子。大肠杆菌分裂的时候，看上去两个子细胞一模一样。可是有研究报告，跟着「老的那一端」的子细胞，长得略慢一点，积累了较多损伤〔待核〕。哪怕外形对称，账也可能有一点不对称。

这两个例子，本书把它们看作邻居，不是检验。次预测说的是有生殖系和体细胞分别的类群，单细胞不在那个范围里。可是它们提示了一件事：账的不对称，早在没有身体的时候就有了。

◆ 十、它可以错在哪里

一个好的预测，要写明自己怎样会错。

这条预测，有几处明显可以出问题。

第一，混杂因素很多。一个物种衰老得快不快，跟体型、天敌、环境、代谢率，都有关系。蝙蝠比同体型的小型哺乳动物活得久得多，据一般的了解，它们生殖系的隔离并不比后者晚〔待核〕。裸鼹鼠据报告寿命长得出奇，它们的生殖系隔离，也是早的〔待核〕。所以，用这条预测去检验，必须在比较时，尽量控制这些别的因素：同样的外在死亡率，同样的体型，同样的生活史。

第二，「隔离时点」本身，不好测。不同的生物，早期发育的细节差别很大，哪一刻算「隔离」，要有一个大家同意的标准。

第三，也是最要紧的：如果隔离时点与衰老，在控制了别的因素之后，没有任何关系，那么，这条预测就被推翻了。

那时候，本书要收窄：把这一章的主张，收回到柯克伍德的资源分配说。也就是说，不再说户名决定衰老，只说资源分配决定衰老。

这样做，是事先写好的。不是客气，是规则。

◆ 十一、陈老师那句话

回到陈老师那句话：「我这身子，是借来的，你们才是记上了账的。」

这句话，有一半是玩笑，另一半是生物学。一个人的身体，对谱系来说，确实是借来的：它负责养育、保护、运载，它在这一代里，把生殖系送到下一代。它自己，没有被记下来，会随时间慢慢退场。

但这不是一个悲观的结论。身体在账外，不等于身体没有价值。恰恰是因为身体在账外，它才可以做那么多事：读书，教书，种地，爱人。

本书的一个看法是：生命的「意义」，不全在账上。账上记的，是谱系；账外的，是那一代的日子。后面第五编会回到这一点。

◆ 十二、放回日子里

寿宴散了以后，阿远留下来帮忙收拾。

陈老师坐在沙发上，看着满桌杯盘。

「老师，」阿远说，「您刚才那句话，我想了很久。」

「哪句？」

「身子是借来的。」

陈老师笑了：「我随口说的。」

「可我觉得是真的。」阿远说，「我们实验室有一只小鼠，每年都要换一批。小鼠的身体不入账，入账的只是它的后代的一部分细胞。」

陈老师问：「那你们对小鼠，心里过得去吗？」

阿远沉默了一下，说：「过不太去。」

「那就好，」陈老师说，「记不记账，是一回事；心里过不过得去，是另一回事。」

第二天，阿远翻出一本旧的校友录，是陈老师工作的那所县中学三十年前印的。

校友录里，一个班一页，每个毕业生一行，写着名字、考去了哪里、现在在哪儿。翻到最后几页，才是老师的名单，只有姓名和教哪一科，没有后来的消息。

「老师，」阿远问，「你们的去向呢？」

陈老师说：「老师不用去向，学生才要。」

她说得很平静。阿远却想，校友录的这个格式，真像一本账：记了一代又一代出去的人，不记送他们出去的人。

这当然只是一个类比，学校不是谱系。可是他想起了陈老师那句「身子是借来的」，忽然觉得，那一页没写完的名单，也有它的分量。

你也可以试试。想一想，你身体里有多少是「入账」的，有多少是「不入账」的。入账的，留给了谁？不入账的，你打算怎么用？

这一章是第三编的最后一章。回过头看，这一编讲的是：「为了什么」被赶出了门；活着是账户的持存；记功口是第三件事；个体、功能、读数、物种，都可以在账上读；衰老是身体没有入账。

下一编换一个方向。前面讲的账，大多是自然的口在记。从下一章起，要讲人第一次握住了这道口。

> 带走的话
>
> **身体会老，是因为它从来没被记上账。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「衰老难题已有定论」的印象，也拆了「资源怎样分就够了」的说法；同样的资源分配，记到不同名下，衰老就不同。
>
> 立了什么：立了「身体不入账」的答案，收了第 1 章的伏笔，并给出一条可以被推翻的预测：按生殖系隔离的时点分组，水螅与多数植物是对照。

第 四 编

AI 坐上主体位：从前握记功口的都有利害，AI 第一次没有

这一编九章。人握记功口已经一万多年：驯化是第一次，绿色革命是握得偏了的一次，癌是身体里的漏记，近交犬种是只记一样东西的慢性空转。然后是人在实验室里先到的定向进化，和 AlphaFold 到底预测了什么。最后三章写 AI 怎样坐上主体位，带来什么新的危机，又怎样回头改了人。

这一编也写真实的增益，也写治理。反差只有一句：从前握记功口的都有利害，AI 第一次没有。

第 24 章

驯化

狗约一万五千至三万年（各家估计差异大），麦子约一万年——人第一次握住记功口

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：看着一个陪了你很多年的东西，忽然不知道，是它找到了你，还是你选了它。

陈老师家有一条老黄狗，十四岁了，毛色发白，走路慢吞吞的。每天下午，它都趴在门口的台阶上晒太阳，听见陈老师的脚步声，尾巴懒懒地拍两下地。

阿远来的时候，蹲下来摸它的头，狗眯着眼睛，由着他摸。

「老师，」他问，「它是自己来的，还是我们挑的？」

陈老师想了想，说：「这条狗，是它妈妈生的。它妈妈，是它外婆生的。往上数，数到头，大概是一条在人群边上徘徊的狼。」

「那条狼是自己来的。」

「是自己来的，」陈老师说，「可是后来，是谁留下了它的孩子？」

阿远没有答。他看着台阶上的老狗，忽然觉得，这是一个很古老的问题。

◆ 二、一万多年前的记功口

先说事实，再说本书的看法。

狗是人类最早驯化的动物。至于什么时候、在哪里，学界的估计差异很大：有的研究者认为是大约一万五千年前，有的认为早到三万年前甚至更早〔待核〕。这个差异本身值得记住。驯化是一个缓慢的、逐步发生的过程，不是某一天某个人的发明，所以很难划出一个起点。

麦子的驯化比狗晚得多，大约在一万年前，发生在今天西亚的「新月沃地」一带〔待核〕。驯化的麦子和野麦子，有一个关键的差别：野麦子成熟后，麦穗会自己碎

开，让种子散落在地上；驯化的麦子，麦穗不容易碎，种子留在穗上，直到人来收割。

这个差别，几乎可以看成记功口的一个标志。不容易碎的麦穗，在野外是个缺陷，种子散不出去，繁殖不了；但在人的收割里，它们被更多地收了回来，又被更多地重新种下去。

人收割这个动作，决定了哪些麦子的后代进入了下一年的田。

这就是本书说的记功口：人决定，哪些后代，记进「家养」这条谱系。

换一种作物，故事相似。玉米的祖先是中美洲一种叫大刍草的野草，它的穗又小又硬，只有寥寥几粒籽。一路挑下来，才有了今天一整根粗壮的玉米棒〔待核〕。草还是那一族草，变的是每年谁的籽被留了下来。

◆ 三、没有谁下过令

这里有一个容易想歪的地方。

读到「人决定」三个字，你可能会想到一位远古的农夫，坐在火堆边，宣布从今年起只留不碎的麦穗。事情不是这样的。

达尔文在《物种起源》第一章里，把人对生物的选择分成两种：有计划的选择，和无意的选择〔待核〕。前一种是育种者有意挑；后一种，是人只管自己的日子，结果无意中也挑了。

麦子多半属于后一种。设想一块田里，既有一碰就碎的穗，也有不碎的穗。人用镰刀割，用手捋，用木棍敲，收回家里的，多半是还挂在秆上的那些。碎掉的那些，种子早已落进土里，没被带走。来年撒下的种子，是上一年收回家的那一批。

没有人下过令。收割的方式，就是账本的写法。

至于这个过程有多慢，研究者看法不一。有的考古植物学研究认为，不易碎的穗在遗址里长期只占少数，过了上千年才成为主流；也有模型推算，只要收割方式合适，几百年就够了〔待核〕。两种说法吵了很多年，没有定论。

这个争论对本书有用的地方只有一点：不论快慢，记功口都是被一个又一个平常的动作写出来的，不是被一道命令写出来的。

账也可以量。考古学家在不同年代的遗址里，把出土的麦穗轴一枚一枚地数：碎开的有多少，没碎开的有多少。把这些比例按年代排成一条线，就是一条被记出来的曲线。它回答的不是某个农夫想了什么，而是哪种穗，一年年地占了多大的名额。

◆ 四、狗是怎样走进来的

狗的路，比麦子更曲折。

有研究者把动物驯化归成三条路：一条是伴人而来，比如在人的居所边找剩食的动物；一条是从猎物变来；一条是人有计划地直接去驯〔待核〕。狗，多半走的是第一条。

所以陈老师那句话说得准：那条狼，是自己来的。它在人群边上徘徊，是因为人扔下的残骨有吃头。胆子大一点、离人近一点的，吃得好一点，活得久一点。

可是到了某一步，人开始留下它们的孩子。

在德国波恩附近的一处遗址，考古学家发现了一座约一万四千年前的墓，里面除了人，还有狗。其中一只狗很年轻，生前得过一场严重的病，按研究者的推断，它能撑上几周，靠的是人的照料〔待核〕。

照料一只帮不上忙的病狗，说明那时的人和狗，已经不只是猎人和猎物，也不只是主人和工具。

还有一个线索，写在狗的基因里。有研究报告说，家犬体内分解淀粉的酶的基因拷贝数，比狼要多，这被解释为狗跟着人学会了吃谷物和剩饭〔待核〕。这个解释目前还有争论，因为古代狗的情况并不一致〔待核〕。

不论细节怎样，大方向是清楚的：狗没有被谁一把抓来，它先自己靠近，然后人把它的后代一代代记了下来。

猫的故事更晚，也更像「自己来的」。有研究认为，猫很可能是跟着粮仓里的老鼠，慢慢走进村子的〔待核〕。人对猫的记账，一直比对狗松得多。这也是一个提醒：同样叫驯化，记功口可以握得紧，也可以握得松。

◆ 五、一群温顺的狐狸

要看清人挑一样东西，会带出什么，有一个著名的实验可以参照。

二十世纪五十年代末，苏联的遗传学家别利亚耶夫（Dmitry Belyaev）在西伯利亚开始了一项长期实验〔待核〕。他和同事特鲁特（Lyudmila Trut）从养殖场的银狐里，只挑一样东西：见了人不凶，敢靠近人。每一代，最温顺的那一小部分被留下繁殖，其余的不入账。

他们没有挑毛色，没有挑耳朵，没有挑尾巴。

据报告，过了十来代，狐狸里开始出现一些原先没人挑过的变化：耳朵耷拉下来，毛色出现白斑，尾巴卷起，繁殖期也变得不一样了〔待核〕。它们见了人会摇尾巴，会凑上来舔人的手。

这个实验常被引用，因为它显示出一件事：记功口记的是一样，谱系长出来的却是一整套。挑了温顺，别的性状也被拖着走。很多驯化动物的耳朵、毛色和脸形，有一些共通的变化，研究者把它们合称「驯化综合征」〔待核〕。至于这套变化的机制是什么，学界仍在争论〔待核〕。

对本书来说，这个实验给了一个干净的画面。记功口的判据，可以窄到只有一条；而被记的谱系，会回过头来变成另一副样子。

这个画面，到第 32 章还会用上。

◆ 六、人和工具，几千年就是一个复合体

本书的第四编，主题是「AI 坐上主体位」。但在讲 AI 之前，要先说明一件事：**人和工具，几千年来就是一个复合体**。

一把犁、一条狗、一本育种簿，都是人延伸出去的一部分。农夫扶着犁耕地，犁不能自己耕，人不扶犁也耕不了地；牧羊人带着狗赶羊，狗不能自己牧，牧羊人没有狗也牧不了那么大的羊群。人和工具合起来，才是一个能完成任务的单位。

在本书的话里，这种复合体同时带着三头：

人带来**主体**的一头：他有想要的东西，他能提出、挑选、否决。

工具带来**客体**的一头：犁、狗、簿，都是可以被拿起来、被摆在桌上的东西。

人与工具、与被作用的对象之间的往来，是**互动**的一头。

三头缠在一起，几千年来一直如此。所以，说 AI 是一个「人—工具复合体」的新成员，并不是一个很新的说法。变的是它在复合体里坐的位置。这一点，第 30 章会详细讲。

◆ 七、握口的人有利害

驯化里的记功口，有一个重要特点：**握口的人有利害**。

农夫选种，是为了明年多打粮食。牧人留狗，是为了看家护院，是为了赶羊。他们挑的方向，跟他们自己的目的，紧紧连在一起。

这个「有利害」，对谱系的影响，是深远的。

驯化后的麦子，穗子不容易碎，籽粒更大，成熟更一致。这些变化，对农人有利，对麦子在野外的生存，却可能不利。驯化后的狗，温顺，爱亲近人，会读懂人的手势和眼神。这些变化，对人有利，对狗来说，一方面换来了食物和庇护，一方面也丢掉了它们作为野生动物的许多能力。

所以，有利害的记功口，会把谱系往持有者想要的方向拉。这个方向，可能对被记的谱系有利，也可能无关，也可能有害。

驯化还有一个后果，常被忽略：被记出来的谱系，慢慢离不开握口的人。

家麦的穗不碎，意味着它自己撒不出种子，要等人来收、来种。长期没人管的家养谱系，会发生什么，是一个可以拿来量的问题。比如被丢弃后野化的家猪，据一些观察，几代之内就会重新长出更硬的鬃毛和更长的獠牙〔待核〕。这是撤掉记功口以

后的「回弹」：家养的那几样，没有写牢，一撤就往回退。反过来，如果撤掉人以后，这条谱系几乎原样不动，就说明那几样已经写牢了。

不同的家养谱系，退回去的程度很不一样。这个量，第 18 章叫回弹系数。驯化是不是已经写进了谱系，不能凭印象，要看撤掉人以后，它往回退多少。

这是一个值得带着往下读的特点。到了第 30 章，AI 坐上主体位，它最大的不同，就是握口的这一方，没有利害。

◆ 八、没有谁有意，也算握口吗

有人会反对：你说的记功口，要有人握着。可是上面的麦子，没有谁有意去挑，这还算握口吗？

这是一个好问题，本书的回答是：算。

记功口不看有没有人想过，只看账是怎么记的。收割的方式，决定了哪份种子回到田里；这个决定，不因为农夫没想过就不存在。就像一个班级的座位表，排的人也许只想着方便点名，可是谁坐前排，谁坐窗边，一学期下来，照样改变了谁听得清、谁走神。

这里要分清两件事。握口，是说账怎样记；有利害，是说握口的一方想要什么。无意的选择，是握了口，却没想过要什么。有意的选择，是握了口，还知道自己要什么。

所以，上一节讲的「有利害」，在远古的收割里，多半是一种模糊的、只想填饱肚子的利害，不是后来育种者那种清清楚楚的目标。两者有区别，但都握着口。

◆ 九、先还驯化一个公道

不要把这一章读成对驯化的批评。

驯化是人类最大的成就之一。没有驯化，就没有农业；没有农业，就没有定居，没有城市，没有文字，没有今天的一切。几千年里，驯化让人类的数量，从几百万增长到几十亿。

驯化给人的也不只是粮食。牛拉犁，马驮货，羊出毛，狗看家护院，每一样都把人的力气放大了好几倍。人能把城市盖起来，把知识一代代攒下来，靠的有一部分就是这些被记进「家养」的伙伴。

驯化也不是一个单方面的剥夺。许多被驯化的物种，数量远远超过了它们野生的祖先：全世界的狗，据估计有好几亿只；而野生的灰狼，只有几十万只〔待核〕。麦子、水稻、玉米，覆盖的土地面积，远超过它们的野生祖先曾经占据的。

在「谱系延续」的意义上，驯化是一个很成功的合作。

还要补一句：这笔账并不只记在麦子和狗的头上，人自己也在里面。早期农人的骨骼，据一些古病理学研究，比同时代的采集者更矮，牙病更多，因为吃得单一〔待核〕。不少传染病的来源，也可以追到和家畜挤在一起过日子〔待核〕。

人握了记功口，人也被这道口改了。这一笔，留给第 32 章。

所以，说驯化是一场「人对自然的占有」，只说对了一半。更准确的说法是：两条谱系，从此缠在同一本账里，谁也算不清哪一笔是谁的。

本书后面讲层断了、一角独大、目标空转，都是在讲「握口握偏了」的情形。但在此之前，要先承认：握得好，是常态；握得好的那些，让我们有饭吃。

◆ 十、放回日子里

阿远后来想：这条老黄狗，用本书的话说，是谁的?

户口簿上，狗是陈老师家的。血统上，狗是它妈妈的后代。从物种的角度，它是「家犬」这条谱系的一部分。从陈老师每天下午给它倒一碗水的角度，它是被陈老师「记着」的。

这四种说法，没有一种错。它们是四本不同的账。

那天傍晚，陈老师在阳台上摘豆角。阿远看见她把几根又粗又长、已经鼓起来的老豆荚，单独放进一个旧饼干盒里。

「这是留种的，」陈老师说，「每年都是这几根。」

「您挑的什么？」

陈老师想了想：「长得最饱的。也说不上为什么，手里一掂，就是它。」

她笑了笑：「你看，我也在记账。」

「那您的豆角，会不会越留越像您的手？」

「会，」陈老师说，「去年的豆荚就比前年的长。可我也说不清，是豆子在变，还是我的手在变。」

阿远没有再问。他看着那只饼干盒，想起远古田埂上那个没人记得名字的人。

他蹲在台阶上，又看了一会儿老狗，想起陈老师的另一句话：「记不记账，是一回事；心里过得去过不去，是另一回事。」

你也可以试试。看看你身边的一样「被驯化」的东西，一盆花，一只猫，一碗米饭，想一想：它的上一代，是被谁挑的？为了什么？那个「为了什么」，是谁的？

> 带走的话
>
> **人握住记功口，比写下第一个字还早。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「驯化是动物或植物自己的事」的看法；人收割、留种的动作，就是一道记功口。
>
> 立了什么：立了人—工具几千年就是复合体，并立了驯化里的记功口，握口的人有利害。

第 25 章

层断了

绿色革命，产量涨，多样性同时退

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一件事，明明让大家都吃饱了，你却总觉得心里空了一块。

陈老师的老家在南方一个丘陵地带，山脚下有一片梯田。她小时候，每到夏天，田里是一片斑驳的绿：有的稻子高，有的矮，有的叶子颜色深，有的浅。村里人能叫出十几种稻子的名字，哪一种适合哪块田，哪一种煮出来的饭更香，哪一种遇到旱年更扛得住。

后来她回去，田里是一片整齐的、一个颜色的绿。

她问村里的老人：「那些稻子呢？」

老人说：「现在都种一种，产量高，省事。」

陈老师在田埂上站了一会儿。她说：「饭是够吃了，田却瘦了。」

这一章要讲的，就是这句话。

◆ 二、先还它一个公道：吃饱是真的

先说一件不能含糊的事：绿色革命让很多很多人吃饱了。

二十世纪中叶，世界人口快速增长，许多人担心将要发生大规模的饥荒。美国农学家诺曼·博洛格（Norman Borlaug）等人在墨西哥培育高产的矮秆小麦，后来又有高产的水稻品种，配合化肥、灌溉和农药，使得许多国家的粮食产量成倍增长〔待核〕。博洛格因此获得了 1970 年的诺贝尔和平奖〔待核〕。

这条路不是凭空来的。矮秆的基因，据说源自日本的一个小麦品种，经美国的育种家引入，再被博洛格的团队用进墨西哥的材料里〔待核〕。水稻这边，1966 年前后，国际水稻研究所推出的矮秆品种，被媒体称作「奇迹稻」〔待核〕。

据估计，绿色革命避免了数以亿计的人饿死〔待核〕。这是一个不应当被轻描淡写的成就。陈老师那句话「饭是够吃了」，前半句是真的，而且是很重的真。

学界对它的评价当然有争论。有研究者用几十年的数据，论证现代品种的推广显著提高了产量、压低了粮价，穷人受益最多〔待核〕；也有研究者指出，水、肥、农药的投入、地下水的下降、小农户的债务，是同一枚硬币的另一面〔待核〕。这两种声音，大都承认：它让很多人吃上了饭，也留下了要还的账。

所以，本书对绿色革命，不批评它的目标，不批评它的善意，更不批评那些为此奋斗的人。

本书想看的，只是一件事：它是一道记功口，记了什么，没记什么。

◆ 三、矮一截的稻子，为什么能多结

想看清它记了什么，先得弄明白，矮秆到底好在哪儿。

你见过被风雨压倒在田里的稻子。高秆的稻麦，一旦肥施足了，穗子变沉，秆撑不住，就倒伏，倒下去的穗子发霉发芽，白白损失。

矮秆的品种，秆短而粗，撑得住。同样的养分，更多地被分给了籽粒，而不是长高。这就是为什么，同一块田里，肥施得越足，矮秆品种比高秆品种赢得越多〔待核〕。

注意这里发生了什么。育种者挑的，不单是「产量高」，而是**「肥水足时产量高」**。这个判据，把一整套配套的东西绑在一起：品种、化肥、灌溉、农药，缺一样，账就不好看。

这道口握在谁手里，也值得看一眼。育种者定了判据，推广体系把种子送下去，收购的价格按产量和成色算账，农人照着价格种。几只手，指向同一行。

这是一道很具体的记功口。它在问：给你足够的肥和水，你结多少籽？结得多的，进下一年的田；结得少的，不入账。

至于「没有肥水时你怎么样」「遇到旱年你怎么样」「煮出来的饭香不香」，这道口没有问。

◆ 四、只记一行

绿色革命的核心做法，是培育和推广高产品种。

这是一道记功口：育种者和推广体系，决定哪些品种的后代，被记入下一年的田。判据非常清楚——单位面积的产量。

产量高的，被选中，被推广，被大面积种植。产量低的，被淘汰，被逐渐边缘化。

结果是：产量那一行，涨了。

可是账本上，没有被记下来的，还有很多行：抗某种病的能力，耐某种逆境的能力，适应某种土壤的能力，味道，营养，稻秆的用途，种子是否可以自己留种。这些，在产量的算盘里，没有位置。

于是，那些在产量上不占优势的老品种，一年年少种，最后无人再种。它们的种子，若没有被另外保存，就这样消失了。

据联合国粮农组织的估计，二十世纪以来，作物的遗传多样性大幅度地丧失了，不少农家品种已经绝迹〔待核〕。常被引用的有一个「约四分之三」的说法，不过它的来历和算法受到过质疑〔待核〕。各家数据不同，细节需要核对，大方向却没有太大争议：多样性在退。

这个退，是可以量的。常用的办法有两种：一是数品种，看一个地方还在种多少个；二是看集中度，即种植面积里，最大的几个品种占了几成。品种数一年年少，集中度一年年高，就是账越记越窄的读数。

用本书的话说：**记功口只记了一行，其他的行，没有入账。**

◆ 五、田瘦了

没有入账，会有什么后果?

第一，**可演化的余地在缩小**。第 20 章说过，可演化，是谱系保留着变出新东西的余地。多样性，就是这个余地的原料。当全世界的稻田里，大面积地种着同一个或少数几个品种时，如果出现了一种新的病害，能抗这种病的变异，就可能不在手边。

历史上有过教训。1970 年，美国玉米遭遇了一场玉米叶枯病的大暴发〔待核〕。据报告，当时美国杂交玉米的大部分，用的是同一种细胞质雄性不育的来源，因为用它制种，可以省掉人工去雄的功夫〔待核〕。省工，是一个很实在的理由；可是这样一来，大片的田，在细胞质这一层，成了同一个样子。后来出现的一个病菌小种，恰好专门欺负这种细胞质，病很快铺开，据估计，那一年全国玉米减产的比例不小〔待核〕。

这类事件说明，当一种作物过度依赖单一的遗传来源时，一个新的病害，就可能一下子打到大面积的田。

更早的例子，是十九世纪四十年代的爱尔兰。当时许多人主要靠少数几个马铃薯品系过日子，一种病害一来，田里几乎同时遭殃，随后是大饥荒〔待核〕。再近一些，是香蕉。曾经满世界都吃的一种香蕉，在二十世纪中叶被枯萎病打垮，换成了另一个品种；而今天，新的病菌小种又盯上了这个替补〔待核〕。

这些故事里，没有一个人做错了什么。每一次，当时的选择都说得出理由：高产、省工、好卖。

第二，**对外部投入的依赖在增加**。高产品种，往往需要大量的肥料、灌溉和农药来维持，没有这些，产量未必比老品种高。田地越来越依赖「输入」，而不是自己的稳定。

第三，**许多没记的行，其实是人在乎的**。味道，传统，地方的饮食，种子在农人手里的自主，这些没有出现在产量的账上，却是农人日子里重要的一部分。

最后一样，值得多说两句。老办法里，农人把今年最好的那一把谷子留作明年的种，记功口握在自家手里。杂交种的情形不同：它的下一代性状会散开，留种不划

算，来年得重新买〔待核〕。于是，「哪些种子进下一年的田」，这个决定，从一户一户的堂屋，挪到了育种机构和种子的买卖网络里。

握口的人换了，账的写法也跟着换了。

这些后果，用第一章以来的话说，就是：读数（产量）涨了，而价值（善推、真守、美聚）与意义（可演化、繁盛）同时在退。

本书把这种情形，叫作**层断裂**：读数一层涨，价值与意义两层同时退，各层之间，断了。

◆ 六、种子库保住的是什么

读到这里，你可能会问：把老品种的种子存起来，不就行了吗?

确实有人在做这件事，而且做得很认真。

苏联的植物学家瓦维洛夫（Nikolai Vavilov）在二十世纪二十、三十年代，跑遍世界各地搜集作物的种子和样本，想弄清各种作物到底起源于哪里〔待核〕。后来他的收藏，成了世界上最早的大型种质库之一。据传，在列宁格勒被围困的那些年，守着这批种子的研究人员，宁可饿着，也没有动它们〔待核〕。

今天，世界各地有上千座种质库。挪威的斯瓦尔巴全球种子库，2008 年启用，把各国备份的种子存在冻土深处〔待核〕。这是一件很要紧的事，本书没有一句要贬低它。

不过，从记账的角度，有一件事值得说清楚：**冷冻的种子，不在记账**。

种子库保住的，是样品。一粒冻着的种子，能不能发芽，将来可以试；可是它有没有在这些年里，碰上新的病、新的旱、新的虫，一代代地被田里的日子挑过一遍，没有。田里的品种，每年都在应付新的麻烦，哪些扛得住，哪些扛不住，一年一年被记在账上；冷柜里的，账停了。

所以，两种保存，保的东西不一样。冷柜保存样品，田里保存账。

还有一半的账，不在种子里，在人手里。哪块田种哪个品种，哪一年雨水来得迟该换哪一个，哪种稻子煮出来的饭配哪道菜，这些知识不写在基因里，记在老农的经验里。人不种了，这部分账就断了，种子再多也接不回来。

两样保存都需要，再加上第三样：留住会种的人。这也是为什么，有农学家主张，要让一部分老品种继续留在农人手里、继续种在田里，让它们在地里接着被日子挑〔待核〕。陈老师梁上那一小袋稻种，要是只放着，是样品；要是种下去，才接上了账。

◆ 七、有人会说：肚子饿的时候，顾不上多样性

对这一章，有一个很自然的反对意见。

它是这样说的：多样性是吃饱以后才有资格谈的东西。一个孩子正饿着，你跟他说品种要多样，这是站着说话不腰疼。

这个意见，本书认真对待。因为它抓住了一件真事：产量不是一行可有可无的账。对一个真饿过的人来说，它就是最要紧的一行。

本书的回答有三层。

第一，本书没有要求退回去。把产量拿掉，不是办法。要说的只是：**账不能只有一行**。

第二，多样性不是奢侈，它常常是未来产量的保险。有一则常被讲到的故事：二十世纪七十年代，一种水稻病毒病在亚洲的稻田里流行，育种者翻查了成千上万份种质，才在一种野生稻里找到了抗这种病的基因，用它救下了高产品种〔待核〕。老账，救了新账。

第三，现代育种本身也在把别的行加回账里。把抗病、耐旱、耐盐、营养含量，一项项写进选育的判据，这样的项目这些年越来越多，比如培育含铁、含锌更高的主粮品种〔待核〕。这不是反对绿色革命，是接着它往下走。

所以，这一章的批评，落点不是「高产错了」，而是「只记产量，记得太久」。

◆ 八、判定顺序

本书把当代的危机，分成四种类型，并规定了一个固定的判定顺序，彼此不重叠。顺序是：

第一问：是不是 AI 新型危机？即，是不是出现了「无主之功」，效果真实，却没有任何谱系靠它持存。（第 31 章）

第二问：如果不是，是不是层断裂？即，读数涨，而价值与意义同时退。

第三问：如果不是，是不是一角独大？即，意义的三个样子里，一个涨，另两个跌。（第 26 章，癌）

第四问：如果不是，是不是目标空转？即，一个慢性的、内卷式的偏离。（第 27 章，近交犬种）

本书的章节次序，与判定顺序不同。章序是按故事讲的：先讲驯化，再讲绿色革命，然后是癌和近交犬种，最后才是 AI。判定顺序，是先问最新的、最特殊的一型。

在这一章里，判定过程是这样的。绿色革命，有没有出现「效果真实却无谱系可依」的东西？没有，高产品种本身，是被一条条种子谱系稳定地传下去的，它们有清楚的户名。所以，不是 AI 新型。

再问，读数是不是涨了，价值与意义是不是同时在退？是：产量涨，多样性退。所以，是层断裂。

◆ 九、放回日子里

后来，陈老师回老家，在村里找了几户人家，问他们家里有没有留着老稻种。

有一户人家，在堂屋的梁上挂着一小袋稻种，用旧布包着，积了一层灰。

「这是我爷爷那一辈种的，」那家的老人说，「后来不种了，舍不得扔。」

陈老师小心地接过来，看了看。稻种很小，颜色发深。

她说：「这个，我想借几粒，种在学校后院里。」

老人笑了：「这有什么借的，你拿去。」

回来以后，她在后院整出一小块地，把那几粒稻种种了下去。她说，不是为了产量，是为了让这条线，在一个地方，留着一个口子。

秋天收稻的那个下午，阿远帮她数穗子。

他数得很认真，数完了，老实地说：「老师，它没有种子公司那包说的那么多。差不多只有一半。」

「我知道，」陈老师说，「我没想骗自己。老的不一定比新的好，产量上它输，这是真的。」

她拿起一穗，在手心里掂了掂。

「可是我想让它活着，输也让它输在地里，别输在柜子里。」

「那它到底有什么用？」阿远问。

陈老师说：「说不准。也许哪一年，它正好扛得住一件新的事；也许一直用不上。保险就是这样，买的时候，看不出值不值。」

阿远把那一半的数字，认真地记进了本子里。

你也可以试试。看一看你吃的东西、穿的衣服、读的书：哪一种，在你的生活里，「只剩一种」了？这一种，是谁挑的？

这一章落在记账一致性和回弹系数上。绿色革命把产量那一行记得很一致，其他几行没人记；一旦撤掉外加的肥料和灌溉，这一行会退回多少，就是一个回弹系数。

> 带走的话
>
> **产量那一行涨了，没记上的那几行在悄悄消失。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「产量涨就是进步」的单线看法；记功口只记产量，其他品种不入账，可演化的余地在退。
>
> 立了什么：立了层断裂：读数涨，价值与意义同时退；并写清危机四型的判定顺序，在这里先排除 AI 新型，再判为层断裂。

第 26 章

一角独大

癌，细胞繁盛，整体被掏空——记功口漏记（和 Aktipis 2015、Michod 对账）

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：探望一个病人，走出病房，脑子里反复转着一句话，却不知道该对谁说。

阿远的导师住院了。导师是一位六十多岁的老教授，带了他三年，平时精力旺盛，一天能在实验室待十四个小时。这次是突然查出了问题，要住院治疗。

阿远去探望，坐在病床边，说了些实验室里的事，说了些近况。导师靠在枕头上，精神还好，只是瘦了。

走出医院，阿远在门口站了很久。后来他给陈老师打了个电话。

「老师，」他说，「我导师那些细胞，活得比他好。」

电话那头沉默了一会儿。陈老师说：「你别想这个。」

「我不是难过，」阿远说，「我是在想，那些细胞，为什么能活得这么好？」

陈老师叹了口气：「这也是个问题。」

这一章，要谈的就是这个问题。需要先说明的是：本章只讲演化上的道理，不讲临床，不给任何治疗或检查的建议。如果你或你身边的人正面对这个问题，请去找医生。

◆ 二、作弊的细胞

先说一个事实：癌，在多细胞生命里，不是人类独有的东西。

多细胞生物，是由许多细胞合作而成的。每一个细胞，在原理上，都有「自己复制」的倾向，这是细胞从单细胞祖先那里继承来的。多细胞生物之所以能成为一个整

体，是因为有一套机制，约束着细胞：什么时候该分裂，什么时候该停，什么时候该死。

美国生物学家阿莉克西斯·阿克蒂皮斯（Athena Aktipis）等人在 2015 年的一篇综述里〔待核〕，系统地讲了这件事：癌，是多细胞合作里的「作弊」。一个细胞，因为基因突变等原因，不再遵守这套约束，只顾自己复制，抢占资源，破坏整体。她们的核心观点是：癌是多细胞生物必然要面对的问题，在整个生命之树上，几乎所有的多细胞类群，都能看到类似癌的现象。

这与米卓德的看法是相通的。第 12 章说过，米卓德讲的是细胞层与集体层的冲突：细胞层的适应度，和集体层的适应度，并不总是一致。当细胞层的复制，压过了集体层的利益，就是冲突的爆发。

更早的时候，美国生物学家彼得·诺埃尔（Peter Nowell）在 1976 年发表了一篇很有影响的文章〔待核〕。他提出，肿瘤是「克隆演化」的结果：一个细胞出现了让它更能增殖的变异，它的后代扩张；其中一部分后代又出现新的变异，再扩张，如此一轮一轮，肿瘤里就累积出了越来越「适应」的细胞系。这是一个在体内发生的、微缩版的达尔文过程。

这些讲法都很有力量。它们说明了一件事：癌，是演化在身体里的发生。

还要把另一份功劳记上。二十世纪末，有两位研究者把癌细胞反复出现的一组本事，归纳成一张著名的清单〔待核〕。清单上有：不听停止的信号，躲开自杀的指令，无限地分裂，招来血管给自己供养，等等。后来又有人系统地写了「癌里的克隆演化」〔待核〕。几十年的工作，把一团乱麻理成了一张图。本书借的就是这张图。

本书要做的，只是在图的最上头，补一个问题：这些细胞为什么「可以」这样做？

◆ 三、天天都有突变，为什么多数没事

在说漏记之前，有一个事实，常让人意外。

你身体里的细胞，每天都在分裂，每次分裂都可能抄错。随着年龄增长，健康的组织里，会积累很多带着突变的细胞团。有研究者对看上去完全正常的皮肤和食管取样测序，发现其中不少小片的细胞团，带着在肿瘤里常见的那类突变〔待核〕。

也就是说，带着「危险」突变的细胞，在健康的人身上很常见；而真正长成癌的，只是其中极少数。

这个事实，对只盯着基因的看法是一个提醒：光有突变，不够。

那么，还差什么？差的是**机会**：这个细胞的后代，能不能一路扩张，占住地盘。

身体对这个机会，设了许多道闸。细胞自己有修复和自杀的程序；免疫系统会清理异常的细胞；组织本身的结构也在帮忙。比如肠道的内壁，细胞的分裂集中在隐窝底部的少数干细胞身上，上面绝大多数分裂出来的细胞，走一段路就脱落了。早在二十世纪七十年代，就有研究者指出，这种安排，使得多数新突变根本没有机会留下后代〔待核〕。

用本书的话说，这是一种记账的安排：**只有极少数细胞的后代，才被记在账上，其余的只是过路**。

突变，说的是抄写出了错。能不能被记账，说的是错了的那一份，有没有后代。癌的问题，大半出在后一件事上。

◆ 四、漏记

本书想补的，是一个词：**漏记**。

回顾第 23 章。多细胞的身体，通过记功口，把「后代」的户名，集中记在了生殖系的名下。体细胞的后代，不会被记到下一代，所以体细胞的一切，都为生殖系的成功服务。这套安排，使得身体里的细胞，没有「为自己复制」的收益。

癌，是这套安排的漏洞。

一个体细胞，如果通过突变，重新获得了无限复制的能力，并且逃过了免疫等约束，它的后代就在身体里扩张，好像它自己是一个新的「账户」。在它自己看来（这

里只是比喻，细胞没有「看」），它的繁殖，是成功的；在整个身体看来，它是在吃掉整体的资源。

用本书的话说：**癌，是记功口漏记，功回到了细胞层。**

本该只记在生殖系名下的「功」，漏了出来，回到了单个细胞的名下。细胞层重新有了适应度，因而重新有了被选择的资格。选择在细胞层发生，整体层就成了被它吃掉的对象。

这个说法，与阿克蒂皮斯的「合作被作弊」，和米卓德的「细胞层与集体层的冲突」，是相通的。本书多出的是一个词：漏记。户名从集体漏回细胞。

漏记这个说法有一个好处，它指出了一个更具体的问题：不是细胞「变坏」了，而是账没有记住。

这笔账，也是可以量的。研究者可以给组织里的细胞打上遗传标记，然后一代代地追踪：现在整片组织里的细胞，是从几个祖先细胞来的？在健康的组织里，各个祖先的后代大致各占一块；而在肿瘤里，常常是一两个祖先细胞的后代，占去了绝大部分〔待核〕。这个「谁的后代占了多大名额」，就是户名的读数。

和第 17 章里的记账一致性相比，这里量的方向是反的：那里量的是集体的后代，是否都记在同一个集体名下；这里量的是，户名是否从集体漏回了一个个细胞。

◆ 五、一个自己有了户名的癌

有一个极端的例子，值得讲一下，它说明，漏出去的账，可以变成一个独立的账户。

狗身上有一种叫「犬传染性性肿瘤」（简称 CTVT）的病，它的特别之处在于，这个肿瘤的细胞，不是只在一只狗的身体里长。它可以在狗与狗之间，通过交配传播。研究者通过基因组测序发现，世界各地的 CTVT 肿瘤细胞，几乎都来自同一个祖先：一条很久以前的狗，估计在几千年前，身体里出现了这个肿瘤；它的细胞，没有随那条狗死去，而是通过传播，活到了今天〔待核〕。

这些细胞，已经不是任何一条现存的狗的细胞。它们是一条独立的细胞谱系，靠传播延续自己。它们有自己的「记功口」：传播的方式，决定了哪些细胞的后代，进入下一只宿主。

不止狗有。在澳大利亚的塔斯马尼亚岛上，袋獾（俗称塔斯马尼亚恶魔）得过一种面部肿瘤，靠撕咬在个体之间传播。它从二十世纪九十年代发现以来，使野外种群大幅度减少。后来又发现，这样的传染性肿瘤，在袋獾里至少出现过两次，彼此独立〔待核〕。还有研究报告，几种海里的双壳类，也有在个体之间传播的癌细胞谱系〔待核〕。

这是一个「漏记」走到尽头的样子：功回到细胞层，细胞层自己成了一个个体。

这个例子，是写给对「个体」这个词好奇的读者的。在这里，它回应了第 18 章的说法：个体，是被记出来的账户。一条癌细胞谱系，能不能成为一个个体，看的也是账怎样记。

◆ 六、一个活了七十多年的细胞谱系

还有一种癌细胞，延续的方式和上面都不同，你也许听说过它的名字。

1951 年，美国一位叫海里埃塔·拉克斯（Henrietta Lacks）的年轻母亲，在医院里治疗宫颈癌。医院取了她肿瘤的一小块组织去培养。这些细胞，在培养皿里一代一代地分裂下去，没有停，成了人类第一批能无限传代的细胞系，以她名字的缩写，叫 HeLa〔待核〕。

到今天，这个细胞系已经被全世界的实验室用了七十多年，用于无数研究。取样的时候，她和家人并不知情，这件事后来引起了关于知情同意的长久讨论〔待核〕。

从演化看，这个例子很有意思。这群细胞早就不在她的身体里了，它们的账，靠实验室每隔几天把一瓶细胞分成几瓶，一代一代记下去。**实验室的传代日程，成了它们的记功口。**

它们的基因组，据研究报告，和当初那位女士的已经相去很远，染色体数目也乱了〔待核〕。它们是一条独立的谱系，只是活在人造的环境里。

阿远在细胞房里，对着培养瓶看过很多次类似的细胞。有一天，陈老师来参观，他指着超净台里的一瓶，说：「这里面的细胞，从它最初那个主人身上取下来，已经好几十年了。」

陈老师隔着玻璃看了很久，问：「它们现在算谁的？」

阿远答不上来。他想了一会儿，说：「算实验室的吧。不过，最早那个人，谁也还给不了了。」

陈老师没有再问。

这件事，不能只当成科学故事来读。它提醒我们：一个细胞谱系的户名，背后常常连着一个真实的人，和她的家人。

◆ 七、一涨两跌

把这个现象，放在意义的三个样子里看。

第 20 章说过，意义层有三个样子：**创造**（新形式），**自由**（可演化），**幸福**（繁盛）。

在癌这件事里：

细胞层的「繁盛」涨了：这些细胞的数量增加，扩张到很多地方，从细胞自己的角度，它们很「兴旺」。

整体层的「创造」和「可演化」跌了：整体被掏空，它不再能保持自己的结构，更不要说产生新的形式、保留变出新东西的余地。

一涨，两跌。这是危机四型里的「一角独大」：意义三角中，一个角膨胀，另外两个角塌陷。

它与前一章的层断裂不同。层断裂是读数涨、价值与意义同时退，三层之间断了；一角独大，是在意义这一层内部，三个样子之间失衡。

所以，判定顺序是：先问是不是 AI 新型（不是，癌里的细胞谱系，是有户名的）；再问是不是层断裂（不是，这里读数、价值、意义一起在受影响，核心问题不在层间的断裂）；那么，是一角独大。

◆ 八、大个子为什么不更容易得癌

这里要顺带说一个有趣的现象，它从另一个角度，支持「身体里有一套约束」的看法。

按常理想：身体越大、细胞越多、活得越久，细胞发生癌变的机会就越多，大动物应当比小动物更容易得癌。可是，观察到的现象并不是这样：大象、鲸这样体型巨大、寿命很长的动物，据报告，癌的发生率并没有比小动物高多少。这个现象，在生物学里被称为「皮托悖论」，名字来自流行病学家理查德·皮托（Richard Peto），他在二十世纪七十年代末前后点出了这件怪事〔待核〕。

对此，一个被报道的发现是，大象的基因组里，有多份拷贝的一个叫 TP53 的基因〔待核〕。这个基因在许多动物里，起着「发现细胞受损、促使细胞自杀」的作用。大象的细胞，据报告，对 DNA 损伤的反应更激烈，更倾向于让受损的细胞自杀，而不是任其继续分裂。

本书不对这些发现作具体的结论，只借它说明一件事：越大的身体，越需要更严格的约束。那一套把细胞层的复制，压回整体名下的机制，是演化一代一代加厚的。

换成记账的话说：身体越大、活得越久，要看住的账户越多，记功口就要守得越严。守得严的谱系，癌并不更多；守得松的，才会让漏记有机会。这是一条可以拿动物去对照的线索，本书把它记作「待验」。

◆ 九、这不是在责怪谁

写到这里，有一件事要说在前头，免得被读歪。

「漏记」这个词，听上去像是有人没把账看好。它不是这个意思。

得了癌的人，没有谁做错了什么。不少癌的起因里有运气的成分〔待核〕：细胞分裂越多，抄错的机会越多；老了，闸门一道道磨损。这是一个关于多细胞生命的演化结构的说法，不是一句对任何一位病人的评语。

同样，本书说「癌是漏记」，也不等于说「癌可以靠记得更仔细来避免」。身体里的记账，不是一个人的意志能管的事。

这一章只做一件事：把一个让人难受的现象，放回一个看得懂的结构里。看得懂，不会让病痛变轻，但至少让人不必再同时背着一个「是不是我做错了」的包袱。

至于遇到具体的处境怎么办，请去问医生。这是本书一再要说的话，也是对读者的诚实。

◆ 十、放回日子里

后来，阿远又去看了一次导师。

导师精神比上次好。他在病房里放了一台笔记本电脑，还在改一篇论文。阿远陪他说了很久的话，说到实验室的事，说到下一个项目。临走时，导师说：「你帮我看看，那篇稿子里，这一段的逻辑，还有没有问题。」

阿远接过稿子，认真读了一遍，提了三条意见。

导师一条一条地看，有一条他不同意，两个人为这个小地方争了十分钟。争完了，导师指了指床头柜，说：「那个纸箱，你带走。」

纸箱里是二十年的实验记录本，一本一本，封面上写着年份，有的已经发黄。有些结果，从来没有发表过。

「我现在碰不了实验，」导师说，「你先替我收着。」

阿远抱着纸箱走出病房，手臂沉沉的。

他想起陈老师说的那句：「记不记账，是一回事；心里过得去过不去，是另一回事。」

那天晚上，他把纸箱放在宿舍的桌上，没有马上翻。他想的是，细胞的账，和这个纸箱里的账，是两种东西。细胞的账记在谱系上，谁的后代多，谁就记得多；纸箱里的账，记的是一个人二十年里问过什么问题、走错过哪几条路，谁来接，就算谁的。

他没有再想「细胞活得比他好」这类的话。

导师正在做的，是他自己的事：改稿，带学生，把一些想法交给下一代。这些，不入细胞的账，却入了人的日子。

你也可以试试。想一想，你的日子里，有哪些事，是「账外」的？那些，才是你最想留下的东西。

> 带走的话
>
> **癌不是细胞变坏了，是账记漏了。◆**

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「癌只是细胞变坏」的说法；它是多细胞合作里的作弊，是记功口漏记。
>
> 立了什么：立了「漏记」——户名从集体漏回细胞，功回到细胞层；并判为一角独大：一涨两跌。

第 27 章

目标空转

近交犬种，记功口只记外形

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：看着一样东西，所有的「标准」它都达到了，你却总觉得哪里不对。

阿远的大学同学，养了一只短鼻犬。这只狗五岁，脸扁扁的，鼻子短得几乎陷进了脸里，圆圆的眼睛，一副憨憨的样子。同学说，它在品种评比里拿过奖，「品相是冠军级的」。

夏天的一个下午，阿远去同学家玩。天气很热，那只狗躺在地板上，张着嘴喘气，胸口起伏得很厉害，发出呼噜呼噜的声音。同学给它换了好几次水，又打开了空调。

「它每年夏天都这样，」同学说，「不能出门，一跑就喘。」

阿远蹲下来，摸了摸狗的脑袋。狗抬眼看了他一下，又低下头去，继续喘气。

「它的品相是冠军级的，」同学又说了一遍，语气里有骄傲，也有一点什么别的。

阿远没有说话。他想起陈老师在课堂上说过的一句话，一直没想明白：「只记一样东西的账，记得越久，越对不上日子。」

◆ 二、先还犬种标准一个公道

先说犬种标准的好处。

狗的外形、性情和用处，原本千差万别：有的跑得快，有的嗅得准，有的能下水，有的能赶羊。把这些差别固定下来，变成一个个稳定的「品种」，是一件很有成就的事。

19 世纪中叶，英国有了最早的犬展，据说 1859 年在纽卡斯尔办过一次，参展的主要是猎犬〔待核〕。

1873 年前后，英国成立了养犬俱乐部（Kennel Club），为各个品种制定「标准」：体型、毛色、头形、步态，一条一条写清楚；第二年又出了第一本公开的血统簿〔待核〕。有了标准，同一个品种的狗，才有统一的样子；有了统一的样子，人们才可以放心地交换、展示、比较、繁育。

这样的做法，让很多人有了归属感：爱某个品种的人，聚在一起，交流经验，保存血统，传承一种共同的审美。对狗来说，这些品种，往往有一批长期稳定的爱护者，它们不会轻易消失。

血统簿还有一个很实在的功劳：它让谱系可查。一只狗的父母是谁，祖辈是谁，白纸黑字。后来的遗传学研究，许多正是靠着这些记录做起来的。

这些，都是真的，是犬种标准的公道所在。不要把这一章读成对爱狗人的批评。

◆ 三、只记一样

问题出在另一个地方。

犬种标准，是一道记功口。育种者和评委，决定哪些狗的后代，被登记到这个品种的谱系里，登记的判据，主要是「外形」：头的形状，耳朵的位置，毛的颜色，身体的比例。

这道记功口，有两个特点。

第一，**它是封闭的**。许多品种的血统簿，是「封闭」的：一旦登记为某品种，只有登记过的狗，生出的后代，才能登记为这个品种，外面的狗，不能再加进来。这意味着，整个品种的遗传多样性，是一个只出不进的池子。

第二，**它主要记外形**。健康、寿命、行为，在评比里，权重往往很小。一只外形极其漂亮、却有严重健康问题的狗，可以在评比里得到高分；一只健康强壮、外形略有瑕疵的狗，可能得不到登记。

这两个特点合在一起，会发生什么?

一代一代地，育种者挑选外形最接近标准的狗，让它们繁殖。为了让某个特征更突出，会倾向于使用有这个特征的少数「明星种公」。某一只得奖的种公，可能一生中留下数百只后代。几十代下来，这个品种里的所有狗，都和那几只明星种公，越来越近。近交系数上升，遗传多样性下降。

与此同时，被选中的「外形」，被推向极端。短鼻犬的鼻子越来越短，脸越来越扁，因为「短」本身，成了标准里的优点。

◆ 四、那张脸为什么招人疼

还有一件事，不说清楚，就读不懂这道记功口。

短鼻犬的脸，大眼睛，扁脸，圆脑袋，和人类婴儿的脸有几分相似。动物行为学家洛伦茨（Konrad Lorenz）早在二十世纪四十年代就指出过，这类「娃娃脸」的特征，会天然地唤起人的照顾冲动〔待核〕。

所以，这道记功口里，有一部分是第 11 章讲过的美聚：**被吸引**。评委觉得好看，买家觉得可爱，主人觉得心软。吸引的方向，一旦被写进标准，就会一代一代地加码：脸要更扁，眼要更圆，皱褶要更深。

第 11 章里，孔雀的尾巴也是这样一路长出来的。两者有一处根本的差别：孔雀的尾巴，是雌鸟选的，雌鸟自己也在这本账里；短鼻犬的脸，是人选的，选的人不用替这张脸喘气。

选的一方和被选的一方，分成了两拨人。这是本章要抓住的结构。

◆ 五、记到狗自己活不好

结果，是这样的。

短鼻犬（如英国斗牛犬、法国斗牛犬、巴哥犬）中，相当一部分有所谓的「短头呼吸综合征」〔待核〕。

它的样子是：鼻腔狭窄，软腭过长，气管细，呼吸困难，夏天容易中暑，剧烈运动容易喘不上气。近年来，这类脸扁的品种在一些地方越来越受欢迎，这使得问题更受关注〔待核〕。

骑士查理王小猎犬，是另一个例子。据兽医学研究的报告，这个品种的二尖瓣心脏病很常见，而且发病的年龄偏早。不少个体到了老年都会受影响，具体的比例因研究和年龄段而异〔待核〕。一部分个体，还存在脊髓空洞症等神经系统的问题〔待核〕。这些，被认为与品种的遗传多样性低、近交系数高有关〔待核〕。

本书不想把这些写得太骇人。这些问题，不是每只狗都有，也不是人人都视而不见。许多爱狗人和兽医，也在努力改革，比如放宽血统簿、检测遗传病、修改品种标准。

但这里有一个值得看清的结构：记功口，一代一代地记外形；外形上的「优点」，一点点被推向极端；到了某个点上，这个「优点」，开始和狗自己的健康、寿命，背道而驰。

记到狗自己活不好，这是目标空转的样子。

◆ 六、一个可以量的账

记账的比喻不能只停在比喻上，这一章也有几样可以量的东西。

第一样，是**有效的繁殖群体有多大**。一个品种登记了几万只狗，不等于它有几万只狗在传宗接代。如果大部分后代出自少数几只明星种公，那么真正起作用的，只有很小的一群。研究者用血统簿算过不少品种，发现有些品种的有效群体，小得出人意料〔待核〕。

第二样，是**近交程度**。从血统簿里，可以算出一只狗的祖先里，有多少是重复出现的。重复越多，近交系数越高。研究者对纯种狗的血统做过大规模的分析，结论大致是，许多品种的近交程度，比人们想象的高〔待核〕。

第三样，是**那一把尺的权重**。在评比规则里，外形占几分，健康占几分，一目了然。

三样合起来，是这道记功口的读数：有多少只狗的后代被算进了账，账里主要看什么。

◆ 七、一个周末的犬展

有一个周末，阿远陪同学去看了一场犬展。

场地是一座体育馆，里面摆满了笼子和美容台，空气里有狗毛和喷雾的味道。评委在场地中央，一只一只地看：先让狗站定，用手摸它的肩和背，掰开嘴数牙，再让主人牵着绕圈，看步态。

整套流程，认真、专业，每一步都有规矩。

阿远数了数，评委看每只狗的时间，大约两三分钟。这两三分钟里，没有一项在测狗跑上五分钟之后喘得怎么样。

场边有一张桌子，上面摆着几块冷却垫，是给短鼻犬准备的。主人们轮流把狗放上去，一边扇扇子一边聊天。没有人觉得有什么不对。

阿远站在人群里，忽然想到：这套规矩里的每一步，都合理，每一步都是为了「看清楚它像不像标准」。可是整套规矩合在一起，没有哪一步，是为了「看清楚它过得好不好」。

◆ 八、封闭的账，怎样被打开过

好消息是，这样的账，也有被打开过的时候。

大麦町（斑点狗）有一个遗传特点：全体都带着一个影响尿酸代谢的变异，容易患尿路结石。二十世纪七十年代，美国有研究者发起了一个回交项目。办法是让大麦町和一种猎犬杂交，再一代代回交，目的是把正常的那个版本，引回这个品种里。后代的外形，仍然符合标准。这批狗，在几十年后，才被主要的养犬组织承认〔待核〕。

你注意这个故事的节奏：从提出办法，到被账本接受，花了几十年。

另一件值得一提的事：导盲犬的繁育项目。这类项目，往往把健康、性情、完成训练的比例，都记进了选种的账里，用数据挑下一代的父母〔待核〕。它的记功口，记的不是一张脸，而是一只狗能不能在日子里把一件事做好。

这些例子说明，把外形这一行换成别的，是可能的。尺子，是可以改的。

此外，英国在 2008 年前后，一部电视纪录片，引起了公众对纯种狗健康的大争论；随后几年有独立调查和标准的修订〔待核〕。有的国家，也开始对极短的鼻子设限〔待核〕。这类变化来得慢，但它们说明，空转并不是命。

◆ 九、同一个品种，两本账

有一个对照，很能说明问题。

同一个品种名下，常常有两种狗。一种是展示线，育种者主要看外形，登记、参展、评分；一种是工作线，育种者主要看狗能不能干活，比如赶羊、搜救、拉雪橇。两条线的狗，外形可以差得很远，行为和体能也不一样〔待核〕。

名字同样，账不同。

这个对照的意思，不是工作线就一定健康，展示线就一定有病。工作线也有自己的问题，比如过度强调某一种行为。它的意思是：**记功口记什么，谱系就长成什么，同一个名字，管不住账本**。

陈老师小时候，村里也有狗。没有血统，没有品种，没有人给它们登记。那些狗，谁家都养，谁家也不太管，夜里看门，白天晒太阳。

「我们家那条，活了十六年，」陈老师说。

阿远问：「那是不是土狗比名犬更健康？」

陈老师摇头：「不能这么说。村里的狗，死得早的也不少，得了病，就没了。只是，没有哪一条，是因为脸长得太好看才活不好的。」

她又补了一句：「我这是在讲我的村子，不是在讲道理。」

◆ 十、空转是慢的

目标空转，是危机四型里最慢的一种。

它不像层断裂那样，有一个明显的断点；也不像癌那样，有一个明显的扩张。它是一个**慢性的、内卷式的偏离**：每一代，都在认真地做记功口规定要做的事，每一代

的成绩，也都是「好」的，用的是同一把尺；不过这把尺子，量的东西，一点点地和日子对不上了。

用生活里的话讲，像一个人在跑步机上，越跑越快，跑得很标准，可是一直在原地。

这类危机，难就难在：它里面的每一个人，都没有做错事。育种者在认真地育种，评委在认真地评分，狗主人在认真地爱狗。大家都在遵守同一把尺。而尺本身，已经不对了。

◆ 十一、有人会说：主人喜欢，狗也活着，各取所需

对这一章，有一个很常见的反对意见。

它说：主人喜欢这张脸，狗也有吃有住，被疼爱着，这不就是各取所需吗？

这个意见里，有真的成分。许多主人对狗的爱，是实打实的，狗得到的陪伴和照顾，也是实打实的。

不过，这里有一处，值得再看一眼：**谁的账里，有狗自己的呼吸？**

选的一方，是人。人的利害，进了账：好看，可爱，拿奖，有面子。被选的一方，是狗。狗的利害，喘不喘得上气，活得长不长，没有一栏位置。

这就是本书讲的**持有者的利害**，在这里出现了错位：握口的人有利害，但那份利害，和被记的谱系自己的利害，不是同一份。

要是握口的人，同时也要为这张脸付出代价，账大概会记得不同。孔雀的尾巴就是这样：雌鸟选，雄鸟背着，两头都在这本账里。

所以，各取所需，说对了一半：取的需，是人的需。狗的那一份需，没有进账本。

◆ 十二、判定顺序

在这里，再说一次判定顺序。

第一问：是不是 AI 新型？不是。近交犬种里，没有「效果真实、却无谱系可依」的东西，每一只狗，都有清楚的血统登记。

第二问：是不是层断裂？不是。层断裂是读数涨、价值与意义同时退。在近交犬种里，读数（外形的评分）是涨了，但健康和寿命的退，是由这一把尺本身造成的，并不是「断」了，而是同一把尺的延续。

第三问：是不是一角独大？不是。意义三角里，并没有一个角膨胀、另两个塌陷的结构。

第四问：那么，是目标空转。

◆ 十三、放回日子里

后来，阿远再去同学家，那只狗已经不再参加评比了。

同学说，兽医建议他给狗做了一个小手术，改善呼吸。手术之后，狗的状态好了不少，夏天也能出门，慢慢走几步。

「你知道吗，」同学说，「我以前觉得它的脸，是最可爱的地方。现在看它能正常地喘口气，我觉得，这才是最可爱的地方。」

阿远没说话，只是点了点头。

那天傍晚，他陪同学遛狗。狗走得慢，走几十步就要停一停，站在路边的树荫下，舌头伸得很长。同学也不催，掏出手机看天气，说：「明天三十五度，不出门了。」

阿远忽然发现，同学的日子，已经围着狗的呼吸转了一整个夏天。

回去路上，他想：这位同学做的事，用本书的话说，就是把记功口的尺子，从「外形」换成了「日子」。

你也可以试试。看看你身边那些「只认一把尺」的事：成绩，粉丝数，体重，薪水。问一句：这把尺，量的东西，还对得上日子吗?

带走的话

只记一样东西的账，记得越久，越对不上日子。◆

小账

拆了什么：拆了「标准越严越好」的看法；近交犬种的记功口只记外形，而且是封闭的。

立了什么：立了目标空转：一道记功口，每一代都认真地做规定要做的事，却越来越对不上日子；并按顺序判定它不是 AI 新型、不是层断裂、不是一角独大。

第 28 章

定向进化

把「选」搬进试管——阿诺德 2018 年诺贝尔化学奖，记功口第一次被写成了实验条件

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一件事你反复试，试到第几十次，忽然发现，你真正在做的不是「想出来」，而是「挑出来」。

阿远在实验室里做过一个很笨的实验。导师给了他一种酶，活性很低，要他想办法让它在高温下还能干活。他先是一条一条地读文献，想从结构上推，哪个位置换成哪个氨基酸会更结实。推了两个月，换了七八处，没有一处管用。

后来师兄看不下去，说：「你别推了，让它自己变。」

师兄教他做了一件事：用一种容易出错的复制方法，把这个酶的基因抄几万份，每一份都带几个随机的小错；再把这几万份分别放进细菌里，让细菌把酶造出来；最后把所有的酶放到高温下烤一烤，看哪几个还活着。

活着的，只有寥寥几个。阿远把它们挑出来，再抄一轮，再烤一轮。

第四轮的时候，那个酶在高温下的活性，比起点高了几十倍〔待核〕。

阿远盯着读数，半天没说话。他想的是：这七八处改动里，没有一处是我「想」出来的。我做的，只是定了一条规矩——烤一烤，活着的留下。

这条规矩，就是本书说的记功口。

◆ 二、他们做了什么

这一章要讲的，是人在试管里把「选」这件事做出来的那一段历史，以及它为什么值得放在 AI 之前讲。

美国化学工程师弗朗西丝·阿诺德（Frances Arnold）在 1990 年代初开始做这件事。大意是这样的：不再去设计一个酶应该长什么样，而是给酶的基因制造随机变

异，再按照要的功能去筛，留下表现好的，再变，再筛，这样循环〔待核〕。她的实验室早期的一个例子，是让一种蛋白酶在有机溶剂里也能工作，经过几轮循环，它的活性比起点高出很多〔待核〕。

同一年的诺贝尔化学奖，另一半给了两位用噬菌体展示技术做抗体与多肽筛选的科学家：乔治·史密斯（George Smith）和格雷戈里·温特（Gregory Winter）。2018 年，三人共同获奖，阿诺德得了其中的一半〔待核〕。

这套方法，现在叫定向进化。它的结构很简单，只有三步：

一，造变异。用容易出错的复制、基因重组等办法，造出一大批彼此略有不同的版本。

二，做选择。设一个测试，让每个版本去过关，表现好的留下。

三，扩增。把留下的版本复制出来，作为下一轮的起点。

三步合起来，就是达尔文过程的三件事：变异，选择，记功。第三步里「留下的复制出来」，正是记功：哪一份的后代，被记入下一轮。

这套办法不是一个人一夜之间想出来的，它的背后有一串接力。

1985 年，史密斯（George Smith）发现，可以让噬菌体把一小段外来的蛋白，展示在自己的表面上，这样，「一段蛋白」和「编码它的基因」就装在同一个小颗粒里，筛出蛋白，同时也就捞到了基因〔待核〕。温特（Gregory Winter）后来把这条路用到抗体上，由此做出的药，其中有的已经走进了病人的日常〔待核〕。

1994 年前后，另有研究者发明了「基因洗牌」：把几个表现不错的版本的基因切碎，再随机拼回去，让好的片段重新组合〔待核〕。

这些方法各不相同，骨子里是同一件事：先放开变异，再用一道筛，把想要的那几份记下来。

阿诺德做的，是把这套逻辑，系统地用到了酶上。

◆ 三、先还它一个公道：不懂也能做成

先说定向进化真正厉害的地方。

蛋白质的结构复杂得很。一条几百个氨基酸的链，换掉其中一个，对整体功能的影响，往往没法从头算出来。所以，传统的「理性设计」——先看懂结构，再动手改——在很长时间里，成功率并不高。

定向进化绕开了这个难处。它不要求你懂，只要求你能测。只要你有一个办法，能把表现好的和表现差的分开，你就可以让进化替你找路。

这是一个很深的转变。过去人们以为，要造出一个好用的分子，得先「理解」它。定向进化说：不一定，你只要会「挑」。

它也让科研变得更平等了一点。不是每个实验室都有人能一眼看穿一个蛋白的结构，可是多数实验室，都能搭起一道像样的筛。门槛从「懂得多」，挪到了「测得准」。

它的成果也很实在：更耐热的酶、更能在洗衣粉里干活的酶、能催化自然界没有的反应的酶，以及后来大量的抗体药物，都和这条路有关〔待核〕。这些，都是真的益处，值得被好好承认。

◆ 四、它在日子里长什么样

定向进化不是实验室里的把戏，它早就走进了日子。

你家洗衣粉里的酶，是一个例子。洗衣粉要在偏碱、有表面活性剂、水温不低的环境里干活，天然的蛋白酶多半扛不住，要靠一轮一轮地筛，才筛出耐得住这些条件的版本〔待核〕。

药厂也在用。有一种治疗糖尿病的药，生产路线里原本有一步很难做，后来研究者用定向进化的办法，改造出一种能干这一步的酶，让整条路线更省料、更干净〔待核〕。

还有一类更有意思：让酶去做自然界里没有人教过它的反应。阿诺德的实验室报告过，让一种天然的酶，学会催化一类自然界里并没有的化学键的形成，办法同样是随机变异加筛选〔待核〕。

这些成就的共同点是：没有哪一步是先「想明白」再动手的。想不明白，也可以走下去。

◆ 五、记功口被写成了实验条件

现在说本书要看的东西。

在野外，记功口是看不见的。一只鸟留下多少后代，是由天气、天敌、配偶、食物一起决定的，没有人写过一张纸，上面写着「按这条规矩记」。所以，第 1 章到第 4 章里，三家吵来吵去，吵的是一件没有写出来的事。

在定向进化里，记功口第一次被**写出来了**。

这条规矩，白纸黑字写在实验方案里：烤到几度，烤多久，留下活性最高的前百分之几，下一轮扩增多少份。改一个数字，下一轮的结果就不同。

这对本书的意义有三点。

第一，它证明了记功口是可以被**单独拧动**的。同样的变异，同样的扩增，只改「筛」的这一步，得到的谱系就不同。这是前面几章里讲「记功先于个体」时，一直缺的一类直接的证据：记功口不是一个事后的说法，是一个可以被人伸手去调的旋钮。

第二，它让「谁握着」变得清楚了。在这里，握着的人是实验者。实验者有明确的利害：他要一个更耐热的酶，他要一个能做出产品的酶。第 24 章说过，握口的人有利害。这里，也是如此。

第三，它让一件事变得具体：记功口**只管户名，不管数量**。定向进化里，每一轮扩增的总份数，是实验者定的；而被留下的是哪一些，是筛选条件定的。这两件事是分开的。

◆ 六、「随机」到底是什么意思

这一章反复说「变异是随机的」，这四个字要说准。

第 10 章讲过它的操作定义：变异有机制，有偏向，但不朝适应的方向定向。放在试管里看，这句话有一个很具体的样子。

实验者用来造变异的方法，不是公平地把每个位置都改一遍。有的容易出错的复制方法，对某几类碱基的替换更偏心，改出来的版本，在统计上是歪的〔待核〕。这是偏向。

可是，这个偏向，和「这个酶要耐热」毫无关系。它不知道你要什么，也不会因为你要什么就多改某一处。这是不定向。

所以，随机的意思，不是均匀，不是没有规律，而是：**变异不知道目标**。

这一点，正是定向进化里「人只握选择与记功」的根据。目标只存在于筛里，不存在于变异里。变异的这一头，对要去哪儿一无所知。

后面讲 AI 的时候，这条线会被拉动。如果提出候选的一方，开始「知道」目标，哪怕只是从数据里学到的统计上的倾向，那么上面这条界线，就要重新画。

◆ 七、筛什么，得什么

有一个更早、也更简单的实验，值得在这里提一下。

1960 年代，美国生物学家斯皮格尔曼（Sol Spiegelman）做过一个实验〔待核〕：他把一种病毒的 RNA，放进含有复制所需原料和酶的试管里，让它自己复制。每复制一段时间，就取一点，放进新的试管，再复制。这样一代一代传下去。

据报告，几十轮之后，RNA 变得越来越短，因为短的复制得快。最后剩下的只是一小段，复制速度很快，却已经不再编码病毒的功能。人们后来戏称它为「斯皮格尔曼的怪物」〔待核〕。

这个实验讲的，是一件很朴素的事：只要记功口的规矩是「谁复制得快，谁的后代多」，进化就朝着「复制得快」去，不管那是不是你本来想要的。这个例子，与第 27 章的近交犬种是同一个道理的另一面——记功口记了什么，谱系就长成什么。

定向进化的实验者，对这一点有切身的体会。他们中流传着一句大意如此的话：你筛什么，就得到什么。

设想一个实验：要一个能在洗涤剂里分解污渍的酶，可是为了方便，实验者筛的时候，用了一种人工合成的小分子来测活性，因为它测起来快。结果，筛出来的酶，对这个小分子分解得飞快，对真正的污渍却不灵。

酶没有错。是账只记了「对那个小分子灵不灵」，没有记「对污渍灵不灵」。

所以，一个老练的实验者，花在设计筛上的功夫，常常比花在造变异上的还多。他知道，真正握着方向盘的，是那道筛。

◆ 八、有人会说：这不就是育种吗

读到这里，你可能觉得，定向进化听上去，和农夫选种没什么两样。

这个看法，说对了一大半。

定向进化，确实是育种的试管版。两者的共同点，是人握着记功口，变异靠自然的偶然。

它们有三处不同。

第一，**速度**。农夫选种，一年一代；试管里的细菌，不到一小时就是一代，一天就能筛上好几轮。

第二，**对象**。育种的单位是整株作物、整只动物；定向进化的单位是一个蛋白，甚至是蛋白上的几个位置。

第三，**记功口写得多清楚**。田里的选择，混着天气、土壤、农人的脾气；试管里的筛，写在方案上，改一个数字就是另一本账。

还有人会问：既然人没有设计，只是在挑，那算不算「设计」？

这要看怎么用词。本书的意思是：人没有提出候选。候选是随机冒出来的；人做的，是定筛、留种。所以，它是**选择**，不是设计。

两件事的界线，是第 30 章要用的。设计，意味着有人（或有什么东西）去**提出**候选；选择，只管**挑**。定向进化里，提的是偶然，挑的是人。

◆ 九、它也有走不到的地方

定向进化再好用，也有边界。

它像一个蒙着眼睛爬山的人：每一轮，只能在手边摸到的几步之内，往高处走。只要旁边有一步更高，就走过去；要是四周都比脚下低，就停在那儿，不知道远处有没有更高的山。

用生物学的话说，它容易停在局部的高点上。

另外，每一轮留下的，必须比上一轮至少不差。需要先变差、再变好的路，它不容易走。需要同时改好几个互相配合的位置、单改任何一个都没用的路，它也不容易走〔待核〕。

所以，实验者常常要靠经验，替它选一个好的起点，一步步地小心地走。

这个边界，对下一章很要紧。因为人们很自然地会期待：要是有什么东西，能一步跳到很远的地方，会怎样?

◆ 十、它给 AI 那一编留了什么

把这一章放在 AI 之前，是有用意的。

一，定向进化里，**变异是随机的**。实验者不知道哪一个变异会管用，他也不提候选，只是造出一大批，让筛去挑。

二，**选择是有目的的**。筛的条件，是人定的。

三，因此，定向进化里的「人」，扮演的是第 30 章会讲的三类持有者里的前两类的混合：既像一个无利害的筛（它不关心哪个变异好），又是一个有利害的守门者（筛的标准，是他为了自己的目的定的）。

AI 来了以后，变化发生在第三步之前：AI 不是随机地造变异，而是**提出候选**。它读过大量的序列，能提出「这个值得试」。这一点，是定向进化没有的。

所以，定向进化是一座桥：桥的这一头，是自然界里没有写出来的记功口；桥的那一头，是 AI 流程里，连候选都由 AI 提的记功口。第 29 章先看 AlphaFold 做了什么、没做什么；第 30 章再看 AI 怎样坐上主体位。

◆ 十一、放回日子里

阿远后来把那个耐热酶的结果，拿给陈老师看。

陈老师翻了翻数据，问：「你自己的那七八处改动呢？」

「都没用上。」

「那你这两个月，白推了？」

阿远想了想，说：「不算白。我知道了，我定的那条规矩，比我的聪明重要。」

他翻出自己的实验记录给陈老师看。每一轮后面，他都记了三样：烤了多久，留下了多大比例，留下的那几个，平均比上一轮好多少倍。

「这就是你的账本，」陈老师说。

「我从没这么想过，」阿远说，「我以前以为，记录本是用来存结果的。」

「它也是在存规矩，」陈老师说，「下次别人想重做你的实验，先要看的是这一栏。」

陈老师笑了：「这话，写在笔记本上。」

你也可以试试。想一件你近来在「想办法」的事，问一句：我是在想答案，还是在定规矩？有时候，把规矩定对了，比答案本身更值钱。

这一章落在持有者的利害上。定向进化里的人，既出题，也挑选，也留下结果；挑选的口很清楚，利害也很清楚。试管里的规矩一旦写下来，别人就能复算记账一致性，这是它比野外强的地方。

> 带走的话
>
> **定向进化教的不是怎样想出答案，是怎样把规矩写下来。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「设计一个好分子，必须先懂它」的看法；只要会测、会筛，进化就能替你找路。
>
> 立了什么：立了「记功口可以被单独拧动」：定向进化把原本看不见的记功口，写成了实验条件，握口的人有利害。

第 29 章

AlphaFold 预测了什么

蛋白、分子系统、细胞、生物体，四层分开

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：新闻标题里的一句大话，你读完觉得自己该激动，又隐隐觉得，这句话里少了点什么。

那几天，手机上到处是同一条消息：人工智能解决了生物学上的一个五十年难题。

陈老师把手机递给阿远：「你看看，这说的是什么？」

阿远是做蛋白的，一眼就知道。他说：「是蛋白质结构预测。给一条氨基酸序列，算出它折叠起来是什么形状。」

「那这个难题，解决了，」陈老师问，「生物学是不是就做完了？」

阿远笑了：「老师，要是这样，我们实验室明天可以关门了。」

「可是你们没关门。」

「没关门，」阿远想了想，说，「因为它回答的是一个问题，我们手上还有好多别的问题。」

陈老师点点头：「那你把这句话，替我分一分。」

这一章，就是替陈老师分一分。

◆ 二、它真的做到了什么

先还公道，而且要还足。

蛋白质是由氨基酸连成的长链。链一旦造出来，会自己折叠成一个复杂的立体形状，而这个形状，在很大程度上决定了它能干什么。所以，「知道一条序列折成什么形」，是生物学里一个又老又重的问题。过去几十年，要得到一个蛋白的形状，主要

靠实验：把它结成晶体，用 X 射线照；或者用冷冻电镜去看。一个结构，常常要花几个月甚至几年〔待核〕。

「给序列，算形状」，被称作蛋白折叠问题，已经有大约半个世纪的历史〔待核〕。

它的起点，是一个朴素的发现：二十世纪七十年代初，安芬森（Christian Anfinsen）等人的实验表明，一条链的氨基酸顺序，就已经足够决定它折成什么形〔待核〕。这给了人们一个希望：既然顺序决定形状，那么应当能从顺序算出形状。

不过，难处在于数字。一条链可以有的折法，多到天文数字，列文塔尔（Cyrus Levinthal）在六十年代末就指出过，真让它一种一种地试，宇宙的年龄也不够〔待核〕。细胞里的蛋白，几毫秒到几秒就折好了。它是怎么做到的？这成了一个老谜。

为了检验大家到底算得有多准，学界从 1994 年起，每两年办一次盲测竞赛，叫 CASP：主办方先拿到刚测出来、还没公开的结构，让各个团队去预测，最后对答案〔待核〕。二十多年里，进展很慢。

2018 年的第十三届，DeepMind 的第一版 AlphaFold 已经拿了第一名，引起了注意〔待核〕。2020 年的第十四届，第二版取得了接近实验精度的成绩，让整个领域的人大吃一惊〔待核〕。2021 年，约翰·江珀（John Jumper）、戴密斯·哈萨比斯（Demis Hassabis）等人发表了方法和结果〔待核〕。随后，AlphaFold 预测出来的结构，被放进了一个公开数据库，供全世界的研究者查阅。数据库最初收了几十万条，到 2022 年扩充到两亿多条〔待核〕。

这件事的价值，不应当被轻描淡写。过去需要几个月的工作，现在往往几分钟就能得到一个相当可靠的初稿。许多实验室因此省下了大量的时间，把力气用到了别的问题上。对从事冷门疾病、冷门物种研究的人来说，这是一份实实在在的礼物。

它的用处也已经落到了具体的研究里。比如，有研究团队把预测结构和低分辨率的实验图像拼在一起，帮助解出了一些过去很难看清的大型分子机器〔待核〕。预测先给出一个初稿，实验再来核对和修改，两者互相搭手。

所以，本书对这项成就的态度是：**它是真的，而且很大。**

◆ 三、它站在谁的肩膀上

还公道，还有另一半：公道不只归 AlphaFold 一家。

它是怎么学会的？它读的是前人积累的材料：几十年里，世界各地的实验室，用晶体、用冷冻电镜，一个一个地把蛋白的结构测出来，存进一个公共的结构库〔待核〕。这个库里的每一条，背后都是某个实验室几个月甚至几年的工作。

没有这个库，就没有今天的预测。

这样看，AlphaFold　的成绩，是一本很厚的账累出来的。记在它名下的，是把这本账读通的那一步；记在无数实验室名下的，是写下这本账的每一笔。

这一点，对后面几章有用。它说明：就连一个看上去「无中生有」的新工具，也有一条来历，也有一份欠了谁的账。

它还有一个更实际的后果：结构库里，容易结出晶体、容易测的蛋白占多数。难测的，比如嵌在细胞膜里的、天生没有固定形状的，相对少〔待核〕。读数的缺口，会原样传给学它的人。

◆ 四、它自己说「不太确定」的地方

AlphaFold　有一个很朴素的好习惯：交答案的时候，它会给每一处附一个把握的评分。

阿远给陈老师看过。屏幕上是一个蛋白的三维彩带，大部分是深蓝色，表示它很有把握；有几段是橙黄色，表示把握很低。

「这几段，它为什么说不准？」陈老师问。

「有两种可能，」阿远说，「一种是它没学到。另一种，是这一段本来就没有固定的样子。」

「蛋白还有没有固定样子的？」

「有，」阿远说，「不少。它们像一截绳子，平时是软的，遇到别的分子才临时摆出一个形状。」

陈老师盯着那段橙黄色，看了一会儿：「所以它的不确定，也是一种读数。」

「对，」阿远说，「它有时是在告诉你：这儿本来就不是一个定型的东西。」

AlphaFold 的局限，大概有这几处。它给出的是一张静态的照片，而蛋白在细胞里是会动的〔待核〕。它擅长预测一个蛋白「平常」的形状，对一个小小的突变会把形状和功能改成什么样，把握就差得多〔待核〕。后来的版本，把预测的范围扩展到了蛋白和核酸、小分子的复合体，不过准确度和稳定性，各类情形并不一样〔待核〕。

这些局限，不是对它的挑剔。能这样老实地说清自己哪里不行，是一件工具成熟的标志。

◆ 五、四层分开

接下来，要做陈老师交代的事：分一分。

生物学里的「一个东西」，要放在四层楼里看。每一层楼，问的问题都不一样。

第一层，蛋白。问的是：这条链，折成什么形？

这是 AlphaFold 做得最好的一层。给它序列，它给出一个三维的形状，并且附一个它自己对每一处有多大把握的评分。

第二层，分子系统。问的是：这个蛋白，和谁结合？结合以后怎样动？

蛋白很少单独干活。它要和另一个蛋白合成复合体，要和小分子药物结合，要和 DNA、RNA 打交道。而且，它不是一个静止的雕塑，它会弯、会摆、会在不同的形状之间切换。AlphaFold 的后续版本，在预测复合体方面有了进展〔待核〕，但这一层整体上仍然比第一层难得多：动态的变化、不同条件下的差别，仍是研究者仍在攻克的问题〔待核〕。

第三层，细胞。问的是：这个蛋白，在细胞的哪个地方、什么时候、跟多少其他分子一起干活？

细胞里是一个极拥挤的世界，几千种蛋白同时在场，有的被修饰，有的被降解，有的被运到别处。知道一个蛋白「长什么样」，不等于知道它在细胞里「干什么」。这一层，目前主要靠实验，预测只能提供线索。

第四层，生物体。问的是：这个蛋白，进不进某一条谱系?

一个蛋白，要对一个生物体产生持久的影响，要么它的基因被写进了某个生物的基因组，要么它被某一个流程，一代一代地制造出来、保存下来。它能不能「进」，不由它自己的形状决定，而是由**谁在记账**决定：一个生物体里，哪一份后代被记下来；一个实验室里，哪个候选被留下来；一个育种项目里，哪个品种被推广。

四层楼，一层比一层更靠近「活着」，也一层比一层更远离「形状」。

四层楼，验的办法也不一样。

第一层，拿预测去对照实验测出来的结构，差多少，一目了然。第二层，要做结合实验，看两个分子是不是真的抱在一起，抱得多紧。第三层，要靠显微镜和各种标记，看它在细胞里到底待在哪儿。

到了第四层，验的办法就变了：要看这个东西，有没有被某一条谱系带到下一代，带了几代，是谁在带。

前三层，一个实验员一个下午可能就有结果。第四层，常常要几年，甚至几十年。

◆ 六、前三层是读数，第四层是记功

这里，要用到本书一路在用的两个词。

第 21 章说过，**读数**是我们对一个东西量到的样子：序列、结构、表达量、种群频率。读数可以很准，很有用，但它回答的是「它现在是什么样」。

记功则是另一回事：这一份后代、这一个效果，算在谁的名下，被谁的谱系带到下一代。

AlphaFold 的四层里，前三层，都是读数。第一层的读数，是形状；第二层的读数，是结合的情形；第三层的读数，是在细胞里的位置和活动。它们越来越复杂，也越来越难测，但都是「量到的样子」。

第四层，是记功。它不是一个更难的读数，而是**另一种问题**。你可以把一个蛋白的形状算到小数点后好几位，却仍然不知道它会不会被某一条谱系留下，也不知道它留下以后，算谁的。

生物学里有一个老例子，可以帮你看清这一点。有的动物眼睛晶状体里，那些让它透明、能聚光的蛋白，在身体别处原本是做代谢工作的酶，后来在眼睛里被征用了〔待核〕。同一种形状，进了不同的谱系、不同的位置，担的功能就不同。形状没变，变的是它被记在了哪里。

所以，下面这句话，是本章要带走的：**知道它折成什么形，还不知道它算谁的**。

这不是在贬低 AlphaFold。恰恰相反，只有把它的位置说准，才能看出它真正的价值：它把第一层这一间屋子，几乎照得透亮，让人们可以把力气花到楼上去。

◆ 七、预测不等于坐上主体位

再说一件容易混的事。

有人会问：AlphaFold 这么厉害，是不是已经「坐上主体位」了？

第 30 章会把「主体位」完整地讲出来。在这里只先说一句：主体位指的是，能提出、挑选、否决。

AlphaFold 做的，是**预测**：你给它一个序列，它告诉你可能的形状。它不提出新的序列，不在一堆候选里挑，也不否决任何东西。提出、挑选、否决，仍然是用它的人在做。

所以，AlphaFold 本身，更像一个很好的读数仪器：像显微镜，像测序仪。它的出现，让读数这一层变得更便宜、更快。

真正让账本发生变化的，是它被接到后面的流程里：有人用它去评估大批候选，把评分最高的留下，其余的丢掉。这时，评分成了筛，筛接上了设计流程，记功口才开始改变。这一步发生在 AlphaFold 之外，是下一章的话题。

◆ 八、一个小的对照

用一个生活里的例子，把「读数」和「记功」的差别再说一遍。

设想你开了一家小饭馆。你装了一台很好的称，能精确到克；还装了一个很准的温度计，能测每一道菜出锅的温度。你的读数，比以前准得多。

可是，哪道菜该留在菜单上，哪道该撤，称和温度计不会告诉你。那是你，或者你的客人，用脚投票决定的。菜单，才是饭馆的记功口。

称越准，你对每一道菜知道得越多；但菜单上写什么，仍然是另一件事。

AlphaFold 是一台极好的称。它让「这道菜是什么样」这件事，变得又快又准。至于哪道菜上菜单，是下一章要问的。

◆ 九、有人会说：预测这么准，生命不就是物理吗

对 AlphaFold，有一种很强的感叹：既然一条序列就能算出形状，是不是说明，生命的事，说到底都是物理的计算，不需要别的解释?

这句话，对一半是真的。

折叠这一层，确实主要是物理和化学在起作用。AlphaFold 的成功，也让这一层变得更透明。本书没有任何理由否认这一点。

可是，这句话只在第一层楼里成立。到了第四层，问题不再是「它折成什么形」，而是「它进入哪一条谱系」。这个问题，物理算不出来。

就像你能把一枚硬币的重量、直径、成分算得清清楚楚，却算不出它在谁的口袋里。

所以，两种说法并不冲突：折叠是物理的，记账是谱系的。前者读得越准，越有利于看清后者缺了什么。

◆ 十、放回日子里

后来，陈老师在课上，用了一个办法给学生讲这件事。

她在黑板上画了四层楼，从底下往上，写着：蛋白、分子系统、细胞、生物体。

「新闻上说的『难题』，」她拿粉笔点着最底下一层，「在这儿。」

学生问：「那后面三层呢？」

「后面三层，」陈老师说，「有的是慢慢在做，有的是根本不是同一类问题。」她点着最上面一层，「尤其这一层：它不是『算得更准』，是『记在谁名下』。」

有个学生举手：「老师，那是不是说，AI 帮不上最上面这一层？」

陈老师笑了：「这个问题好。你留着，下一章我们接着说。」

下课以后，一个扎着马尾的女生留了下来，她小声问：「老师，我还要不要学生物？」

陈老师把粉笔放回盒子里，说：「你们这一代，会比我们更早知道一个蛋白长什么样。」

女生点点头。

「所以，」陈老师说，「你们要更早去问，这个东西，在谁的身体里，为什么留在那儿。」

女生想了想，把本子翻开，在第一页写上了这一句。

你也可以试试。下次看到新闻上说「某某问题被解决了」，先问一句：解决的是哪一层？读数这一层，还是记账那一层？

这一章落在记账一致性上。预测一个蛋白怎样折，是一回事；这个蛋白在细胞里被记到谁名下，是另一回事。折叠预测得再准，记账一致性仍然是空的，要靠别的东西去填。

> 带走的话
>
> **知道它折成什么形，还不知道它算谁的。** ◆

> **小 账**
>
> 拆了什么：拆了「AI　解决了折叠难题，生物学就做完了」的印象；蛋白一层的读数，不等于其余三层。
>
> 立了什么：立了四层分开：蛋白、分子系统、细胞是读数，生物体一层是记功；预测不等于坐上主体位。

第 30 章

AI 坐上主体位

无利害而能提出候选的记功口，从 Top7 到 2024 年诺贝尔化学奖

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：东西多到看不过来，你只好让别的什么替你先挑一遍，然后发现，自己看到的，只是别人挑剩下的。

阿远搭了一套蛋白设计的流程。前一天晚上，他设好目标，让它自己跑。早上打开电脑，屏幕上是一份清单：一夜之间，流程生成了几千个候选序列，每一个后面都跟着一串评分，最前面的十个排在最上面。

他只看了前十个，挑了三个，送去合成。

陈老师那天正好来实验室，站在他身后看了一会儿。

「剩下那几千个呢？」她问。

「没看。」

「是谁不要的？」

阿远张了张口，想说「是我」，又觉得不对。他确实没有一个一个地否决过它们。他说：「是流程。」

陈老师没有追问，只是点了点头，说：「你记下这个问题。」

这一章，就是要把这个问题记下来。

◆ 二、主体位是什么，不是什么

先下定义，再往下用。

在本书里，**主体位**指的是：能提出、能挑选、能否决。

这三件事，缺一不可。只能提出，不能挑，是个灵感库；只能挑，不能提出，是个筛子；能挑，但没有否决的权，是个顾问。三件事握在同一个位置上，才叫坐上了主体位。

放在一个设计流程里看，这三件事各有一个很具体的样子：提出，是生成候选；挑选，是给候选排序；否决，是在某一个分数线上截断，让分低的不再往下走。

这个词，在这里有一个必须同时说出口的限定：**它不等于有意识**。

本书不说 AI 有没有感受，有没有想要的东西，有没有一个「我」。那是另一类问题，本书不碰。本书只问一件可以看得见的事：在一个流程里，谁在提出候选，谁在从候选里挑，谁的否决真的会让一个东西进不了下一轮。

回头看第 24 章讲的：人和工具，几千年来就是一个复合体，同时带着主体、客体、互动三头。人带来主体的一头，工具带来客体的一头。

几千年里，工具坐的位置，要么是**客体位**：被拿起来、被摆在桌上，像犁、像簿子；要么是**互动位**：处在人和对象之间的往来里，像望远镜、像显微镜、像测序仪，它们改变人看到什么，却不替人提出，也不替人挑。

提出、挑选、否决，一直是人的事。

◆ 三、从 Top7 到诺贝尔奖

这件事是怎样一步步变化的，要从一个小蛋白说起。

2003 年，华盛顿大学的戴维·贝克（David Baker）实验室，在《科学》杂志上发表了一个名叫 Top7 的蛋白〔待核〕。库尔曼（Brian Kuhlman）等人用计算的方法，设计出了一个**自然界里没有见过的折叠方式**。他们又用实验验证：造出来的蛋白，真的折成了设计的样子，精度达到原子的水平〔待核〕。

这是一个标志。在此之前，人们改造蛋白，多半是在自然已有的蛋白上修修补补。Top7 是第一次，人用计算，从头画出一个自然没有的形状，并且让它真的立起来。

打个比方：以前的人，像修复古画的师傅，在原作上补一块、描一笔；Top7 是第一次，有人在白纸上起了稿，而且这幅画挂得住。

Top7 背后有一套软件，叫 Rosetta〔待核〕。它是贝克实验室和合作者们二十多年里一点一点攒起来的，靠的是物理规律和已知结构里总结出的经验。那时的做法，更像一位经验丰富的工匠：先画好蓝图，再算一遍，哪一种排列最稳。

接下来的故事，并不是一路凯歌。2008 年前后，同一个领域的团队尝试用计算从头设计能催化反应的酶〔待核〕。做出来的酶确实有活性，不过活性很低，离天然的酶差得很远。后来，有研究者把这些设计出来的酶，再放进定向进化里一轮轮筛，活性才升上去〔待核〕。

你看，这两个故事接上了：计算负责提出候选，试管里的筛负责挑，两道记功口前后相接。第 28 章讲的那座桥，就这样通了。

再往后二十年，这条路越走越宽。

机器学习方法进入蛋白设计。有的方法，反过来利用结构预测网络，让它「想象」出一个能折叠的序列〔待核〕；有的方法，在给定骨架后，由神经网络来排序列〔待核〕；近几年出现的、基于扩散模型的方法，可以按照要求生成大量全新的蛋白骨架，再配上序列〔待核〕。要求可以是：和某个靶点结合，或者形成某种孔道，或者催化某个反应。

2024 年，诺贝尔化学奖一半授予贝克，以表彰他在计算蛋白设计上的贡献；另一半由哈萨比斯和江珀分享，以表彰蛋白结构预测〔待核〕。这是一个值得记下的并排：一边是「设计」，一边是「预测」，正好对应上一章分开的两件事。

这一路的变化，不在于蛋白设计这件事本身，而在于**谁在做提出和挑选**。早期，人读完文献，定下目标，一点一点地改；后来，机器开始提出大量的候选，并给它们打分；再后来，机器生成的候选里，由机器的评分决定哪些送去合成，哪些就此作罢。

◆ 四、一夜里的几千个：设计流程长什么样

现在，回到阿远的屏幕前。

一个现代的蛋白设计流程，大致是这样转起来的，这里只讲轮廓。

先是目标：人说出想要的东西，比如「能抓住这个靶点的蛋白」。然后是提出：机器大量生成候选。接着是打分：用各种评分，估计每个候选折得稳不稳、抓得牢不牢。再是排序：分高的在前，分低的在后。最后是截断：只有前面一小部分，被送去真实的实验。

实验的结果再回来，成了下一轮的材料。

这条回路里，有一处特别要紧，是**真实的实验**。机器打分打得再高，也只是预测。蛋白最后能不能表达出来、能不能折对、能不能起作用，要由试管里的结果说了算。有研究者提醒过，设计流程里评分很高的候选，真做出来，很多是不成的〔待核〕。这是一道老实的闸门。

不过，请你注意截断那一步。

被截断的那几千个，没有一个被人亲眼看过。它们在被实验检验以前，就已经因为分数低，退出了。这一步，没有人喊「不要」，是一个阈值，悄悄地做了否决。

这正是陈老师那一问的所指。

◆ 五、三类持有者

现在可以把第 12 章留下的账，收在这里。

记功口总要有人（或者什么东西）握着。把握口的东西按有没有利害分，大致有三类。

第一类，无利害的筛。例子是自然环境。冬天的冷、干旱、天敌，把一些个体筛掉，把另一些留下。它没有目的，不在乎结果；但它也**不提出任何候选**，只是被动地挑。

第二类，有利害的守门者。例子是育种者、实验者、挑种的农人。他们有自己想要的东西：产量、外形、一个耐热的酶。他们既挑，也在一定程度上提候选（比如选择亲本、设计杂交）。他们的利害，会把谱系往自己想要的方向拉，第 24 章、第 25 章、第 27 章讲的，都是这一类握口的好与偏。

第三类，无利害而能提出候选的设计者。例子是 AI 设计流程。它能大量地提出自然界没有的候选；它能打分，排队，决定谁往前走。同时，在**它自己这一头**，它对被挑出来的东西最后活得怎样、长成什么样，没有利害：它不会因为某个蛋白更成功而得到什么，也不会因为失败而失去什么。

这三类放在一起看，第三类是前两类所没有的组合：像自然环境一样，没有私心；像育种者一样，会提主意。

换到你天天碰到的东西里，也找得到这三类。投票选歌，是第一类：成千上万的耳朵，各凭喜好，没有谁在乎结果。唱片公司的签约，是第二类：有人替自己的买卖挑。手机里的推荐，则有点像第三类：它能源源不断地提出候选，也替你排好队，但它自己并不会因为你看了什么而高兴或难过。

不过，推荐的背后，仍然拴着平台想要的东西。这一点，和蛋白设计流程是同构的：机器那一头没有私心，整条链却被目标拴着。

这是本章的判断，也是整个第四编的反差：**从前握记功口的都有利害，AI 第一次没有**。

◆ 六、这里要说清的一个限定

写到这里，必须把一个限定写在纸面上，免得被读成别的意思。

「无利害」说的是：**AI 这一头**，对被它挑出来的东西最后怎样，没有利害。

它没有说：整个流程没有目的。

流程里的目标，是人定的：要一个和某个靶点结合的蛋白，要一个耐高温的酶。评分函数，也是人选的，或是人训练的。这些，仍然带着人的利害，甚至带着人没有察觉的偏。

所以，更准确的说法是：在一个 AI 设计流程里，**目标由人给，提出与挑选由机器做**。机器自己没有利害，但它挑的方向，被人给的目标和它学到的数据牢牢地拴着。

还要补一句：没有利害，不等于没有偏。流程的评分，是从已知的蛋白里学来的，已知的蛋白里有什么偏，评分里就带着什么偏。偏爱某一类形状，轻视另一类，机器自己不知道，也不会难过。

这个限定，不是在削弱本章的判断，而是在让它站稳。因为它指出了问题所在：当一个没有私心的东西握着记功口，**谁来对它的「挑」负责**，就成了一个悬空的问题。

自然环境没有私心，但没人要求它负责，它也不提候选；育种者有私心，但他的私心，就是他的责任所在，出了问题，可以问他。第三类持有者，两头都不挨。这一点，第 31 章会接着说。

◆ 七、有人会说：目标是人定的，主体当然还是人

这是对本章最自然的反对意见。

它说：目标是人定的，筛的标准是人选的，最后送去合成的也是人签字的。机器不过是个很快的助手，怎么能叫坐上主体位?

这个意见里，有一半是对的，上一节已经承认了：目标由人给。

可是请你换一个场景想。

一位老板，每天早上收到秘书起草的十份文件，他签字，或者不签。老板握着签字权，这没错。可是这十份文件，是秘书从几百份里挑出来、改写好的；他从来没看见另外几百份。他能选的，只有秘书摆在桌上的这十份。

谁在决定老板能选什么?

这就是本章要说的。**候选的边界，是提出的一方画的**。人可以在候选里选，却很难选到候选之外。当提出候选的那一方，一夜之间能出几千个，而人只能看十个，真正的筛选，早在人看见之前就已经发生了。

所以，本书不说人退出了。本书说的是：「提出」和「挑选」，这两件原来握在人手里的事，现在有一大块，握到了机器手里。人还握着目标，握着最后的签字，但中间那一大段，已经不是人在走了。

◆ 八、默认放行的重量

还有一件小事，常被忽略：流程的**默认值**。

一个流程，默认怎么走，影响极大。默认放行的意思是：机器排在前面的，自动往下走，除非有人拦下来。默认拦下的意思是：机器排在前面的，也先停住，要有人明确点头才往下走。

两种设计，写出来只差一个字，实际的效果差很多。

心理学里有一个说法，叫自动化偏见：人倾向于相信机器给的建议，尤其是在忙的时候〔待核〕。你让一个疲惫的人，在默认放行的流程里，去逐个审查机器的排序，他多半会放过去。

所以，到底谁握着否决权，不能只看流程图上有没有一个「人工审核」的框，要看这个框，是默认放行，还是默认拦下；人有没有时间、有没有信息，真的去拦。

这个问题，到第 31 章会变成治理的问题。

◆ 九、被丢掉的那些，谁来数

还有一种账，最容易漏：被丢掉的那些。

流程只会告诉你它选了什么，不会告诉你它错过了什么。一个候选因为评分低被丢了，它在真实里到底行不行，你永远不知道，因为你没有把它送去试。

这是所有筛选都有的盲点，公司的简历关、比赛的初赛，都一样。区别在于，蛋白设计的流程一夜能丢几千个，盲区也成了几千倍。

有一个朴素的办法，很多地方在用：**留一格随机**。每一轮，除了送去实验的前十名，另外从被丢掉的里面，不看分数，随机抽几个也送去。

它的作用有两个。一是纠错：如果这几个随机抽的，表现并不比前十名差，说明评分有问题。二是探索：偶尔会撞上评分看不上、实际有用的东西。

代价是多花一点材料和时间。可是它让账本里多了一栏：被丢掉的那些，不再是「想当然地不要」，而是有数可查。

阿远后来在笔记本上，把这个办法写成了一句话：「每一轮，留一格给我不相信的。」

◆ 十、真实的增益，和治理

先把话说在前头：这一章不是在说 AI 设计蛋白是件危险的事。

它的增益是真实的，而且在持续地兑现。

新的酶，可以催化自然界里没有、或者效率很低的反应，可能用于更清洁的化工、塑料降解。新的结合蛋白，可以成为诊断试剂，或者药物的候选。有些通过计算设计的蛋白，已经走到了疫苗等应用的阶段〔待核〕。对于一些过去靠运气、靠多年积累才能做出来的东西，现在的流程能把时间缩短很多。

再具体一点：2022 年，一种以计算设计的蛋白纳米颗粒为基础的新冠疫苗，在韩国获批〔待核〕。这是一个标志：从屏幕上的设计，走到了人的手臂上。

也要说一句不好听的实话：并不是每个设计出来的候选，都走到了病人手里。有的在后期因为各种原因被放弃〔待核〕。设计出来，只是第一步。

对许多正在等药的病人来说，这些增益不是抽象的，是一个实实在在的盼头。

与此同时，因为握口的方式变了，治理要跟着换一个问法。过去问：这个育种者有什么利害？现在要问：

第一，谁定了目标？目标写在哪里，别人看得见吗？

第二，筛是怎么筛的？评分函数是什么，训练数据来自哪里，有没有系统性的盲区？上一章说过，这些数据，是无数实验室几十年的辛苦攒出来的，这笔账也别忘了。

第三，谁能否决？机器的排序，是不是最终结论？有没有一个明确的环节，由负责的人，把机器认为最好的候选否决掉？

第四，被挑出来的东西，登记在谁的名下？

这四问，不是新的法条，而是一个思考的起点。它们的共同指向是：握口的东西没有私心，所以要由人把「户名」补上。

2024 年 3 月，蛋白设计领域的一批研究者，发表了一份公开的声明，承诺负责任地使用这项技术〔待核〕。这类自愿的承诺，是一个开头。

这个领域的另一个好传统，也要记上：许多设计工具和方法，是公开的，供同行复现和检验〔待核〕。能被别人检查的流程，才谈得上有人负责。

◆ 十一、放回日子里

那天晚上，阿远没有马上回家。

他把前一晚的流程重新打开，翻到后台，找到了那份被丢弃的几千个候选的清单。他不可能一个一个地看，但他做了一件事：随机抽了五十个被丢弃的，看它们为什么得分低。

大部分，确实是该丢的。但有三个，他看了很久，觉得它们的评分低，是因为流程的评分偏爱某一种形状，而这三个，恰好是另一种形状。

他在笔记本上写了一行字：「流程挑的，不等于我不要的。」

第二天，他在实验记录里，多加了一栏：本轮筛选的目标、评分依据、被丢弃的候选的抽查结果。

周五组会上，他把这一栏拿出来讲。师兄皱了皱眉：「抽查五十个，要花半天。你每一轮都这么做，谁还有时间做实验？」

阿远说：「我也这么想过。」

两个人争了一阵。最后，他们定了一个折中的办法：不是每一轮都查，而是每个月抽查一次，并且把抽出来的那几个，留在记录里。

课题组负责人听完，没有表态，只在会议纪要上多写了一行：下个月，由谁来抽，写明名字。

陈老师后来翻到这一页，只说了一句：「这就是在给它找户名。」

你也可以试试。下次你用一个工具替你筛选东西，不管是简历、推荐、还是评分，问一句：被它丢掉的，我看过几个？

这一章落在持有者的利害上。AI 提出候选，没有利害；挑选的人有利害，所以账最终仍然要由有利害的一方认。无利害而能提出候选，这是它的位置；它不会替谁承担后果，这是它的边界。

带走的话

从前握记功口的都有私心，AI 是第一个没有私心、却会出主意的。 ◆

小账

拆了什么：拆了「工具永远只是工具」的看法；几千年里工具只坐过客体位和互动位，而提出、挑选、否决，一直是人的事。

立了什么：立了主体位（能提出、挑选、否决，不等于有意识）和三类持有者，AI 设计流程是无利害而能提出候选的那一类；并写明限定：目标仍由人给，机器的「无利害」只在它自己这一头。

第 31 章

无主之功

有效果、无谱系的蛋白——AI 新型危机，与生物安全、双重用途

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一份东西做得很好，交上去，对方只问了一句话，你发现自己准备了所有的答案，唯独没有准备这一句。

阿远的论文投出去两个月，审稿意见回来了。大部分意见是技术上的：对照不够，重复次数不够，一张图的坐标要改。他一条一条地回，回得很顺。

最后一条，是另一位审稿人写的，只有一句话：

「如果有人拿这个蛋白去做坏事，这算谁的？」

阿远对着屏幕坐了很久。他想过很多种答法。算设计流程的？流程是一套软件，软件没有「算谁的」这个概念。算他的？他只是设了目标、挑了三个送去合成。算审稿人自己所在的期刊的？算将来用它的人的？

每一个答案，他写下来，又删掉。每一个都有一点道理，每一个都不能完全站住。

他给陈老师发了一条消息：「老师，我第一次不知道，一件事算谁的。」

陈老师回得很快：「好。你碰到的，是这本书最想让你碰到的那一处。」

◆ 二、有效果，无谱系

先把现象完整地说出来。

第 19 章提过沼泽人。那是哲学家戴维森（Donald Davidson）设想的故事：一个人在沼泽里被雷劈死，同一刻，旁边的烂泥因为巧合，聚成了一个和他一模一样的东西，走出沼泽，过起他的日子〔待核〕。这个故事问的是：这个新东西，说的话有意义吗，有的话，意义从哪来？

在那一章里，本书借它说的是功能：一个东西的功能，是不是由它的来历决定？本书的回答是：功能不由来历定，由记账定。

现在，这个思想实验落了地。

AI　　设计出来的蛋白，是第一批真实的沼泽人。它们没有祖先：没有哪一条谱系，曾经靠着类似的东西活下来。它们有效果：能折成想要的形状，能和靶点结合，能催化反应。

本书把这种状态，叫作**无主之功**：效果真实，却没有任何谱系靠它持存。

「无主」二字，容易被读歪，所以要再说一遍：它不是说这个蛋白没有用，也不是说没有人在意它。它可能很有用，很多人都在意。无主，说的只是：**它没有一个被记着的户头**。

它的效果，只有当某一道记功口，把它记到某条谱系的名下，才成为功能。比如，某个团队把它放进一个菌株里，这个菌株的每一代，都带着它，并且因为它的效果被保留，这时，它就有了户名，有了功能。在那之前，它是有效果，没功能；有结构，没来历；有用处，没主人。

◆ 三、为什么这是新危机

前面三章，讲的是三种危机。

层断裂，讲绿色革命：产量涨，多样性退，各层之间断了。一角独大，讲癌：一个角膨胀，另两个塌陷。目标空转，讲近交犬种：同一把尺，越量越对不上日子。

这三种危机有一个共同点，今天回头看才看得清：**每一种里，都有一个握着记功口的人或东西，可以指着问：这是谁记的？**

绿色革命有育种者和推广体系。癌里有身体的约束机制，虽然漏了，但那套约束机制本来是有位置的。近交犬种有血统簿和评委。出了问题，可以问到人，或者问到一套明确的制度。

无主之功不同。它是这样一种局面：

设计者说：我只是设了目标，是流程提出的候选。

流程是一套软件，它没有利害，也没有「负责」这个概念。

使用者说：我拿到的就是这样，我只是用了它。

谱系呢？没有谱系，因为它还没被任何一条谱系记过。

于是，一个真实的效果，在整条链上，没有任何一个位置，天然要为它负责。

这不是因为谁偷懒，也不是因为谁恶意，而是结构上就是这样：握口的东西没有利害，而有利害的人，只握着目标，没握着每一次的挑。责任在这条链里，被稀释得没有落点。

这就是本书说的 **AI 新型危机**。

说明：判定顺序。

本书把当代的危机分成四型，判定时按固定顺序问：**先问是不是 AI 新型（无主之功），再问层断裂，再问一角独大，最后问目标空转。** 章序按故事讲，先讲驯化、绿色革命、癌、近交犬种，最后才讲 AI；判定序则反过来，先问最新、最特殊的一型，因为只有它不能被其余三型装下。第 25、27 章里各有一句，说的是同一个顺序。

◆ 四、有人会说：新药也没有谱系，这有什么新

对这一章，有一个很自然的反对意见。

它说：人工合成的新药分子，也没有祖先，也没有谱系，也是「有效果、无谱系」，社会不是照样管得好好的吗？无主之功，是不是把一件旧事换了个新名字？

这个意见值得认真回答，因为它提醒了一件事：**没有谱系的东西，人类一直在造，也一直在管。**

一种新药，从实验室走到病人手里，要经过长长的一串登记：化合物是什么结构，哪一批生产，谁申请，谁持有上市的许可，出了不良反应报给谁。每一个环节，都有一个明确的名字挂着。「上市许可持有人」，这个词字面上就是一个户名。

所以，无主之功，并不是说「没有谱系的东西本身是危机」。

新处在这几个地方。

第一，**量和快**。一个传统的药物项目，候选的数量有限，每一个都有化学家和药理学家盯着。现在，一个流程一夜能出几千个。

第二，**提出的一方没有利害**。传统的候选，是某个人或某家公司，为了自己的目标造出来的，出了事找得到人。

第三，**登记的习惯没有跟上**。药企有登记的传统，因为法规逼着；大学的实验室，常常是写在笔记本里，换了人，就丢了。

第四，**一旦被某条谱系带走，就会自己延续**。一份化学品，要靠一批一批地生产；一个蛋白的信息，一旦被写进了某个能繁殖的细胞，就可以随着那条谱系，自己往下传。这是它和普通化学品的差别，也是为什么，户名对它格外要紧。

所以，新药的故事不是反例，而是一个参照：人类早就知道怎么给没有谱系的东西找户名，只是对这批新东西，还没有来得及。

◆ 五、双重用途：只讲概念，不讲做法

这一章必须碰到一个沉重的话题：双重用途。

先说清本书的边界：**本书只讲概念、历史和治理原则，不写任何可以照着做的步骤，不点名任何具体病原体或毒物，不给序列、不给参数**。这条线在这里划得很死，不因为任何理由移动。

概念本身，并不复杂。双重用途，指的是：同一项技术，可以用来做好事，也可以用来做坏事，而且两种用法，在技术上的差别，可能很小。

2022 年，有研究者在一篇评论里指出了一个令人不安的事实〔待核〕。

一个原本用来**帮助药物研发、避开有害性**的 AI 模型，原则上，只要把它的目标方向反过来，就会倾向于往有害的方向去找。他们写这篇评论的意思，不是教人怎么做，而是提醒这个领域：工具本身并不带着方向，方向是目标给的，而目标是可以被改的。

另一个例子，发生在 2024 年底。一批科学家联合发表文章，警告一类叫「镜像生命」的设想所带来的风险〔待核〕。他们的意思是，在目前对这类东西的了解和防护水平下，不应当去造它，应当先把风险想清楚。这是一次科学家**主动给自己的方向画线**的例子。

这两件事合起来，说明了双重用途的实质：**不是某个东西本身危险，而是它没有户名时，谁都可以往自己想要的方向拉**。

这与本章的主题是同一个结构。

◆ 六、科学家给自己画过线

这不是科学家第一次面对这种局面。

二十世纪七十年代初，分子生物学家刚学会把不同来源的 DNA 拼接在一起。他们很快意识到，这项新本事的后果，自己也说不准。

1974 年，一批研究者联名呼吁，在评估清楚风险之前，暂停某几类实验〔待核〕。1975 年，他们在美国加州的阿西洛马（Asilomar）开了一次会，讨论怎样安全地继续往前走〔待核〕。会上定下的原则，后来成了许多国家制定相关规则的基础〔待核〕。

这件事常被当作一个榜样来讲，因为它有几个特点：由做研究的人自己先开口；在技术还很新的时候就开口；没有一刀切地禁止，而是按风险的高低，分了等级。

当然，它也有人批评：有的人觉得管得太松，有的人觉得管得太严。本书不替这场争论判胜负。要取的是它的做法：在一项新本事出现的早期，有人愿意坐下来，给它找一个可以管的样子。

2024 年，那一批关于「镜像生命」的联合警告，是同一个传统里的新一笔。

这些做法有一个共同点：它们都是在**还没有出事的时候**，先把户名的问题摆上了桌。

◆ 七、先还现有治理一个公道

在往下说「怎么办」之前，要先承认，已经有很多人在认真地做事。

生物安全领域，早就有一套相当成熟的做法〔待核〕。有实验室的生物安全等级，有机构内部的审查委员会，有对涉及危险病原体研究的特别审查。科学期刊对双重用途研究的审稿把关，对 DNA 合成订单的筛查，也在其中。近年来，AI 领域也出现了越来越多的自愿承诺和行业指南。

这些做法，保护了很多东西，值得被认真对待。

本书想指出的，只是一件事：这些做法，大多**默认有一个明确的持有者**。是某个实验室，某个研究者，某个机构，某家公司，需要负责。它们面对的是「有利害的守门者」这一类。

无主之功的新处，在于：当候选是由一个没有利害的流程大批量提出、又按它的评分排序的时候，「谁是持有者」这个问题，本身需要被重新回答。

◆ 八、能不能一禁了之

读到双重用途，有人的第一反应是：既然危险，干脆禁了吧。

这个反应可以理解，可是它有几处不好办。

第一，益处是真的。第 30 章说过，新酶、新药、新疫苗，都从同一条路上来。一禁，好的坏的一起没了。

第二，禁令得有对象。你要禁的是什么？一个蛋白，一种方法，一类目标，还是一群人？无主之功最难的地方，恰恰是它的边界不清：同样的工具，同样的流程，用在不同的目标上，外面看几乎一模一样。

第三，禁令得有人守。一项技术散在成千上万个实验室里，禁令靠谁去查？查得到的，是有户名的；查不到的，是没有户名的。结果是，守规矩的人被管得更紧，不守规矩的人反而躲进了没人登记的角落。

所以，治理的重点，不在一刀切，而在**分级**和**留痕**：风险越高的环节，登记得越细，核准得越严；风险低的环节，让路给好处。这是前面几十年里，生物安全领域已经摸索出来的一条路〔待核〕。

本书不替任何一方开药方。这几句，只是说明为什么，本章的落点是户名，而不是禁令。

◆ 九、给它找一个户名

那么，怎么办？

本书不替任何一方开药方，也不评价任何国家或政党的做法。本书能给的，是一个思考的框架：**无主之功，缺的是户名，所以治理的落点，就是把户名补上。**

户名，其实是三样东西。

第一，谁登记。这个效果，被记进了哪一条谱系、哪一份记录？登记，让一个有效果的东西，从「悬在空中」变成「有一个可以查的位置」。在实验室里，这意味着：每一个被设计、被合成、被使用的候选，有一条可追溯的记录，记着它是怎么来的、谁挑的、依据什么。

第二，谁负责。登记的位置上，要有一个明确的人或机构，对这条记录负责。不是对机器负责，机器不负责；是对「机器的挑」负责。

第三，谁能否决。在整条流程中，至少有一个环节，是由负责的人真的按下否决键的：不是流程默认放行，而是人明确同意放行。

生活里有一个现成的样子。你买的一袋牛奶，包装上印着生产批号。哪天这一批出了问题，厂家可以顺着批号，查到是哪条生产线、哪天生产、卖到了哪里，然后把那一批收回来。批号本身没有任何神奇之处，它只是一个户头。

没有这个户头，牛奶出了事，只能说「有人喝坏了」，却不知道去哪儿找。

生物学自己也有这样的传统。一株新的菌，要写进论文，常常要先送到专门的保藏机构，领一个保藏编号，别人才能按号去要〔待核〕。那个编号，就是这株菌的户头。

无主之功需要的，就是一种类似批号的东西。

这三样东西，听上去很朴素，近乎行政。但这恰恰是要点：**对一个没有利害的持有者，治理要做的，是把「利害」从外面补进去。**

还要补一个提醒。给无主之功找户名，不是一件只有好处的事。因为一旦它被记入了某条谱系，它就成了那条谱系的功能，开始参加前面三种危机所讲的那些游戏。被一道只记一样东西的口记着，可能目标空转；被放大到某一角独大。所以，找户名，是第一步，不是终点。

◆ 十、放回日子里

阿远最后是这样回复审稿人的。

他没有写「这不是我的责任」，也没有写「我们将采取一切措施」。他写的，是三段话。

第一段，他承认这个问题是真实的，并且说明，他们的设计流程里，目前每一个候选的来历、目标、评分，都有完整的记录，可供追溯。

第二段，他说明，所有被合成的候选，都由课题组负责人书面确认，机器的排序，只是建议，不是决定。

第三段，他诚实地写：这个蛋白被他人使用之后的情形，作者无法完全控制。这是目前整个领域共同面对、尚未解决的问题。他们愿意把设计和筛选的记录，提供给期刊，供评审和将来的追溯参考。

稿子被接受了。审稿人在最后的意见里，回了一句：「这是我读到的对这个问题最不躲闪的回答。」

阿远把这句话转给陈老师。

陈老师说：「你没有解决这个问题。」

「我知道。」

「但你做了一件事，」陈老师说，「你给它找了第一个落脚的地方。」

过了几天，课题组开会，把这件事变成了一张「候选档案」。每个送去合成的候选，对应一页纸，上面写着：这个候选是哪一轮生成的，目标是什么，评分依据是什么，谁挑的，谁批准的，批准日期。

一个新来的硕士生小声说：「这是不是又多了一张表？」

阿远说：「是多了一张。不过你想想，要是哪天有人问起这个蛋白，你翻得出来吗？」

小硕士想了想，在表头上写下了今天的日期。

你也可以试试。看一件你身边「有效果、没人负责」的事，可能是一份没有署名的报告，一个没人认领的流程，一个大家都在用却不知道谁维护的工具。问一句：谁登记，谁负责，谁能否决？

这一章落在漏记，也就是记账一致性的反面。无主之功是有效果、没谱系：这笔账记到哪里，没有人认。以后只要看到一项有效果的东西，问一句它的一致性是多少，就能看出它是无主，还是漏记。

> 带走的话
>
> **没有主人的功劳，最难的是找谁负责。◆**

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「工具没有立场，所以不用问算谁的」的想法；当握口的东西没有利害，责任会在整条链上被稀释得没有落点。
>
> 立了什么：立了无主之功的完整说法（效果真实，却没有任何谱系靠它持存），并判为 AI 新型危机；治理落点是把户名补上：谁登记，谁负责，谁能否决。

第 32 章

记功回写

怎样记，回头改了物种，也改了人

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：用一把尺子量别人量了很多年，有一天发现，自己看东西的眼睛，已经是这把尺子的形状了。

陈老师教了四十年书。她给学生打分，最初只是一件差事：作业、考试、课堂表现，按一个大致的标准，打出一个数。

退休以后，她在菜市场和人闲聊，忽然发现自己有一个习惯：看人，先看他「交没交作业」。卖菜的摊主，答应了明天送货，第二天没来，她心里立刻记上一笔，像在给他的平时分扣两分。

她把这件事讲给阿远听，自己也笑了。

「我给学生打分，打了四十年，」她说，「最后，分数把我打成了另一种人。」

阿远问：「是好事还是坏事？」

「不知道，」陈老师说，「我只是第一次觉得，记账的人，也在被账记着。」

这一章，要讲的就是这件事。

◆ 二、前人叫过的名字

这个现象，不是本书发现的。前人已经叫过它的名字，而且叫得很好。先把他们的名字摆出来，再说本书多了什么。

第一个名字，叫生态位构建。第 3 章讲过：蚯蚓翻动土壤，把土变成了适合蚯蚓的样子；海狸筑坝，改变了一整条溪流。生物不只是适应环境，它们也在改造环境，改造之后的环境，又反过来影响下一代被怎样挑选。奥德林—史密、拉兰德和费尔德

曼在 2003 年把这条思路系统地写成了书〔待核〕。他们看到了一件重要的事：因果是绕圈的。

第二个名字，叫基因—文化共演化。博伊德和里彻森在 1985 年的书里，把文化放进了演化的账里〔待核〕：人类的习俗、技术、信仰，会改变哪些基因更容易留下；留下的基因，反过来又影响什么样的文化可行。

一个常被讲到的例子，是乳糖耐受。大多数哺乳动物，断奶以后，肠道里消化乳糖的酶就不再产生。但在一些有长期畜牧、饮奶传统的人群里，这种酶在成年后仍继续产生的情形，比较常见〔待核〕。一种常见的解释是：饮奶的习惯出现之后，能消化奶的人在那种环境下更占便宜，相关的基因因此在人群里变多；而基因变多了，又让饮奶的习惯更容易延续〔待核〕。习俗改了基因，基因又托住了习俗。

不过，这个例子也要讲得诚实。2022 年有一项大型的研究提出，史前人群饮奶的普遍程度，和这种基因的流行程度并不是一一对应的，选择可能是时紧时松、与饥荒或疾病之类的压力有关〔待核〕。故事比「喝奶、变异、留下」要曲折。好例子之所以好，正是因为它经得起这样的追问。

另一个常被提到的例子在西非：有一种假说认为，农耕开垦出的环境，让某种吸血的蚊虫更多，疟疾更常见，而一种平时有代价的血红蛋白变异，在这种环境里反而有了保护的作用，于是变得更常见〔待核〕。这里，人的耕作，改了环境，环境又改了人的基因。

第三个名字，叫人工选择。达尔文在《物种起源》里，用相当的篇幅讲养鸽人、育种者怎样把品种一代代拉向自己想要的方向，并且以此类比自然选择〔待核〕。他很清楚：人挑什么，品种就长成什么。

这三个名字，每一个都是真看见。本书从它们那里借来的，也不少：因果绕圈，是它们教的；人挑什么、物种就长成什么，也是它们教的。

◆ 三、本卷多出的那一点

本书多出来的，不是一个新名字，而是**四个更具体的问法**。

第一问：握记功口的一方，有没有利害？

生态位构建、基因—文化共演化、人工选择，三个名字讲的都是「改造者回头被改造」。但改造者有没有私心，对结果很要紧。蚯蚓改造土壤，没有目的；育种者改造品种，有目的；AI 设计流程提出候选，没有它自己的利害，却会被人的目标拴着。握口的一方有没有利害，决定了回写的方向由谁拉。

第二问：撤掉记功口以后，会回弹吗?

如果把外面的那道记功口撤掉，被记出来的东西会不会退回去？第 18 章说，退回去的程度，叫回弹系数。回写要是真的写进去了，撤口以后，不该回弹多少；要是撤了就回弹，说明它从头到尾靠的是外面那道口，没有写进去。这给「回写」划了一道可以量的线。

设想一个班级，学期里每周排一次名，孩子们为名次很用力。学期末取消排名，再看一学期：孩子们之间还互相比不比，比得有多凶？如果一取消，立刻回到从前，说明那股劲靠的是外面那道口；如果取消以后，仍然不肯松，说明排名的习惯已经写进他们自己了。

第三问：次序。

先有记功口，然后集体层才出现可以遗传的差别，然后适应度才与细胞层脱钩，最后才出现分工，被读成一个整体。这是第 17 章讲的次序，也是回写的次序：先记，后出现个体，再脱钩。

第四问：翻转的阈值。

回写不是一点点平均地发生的，有一个**翻转点**：当记账一致性够高，并且持续的代数够多，原来由细胞层决定的频率变化，会翻转成由集体层决定。这个翻转点，落在「记账一致性 × 持续代数」上。

可以把它想成一块跷跷板。一开始，两头都在使劲，细胞层的力量占着上风；账记得越稳、记得越久，集体层那一头的分量一点点加上去，加到某一个点，整块板子忽然翻向了另一边。翻之前，加一点分量，板子几乎不动；翻的时候，一点点就够了。

这是本书的一个预测，不是一个已经测出的结果，记作「待验」。第 37 章会把它写成可以做的试验。

◆ 四、三条等式，说成大白话

第 14 章把三条等式用大白话说过，这里再说一遍，因为回写就在第三条里。

第一条：**能动，由基因与记功口一起定**。一个单位能做什么选择，不只看它带着什么基因，也看它所在的账是怎样记的。

第二条：**基因频率，由能动与记功口一起定**。一个基因在种群里变多变少，要看带着它的单位有没有能动，以及后代怎样被记。

第三条：**记功口，由能动与基因一起定**。回写就在这里：持有者怎样记，回头改写被记的谱系，也改写持有者自己。

第三条是最容易被漏掉的。很多说法，把记功口当作一个外面给定的条件：环境在那儿，挑你。第三条说，不是这样：记功口自己，也是被能动和基因改出来的。

乳糖耐受的例子，可以用来对一下。习俗，是一群人的能动；它改变了谁家的孩子更可能活下来，这是记功口被改写；活下来的孩子带着的基因，变得更常见，这是基因频率变了；基因变了，又托住了习俗。三条等式，一条一条都能指着看。

这里，本书的话说到这儿为止。具体的参数，怎样测，留在附录四；这一章不碰字母。

◆ 五、尺子回头改了东西

回写不只发生在基因上。你天天碰到的各种尺子，都在干这件事。

考试是最典型的。考试本来是想量一个学生学得怎样。可是一旦分数决定了升学，学生就按考试的样子去学，老师按考试的样子去教，出题的人又按学生的学法去出新题。尺子量的东西，被尺子改了。

论文也是。一个领域如果拿论文的数量算成绩，就会出现把一项研究切成好几篇来发的做法。研究者不是变坏了，是账怎么记，他就怎么生产。

有一句社会科学里常被转述的话，大意是：一个指标一旦被拿来当作目标，它就不再是一个好指标了〔待核〕。说的是同一回事。

用本书的话说，这是记功口在**改写被记的东西**，也在**改写记的人**。

这一点，对本书的判断很要紧。因为它说明，记功口不是一个中立的旁观者。它握着账，也被账改。谁握口，谁就得对这件事有数。

◆ 六、人驯化了谁

回到第 24 章。那里留了一笔：人握了记功口，人也被这道口改了。

一个常被讨论的说法叫「人类的自我驯化」〔待核〕。它的大意是：在人类的早期群体里，脾气特别暴烈、动不动伤人的个体，会被群体排斥，甚至被处置，他们的后代更少；脾气相对温和、愿意合作的个体，后代更多。时间长了，整个人群的性情，就被这道群体里的「记功口」，慢慢拉向了温和的一边。

这个说法有支持，也有争议。支持的人指出，人类的脸形和许多驯化动物有相似之处；反对的人认为，证据还不充分，因果也不清楚〔待核〕。本书不替它站队。

本书取它的结构：一个群体，怎样记它的成员，回头就改写这个群体自己。

这件事的有趣之处，在于记功口的**持有者和被记者是同一拨人**。人群既是握口的，又是被记的。这和第 24 章里人握狗的口，是不同的情形。握狗的口，狗的变化，人看得见；握自己的口，改变发生在握口的人身上，很难看得见。

陈老师那句「记账的人，也在被账记着」，说的就是这个。

◆ 七、AI 的回写

现在可以回到 AI 了。

AI 设计流程，是一道新的记功口。它按评分，把候选排好序，决定哪些送去合成、哪些作罢。那么，回写的问题就是：**这道新口，回头改了谁?**

第一，改了**被记的东西**。流程评分偏爱什么形状，被留下的蛋白，就越来越偏向什么形状。这与第 28 章的定向进化一样，也和第 27 章的近交犬种一样：记功口记什么，谱系长成什么。

如果许多实验室用的是同一套工具、同一种评分，被留下的东西，会不会越来越像？这个担心，和第 25 章的绿色革命是同一个形状：几只手指向同一行，别的行慢慢暗下去。这是一个可以拿来量的问题：不同实验室设计出来的东西，彼此有多相似，一年年地看，是靠拢，还是分开〔待验〕。

第二，改了**记的人**。

阿远在实验室里，注意到一个很小的变化：以前组会上，大家聊的是「这个酶，生物学上有什么意思」；现在，聊的是「这个，流程能不能打分」。凡是能打分的问题，很快有人去做；打不了分的，慢慢没人提了。

这是一个很常见的现象：灯在哪儿，人就往哪儿找。AI 流程里的评分，就是那盏灯。它在照亮一些问题的同时，也让另一些问题，变得越来越暗。

要是这样的变化持续足够多的代，不是几年，是人一代代传下去的训练、期刊的偏好、资助的方向，那么被改写的，就不只是几个蛋白，而是**这一行的人，想要什么，觉得什么值得问**。

第三，还有一条更隐蔽的回路：数据。

AI 设计出来的蛋白，经过实验验证，会被存进公共的数据库。数据库又是下一代模型学习的材料。也就是说，今天这道记功口留下的东西，明天会变成它自己的教材。有研究者担心，如果这个回路里自己产出的东西越来越多，原来来自自然的那一部分，会被稀释〔待核〕。

这是一个值得放在心上的问题：记功口的产出，会不会慢慢变成它的输入。回写写在数据里，比写在人的口头上更难察觉。

这并不是说它不好。很多时候，它让一些过去做不了的事情做成了。本书只是想把这一笔账摆出来：**你怎样记，最后也会被这本账记成什么样的人**。

◆ 八、一个提醒：回写不等于失控

写到这里，有一个容易发生的误读，要提前挡一下。

回写不是说：机器在悄悄操纵人。也不是说：人没有办法。

它说的是一件很朴素的事：记账的方式，会回头影响记账的人。这一点，对人类社会里的任何一套评价制度，都成立：考试改变学生，学生改变考试；排行榜改变作者，作者改变排行榜。

好消息是：既然回写是可以看见的，它也就是可以调的。第 30 章末尾阿远做的那件事，抽查被丢弃的候选，在实验记录里加一栏目标和依据，就是在回写的路上，放了一个哨兵。

坏消息是：这个哨兵，需要有人持续地站着。

哨兵的样子，可以很朴素：定期换一种评分的办法，看排出来的名单变不变；定期抽查被丢掉的；定期问一句，我们现在不问的问题里，有没有重要的。三样都不费钱，只费时间和耐心。

◆ 九、放回日子里

后来，陈老师做了一个小实验。

她给自己定了一条新规矩：下次，卖菜的摊主答应了没做到，她先问一句「是不是有什么事」，再决定要不要扣这两分。

她说，头两周很别扭，每次都要把「扣分」的念头拦一下。到了第三周，别扭少了。

又过了一阵，那个摊主有一回自己说起来：「上回没送成，孩子发烧了，对不住。」

陈老师说：「我没问呢。」

摊主笑了：「您看我那一眼，就是在问。」

陈老师回家以后，一直在想这句话。她那一眼里，原来装着四十年的分数。

她把这件事讲给阿远听的时候，阿远笑着说：「您这是在反向回写。」

「什么回写，」陈老师说，「我就是不想让一把用了四十年的尺子，替我决定怎么看一个卖菜的人。」

阿远想了想，说：「这句话，我想抄下来。」

过了几天，他自己也盘点了一下实验室里的尺子：论文的篇数，投稿的期刊，引用的次数，每一样背后都有人在看。他在本子上写了一个问题：这些尺子里，有没有一把，已经替我决定了，我下一个课题做什么？

他没有马上得到答案。他把这个问题，留在了本子的最后一页。

你也可以试试。找一把你天天在用的尺子，打分、排名、点赞、绩效。想一想，它用了这么久，把你变成了一个怎样看人的人？

> 带走的话
>
> **你怎样记别人，最后也被这本账记成了什么样的人。◆**

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「记功口只是外面给定的条件」的看法；记功口也是被记的人和被记的谱系，反过来改出来的。
>
> 立了什么：立了「记功回写」：持有者怎样记，回头改写被记的谱系，也改写自己；并补上四个具体的问法：握口的一方有没有利害、撤口后回不回弹、次序、翻转阈值。

从前握记功口的都有利害，AI 第一次没有；它握了口，户名就要由人来补。下一编，把三本账摊开。

第 五 编

三本账：每个人每天都在替某条谱系记账，只是不知道

这一编五章，把全书收成三本账：读数账，价值账，意义账。账有了，再落到种地、养宠物、做实验这样的日子里。最后一章，是一场能证明本书错的试验。

这一编的反差只有一句：每个人每天都在替某条谱系记账，只是不知道。

第 33 章

读数账

基因报告怎样读

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：收到一份写得很正式的报告，里面有图、有百分比、有你看不懂的缩写，你本能地觉得，这上面写的，是关于你的某种「真相」。

阿远给陈老师买了一份消费级的基因检测，当作生日礼物。唾液样本寄出去，三周后，邮箱里来了一份报告。

陈老师戴上老花镜，一页一页地翻。第一页是祖先成分的饼图，上面写着，她的祖先成分，大部分来自「华南」。

她抬起头，笑了：「我从小在这儿长大，我爷爷的爷爷也在这儿，这还用测？」

阿远也笑：「那是一个验证。」

后面几页，是一些「特征」和「倾向」：咖啡因代谢的快慢，某种营养素的吸收，对某类常见疾病的相对风险。每一项后面，有一个小图标，标着「较高」「平均」「较低」。

陈老师翻到最后一页，合上，摘下眼镜。

「所以，」她问，「这上面写的，是我吗？」

这是一个好问题。这一章就是为它写的。

先把一条边界写在前头：**本书不替你解读自己的检测报告，也不作诊疗建议**。如果你的报告里有让你担心的结果，请去找医生或有资质的遗传咨询师。本章要做的，是讲清楚一份报告里的字，是哪一类字，它们各自能说什么，不能说什么。

◆ 二、先还它一个公道

消费级的基因检测，是一件值得好好说一句公道话的事。

二十年前，测一个人的全基因组，是几个国家联合起来才做得成的大工程。如今，几十美元或几百元，就能拿到一份相当可靠的位点读数〔待核〕。这背后是测序技术成本的大幅下降，是生物学里最了不起的技术进步之一。

这件事让很多人第一次有了「看自己」的机会：找失散的亲人，知道自己的祖先大致从哪里走来，对某些遗传性状有了了解。对一些家族里有明确遗传病史的人来说，检测可以是一个及时的信号〔待核〕。

所以，不要把这一章读成对基因检测的批评。它是一个很好的工具。本章只是想把它放到该放的位置。

◆ 三、报告上的三种字

第 21 章说过，生物学里的读数有三种：跳，波，散。一份基因报告里的字，几乎都能归到这三类里。

第一类，跳：序列。

报告里写的某个位点是「A」还是「G」，这位点上，你带着哪一种版本。这类字，最硬，最确定：测到是什么就是什么，不是「半个 A」。

大多数祖先成分、携带者状态，就是从这类字出发的。你的某一组位点，和数据库里各个群体的位点，做比较，看和谁更像。

第二类，散：一群里各占多少。

「对某种疾病的相对风险较高」，这句话里，看上去是在说你，其实说的是**一群人**。它的意思是：在带着某组位点的一大群人里，得这种病的比例，比整体平均要高一些。

这是一个概率，不是你的命。风险较高，不等于一定会得；风险较低，也不等于不会得。这一类字，是从人群的统计里来的。

第三类，波：表达和发育的轨迹。

你带着什么版本，是一回事；这个版本在你身体里，什么时候被打开、打开多少、受到饮食、年龄、环境怎样的影响，是另一回事。咖啡因代谢快慢，部分与位点有关，但同时也与你喝多少、喝了多久、同时吃什么药有关。

这一类东西，报告里往往只能用一句「受多种因素影响」带过。因为波，是需要时间和环境才能读出来的。

三类字，一份报告里混着出现。第一件事，是学会分辨：眼前这一行字，是**跳**，还是**散**，还是需要**波**才能说清的东西。

◆ 四、再认一遍三种字：身高

用一个陈老师教过的例子，把这三种字再认一遍。

她教遗传那一单元的时候，常有学生拿爸爸妈妈的身高，算自己将来能长多高。算法很简单，把两个数取个中间。

这个算法，其实是「散」那一类字。它说的是：父母偏高的家庭里，孩子平均偏高。平均是对一群孩子说的，落到某一个孩子身上，总会差上一截。

差在哪里？一部分差在「波」：孩子小时候吃得怎样，睡得怎样，哪个年龄段有没有生过大病，都影响最后长到多高。另一部分差在「跳」：身高牵涉很多个位点，每个位点出一点力，哪个孩子拿到哪几份，事先说不准〔待核〕。

学生有时会失望：「那这个算法有什么用？」

陈老师的回答是：它能告诉你大概在哪一带，不能告诉你正好在哪一点。

基因报告里的风险，是同样的性质。

◆ 五、报告背后：机器读了什么

消费级的检测，多数不是把你三十亿个字母从头读到尾。

常见的做法，是事先挑好几十万个位点，只读这几个地方，像拿着一张点名册，逐个核对〔待核〕。名册上有的，读得相当准；名册上没有的，报告里就没有这一行。

这有两个后果，值得记住。

第一，报告没写到，不等于你身上没有。没写，可能只是这一版名册里没有这个位点。

第二，名册是按已有的研究结果编的。研究做得多的人群，位点挑得细；研究做得少的人群，名册对他们就粗一些。研究者自己也在讨论这件事〔待核〕。

所以同一个位点，在两家公司的名册里，可能一家有，一家没有。两家的报告对不上，多半是名册不同，不是谁读错了。

另有一点：有的报告会在说明里写，某些结果需要用别的方法再确认一遍〔待核〕。那是这一行字自己的边界，由报告自己交代。

◆ 六、几类结果，各有各的脾气

报告里的结果，大致分几类。本节只讲每一类是什么性质的字，不讲任何一条结果对你意味着什么。

祖先成分。它是拿你的位点和一批参考人群比出来的相似度。参考人群是今天活着的人，所以饼图说的是「你和今天的哪些人群像」，不是「八百年前的人是谁」。陈老师家那本族谱写着祖上从北方南迁，饼图写着华南，两本账讲的是不同的时间，并不打架。

携带者状态。有些变异要两份才表现出来，只带一份，往往不表现。这类结果是事实：一个位点上你带着什么，测到就是什么。至于它在一个家里意味着什么，要看家系，要有专业的人陪着看。

性状类。比如能不能喝牛奶不难受。有些性状，一两个位点就说得出相当一部分的字〔待核〕；但多数性状，是很多个位点各出一点力，再加上日子里的事。

多位点的风险分。把很多个位点的小影响加起来，给一个相对风险。它说的是一大群人的统计，而且是拿某一批参考人群算出来的，换一个人群，准头会变〔待核〕。

四类字，性质不同，不能放在同一把秤上称。

◆ 七、「较高」是比谁高

报告里最常见的一个词，是「较高」。它值得单独拆一下。

「较高」说的是相对风险：和参考的那一群人比，高出多少倍。倍数，是一个只有比较才有的数。

一件事如果本来就很少见，高出一倍，仍然是少见；一件事如果本来就常见，高出一倍，就是很多了。同样写着「较高」，落到日子里的分量可以差很远，要看它是跟着哪个底数在比。

这里谈的是读法，不是任何一条结果的意思。你的报告上某一行到底算大还是算小，请交给懂这一行的专业人员，本书不替你判断。

陈老师看到「较高」两个字，第一反应是翻回去找那一页的小字，问阿远：「这是跟谁比的？」阿远答不上来，两个人把说明页翻了一遍，才找到那一小段。

◆ 八、报告会过时

还有一件事，报告拿到手的时候看不出来：它有保质期。

参考人群的库在扩充，研究者对每个位点的认识也在修正。一个位点五年前被认为和某个性状有关，后来更大的研究可能发现关联很弱〔待核〕。同一份原始数据，过几年重新分析，得到的说法可能和当年不一样。

这不是公司在糊弄你，是科学本来的节奏：读数是稳的，对读数的解释在改。

所以，报告上的日期，和你读它的日期，是两个日期。解释是哪一年做的，值得看一眼。

◆ 九、它不告诉你的那件事

现在回到陈老师的问题：这上面写的，是我吗？

答案是：它写的是**你身上的脚印**，不是**你的户口本**。

一份基因报告读出来的，是读数：你带着什么字，你的字和别人的字有多像，和某一群人的统计规律有多近。

它不告诉你的，是**你算谁的**。

这句话，在日常里很容易被听成别的意思，所以要说得更清楚一点。

祖先成分那张饼图，是把你的位点，和一组「参考人群」做比较得出来的〔待核〕。参考人群是人选的，群体怎么划分，也是人定的。同一个人，换一家公司的参考库，饼图可能不一样。这不是谁出了错，而是这个读数本来就是**相对于一个参照物**的。

所以，「祖先来自华南」，意思是：你的位点，和那家公司参考库里被标成「华南」的那一群人，最像。它并不等于：你的祖先是怎样走来的，你的身份是什么，你属于谁。

「你算谁的」，是一个记账的问题：你的家族怎样记，你的社群怎样记，你自己怎样记。这不在位点里。

◆ 十、两本账，各记各的：族谱与报告

回到陈老师的族谱。

传统的族谱，是一本人记的账。谁记，记谁，按什么规矩记，都有讲究。不少地方的族谱，主要沿父系往下记，女儿的去向写得简，有的只记一笔〔待核〕。族里没有儿子的人家，可能过继一个侄子，继承香火；过继来的孩子，在族谱上写作这家的儿子，他的位点和这家的人像不像，族谱不管。

族谱记的是户名。谁算谁家的，是人定的，写在纸上。

基因报告读的是位点。你和谁像，是测出来的，写在数据里。

两本账有时一致，有时不一致，没有哪一本错了。陈老师翻着族谱，说过一句很实在的话：「过继来的那位，族谱上是我们家的人，吃的是我们家的饭。你拿报告去量他，量不出这个。」

反过来也成立：报告量得出某些位点上的相近，族谱写不出这个。

所以，下次有人拿一份报告，说「你看，你们不是一家人」，或者「你看，你们果然是一家人」，你可以回一句：你说的是哪一本账?

◆ 十一、读数不是本质

有一种常见的误读，值得单独拎出来说。

人们很容易把读数当成本质：「我的基因里写着我是某种人」「我天生就是这样」。

本书整个的看法，是反着的：读数，是对一个东西的一种量法，量到的是一个侧面；它不是这个东西的本质，更不是这个东西的归属。

第 21 章还说过，读数和价值、意义，是不同的层。位点读出来的东西，可以很准，但「好不好」「为了什么」，不在位点里。

比如，你带着一组与某种体质相关的位点，这是一个读数。你要怎么对待自己的身体，怎样安排自己的日子，这是价值和意义的事，位点不替你决定。

所以，读报告的第二件事，是给自己一个提醒：**这是一个读数，不是一个判决**。

◆ 十二、有人会问：只是脚印，测它有什么用

有人会反过来问：既然报告只是脚印，那花钱测它还有什么用？

本书的回答是：脚印有脚印的用处。

脚印能告诉你，有人从这里走过。亲缘鉴定，找失散的亲人，知道自己带着某个版本，这些都是脚印能回答的问题，回答得相当扎实。

脚印不能回答的，是「这个人该往哪里走」「这个人算谁家的」。把后一类问题交给脚印去答，是用错了地方，不是脚印的错。

还有一个常被忽略的地方：报告里的数据，存在谁手里，谁能用，是另一本账，可以叫数据的户名。它不是生物学要答的问题。本书只提醒一句：你的读数被记在了谁的名下，值得你自己去读一读那份服务说明。

◆ 十三、专业的人在补什么

前面几次说「请找医生，或者遗传咨询师」，这里交代一句，为什么是他们。

一份报告只有位点的读数，缺的是读数之外的东西：你家里几代人的情况，你自己的经历，你所处的环境。这些，是「波」那一类字要用的材料。

专业的人做的事，是把读数放回这些材料里，一起读。同样一行字，放在不同的家系里，意思可以不同。读数不变，上下文变了。

这也是本书不替你读报告的原因。本书手里没有你的上下文，凭一行字下结论，等于只看脚印，就断定那个人往哪里去。

所以这条边界，不是客气，是方法上的限制：读数要有上下文才说得出话，上下文只有专业的人和你自己才有。

◆ 十四、一个读报告的小办法

如果你手头有一份这样的报告，下面是本书给的三个问法。只是帮你分辨，不是解读。

第一，这一行是哪一类字? 是一个位点的读数（跳），一群人的统计（散），还是需要环境才能说清的东西（波）？

第二，它是跟谁比出来的? 参考库是谁，「平均」是谁的平均?

第三，它说的是「概率」还是「事实」? 风险较高，是概率；携带某个位点，是事实；两者不要混着听。

问完这三句，大部分报告上的字，就从一个让人心里发紧的东西，变成了一个可以放在桌上看的东西。

要是这三问之后，你还有担心，那不是你读错了，而是这件事需要专业的人陪你一起看。请去找医生，或者遗传咨询师。

◆ 十五、放回日子里

陈老师把那份报告，夹进了一个旧的文件夹里。

她对阿远说：「这个，我留着。」

「您觉得它准吗？」

「准不准，我不知道，」陈老师说，「但我想起了另一件事。」

她从书架上抽出一本发黄的家谱。那是她老家的族谱，毛笔字，一页一页，写着某某生，某某卒，娶某氏，生子几人。

「这个，」她说，「是我这一份的户口本。它记的，不是我带着什么字，是我算谁家的人。」

她把两样东西并排放在桌上。

「读数这本账，」她说，「和记名这本账，是两本。」

阿远点点头，想起了这一章要带走的话。

阿远问：「那您这份报告，打算怎么处理？」

「放着，」陈老师说，「过几年，有了新的说法，再拿出来，先看一眼日期。」

阿远有点不好意思：「这个礼物，是不是买得不太合适？」

「礼物是好礼物，」陈老师说，「就是封面上，该印一行小字：这是脚印。」

她接着说：「读数是老老实实的东西。人拿它说什么，才是要看的。」

阿远把这句话也记了下来。

你也可以试试。找一件你身上被「测」出来的东西：体检报告上的数字，性格测试的类型，考试的排名。把它放到桌上，问自己：这是脚印，还是户口本？

◆ 十六、想一想

一，你手边有没有一份「读数」，你曾经把它当成了「本质」？当时是什么让你这样想的？

二，如果把这份读数，换成另一家的标准重新量一遍，你预计会有什么不同？这个不同，说明了什么？

这一章落在记账一致性上。基因报告里读到的，是谱系留下的痕迹；痕迹和户口不是一回事。要判断一份报告能说明什么，先问：这份痕迹，是被几个口一致地记出来的，还是东拼西凑。

带走的话

基因报告读的是脚印，不是户口本。◆

小账

拆了什么：拆了「报告上写的就是我」的看法；位点读数可以很准，但它是一种量法，不是本质，也不替你决定你算谁的。

立了什么：立了读数账：跳、波、散三种字，三问分辨；并写明边界，本书不替你解读自己的检测报告，也不作诊疗建议。

第 34 章

价值账

真、善、美怎样算

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：站在水果摊前，捧着一个西瓜，不知道该怎么判断它好不好。

陈老师挑西瓜，有三个动作，几十年没变过。

第一个，是敲。她用指节在瓜上敲两下，听声音：清脆，还是发闷。

第二个，是问。她不看瓜，先看瓜农。问一句「这是自己地里的吗」，听他怎么答，答得痛快还是含糊。

第三个，是看。她把瓜转过来，看纹路是不是匀，瓜皮亮不亮，看着就想吃，还是看着就算了。

阿远跟她买过几次瓜，有一次忍不住问：「老师，您为什么要三样都做？敲一敲不就知道熟没熟了？」

陈老师说：「敲，知道它是不是那个样子。问，知道今天吃了它，我和瓜农，谁有没有吃亏。看，知道我想不想要它。三样，是三件事。」

她顿了顿，说：「有一样缺了，这个瓜我就不买。」

这一章，就是在算这三件事。

◆ 二、先交代一句

第 20 章已经交代过：真、善、美三股劲，是怎样发生的，本系列第 255 号已经说过。本书不重讲它们的来历。

这一章只做一件事：**算生物学自己的账**。也就是说，在生物学的材料里，这三股劲各自是什么，怎样量，量出来是什么样。

三股劲的名字，在本书里是这样用的：

- **真守**：复制保真。谱系把形式守住。
- **善推**：交换互不吃亏。往来的双方，没有一方被吃掉。
- **美聚**：被选中的吸引。一种样子，因为被选中，聚拢了更多的东西。

先说一件容易混的事：这里说的「真」，不是「测得准」。测得准，是实验者的功夫；真守，是谱系自己的功夫。

◆ 三、真守：守住形式

先看真守。

一个细胞分裂的时候，要把全部的遗传信息复制一遍。几十亿个字母，要一个一个地抄。抄错了怎么办?

细胞有一整套办法。复制的酶本身，有边抄边校对的能力；复制完以后，还有专门的机器，扫一遍，把配错的地方挑出来改掉。据报道，经过这几道关，每复制一个字母出错的概率，可以降到十亿分之一甚至更低的量级〔待核〕。

这是一个可以算的数。设想一个基因组有三十亿个字母，每个字母每次出错的概率是十亿分之一，那么每复制一次，平均会出现几个新的错误。这几个，就是新变异的来源。

真守的账，就这样算：**出错率有多低，形式在谱系里守得有多稳**。

守得太差，会怎样? 形式守不住，每一代都在崩，谱系没法积累任何东西，不管多有益的东西，下一代就丢了。

不过，也有另一头。守得太好，也有问题：一个完全不出错的谱系，没有新东西，遇到环境变了，就没有可以挑的余地。所以，生物的出错率，不是零，而是一个被演化压在很低、但没有压到底的数。

◆ 四、真守的三道关

细胞守住形式，靠的不是一道关，是三道。

第一道，在选字的时候。复制的酶每次接一个新字母，先要认对。认错的机会，本来就小。

第二道，在接上之后。酶带着回头检查的本领，发觉刚接上的字母不对，会退一步，换掉它。

第三道，在复制完了以后。另有一套机器，沿着新旧两条链扫过去，把配不上的地方挑出来修好〔待核〕。

三道关，每一道拦住一部分，叠起来，出错率才压到很低。具体的倍数，各个物种不同，本书不替它们写数。

这里有个容易混的地方。阿远的实验室里也有「出错率」：测序仪读错一个字母的概率。那是读数的误差，属于实验者的功夫。细胞复制时抄错一个字母，是谱系自己的事。

一个说的是尺子准不准，一个说的是被量的东西守得住守不住。这一章的「真」，说的是后一个。

◆ 五、守得住的上限

真守还有一条上限的账。

出错率如果高过某个界限，信息还没传到下一代，就被错误冲散了。理论上，这个界限和基因组的长度挂钩：基因组越长，每个字母就得守得越严〔待核〕。

据说，一些靠 RNA 复制的病毒，出错率比细胞高得多，基因组也短得多〔待核〕。它们的日子，像是过在这条界限的边上：只有短，才撑得住这么高的出错率。

细节不必记。要带走的，是一个看法：守得住的程度，和能守多少东西，是连着的。守得严，才守得起长的东西。

◆ 六、守是要花本钱的

真守还有一层账，常被忽略：守得越严，越花本钱。

校对要时间，要能量。多一道检查，细胞就多一份开销，复制也慢一点〔待核〕。所以出错率不会被压到零，不只是因为压不下去，也因为压下去的代价不划算。

这样看，演化留下的那个低而不为零的出错率，是一次权衡的结果：守的本钱，对比出错的损失，在中间找到的一个点〔待核〕。不同的物种，点的位置不同。

把真守当成「越高越好」，就读错了这一栏。该问的是，对这条谱系，守到什么程度，才不亏。

◆ 七、善推与美聚

再看另外两股。

善推，是交换互不吃亏。

豆科植物和根瘤菌，是教科书里的例子。根瘤菌住在植物的根里，把空气中的氮转化成植物能用的养分；植物给根瘤菌提供住处和糖。

这是一笔账：双方各自拿出一些东西，各自得到一些东西。善推的账，就看**双方的收益是不是都比单干要好**。

那么，如果有一方偷懒呢？有研究报告说，有些根瘤菌不好好固氮，白吃白住；植物据说会减少对这类根瘤的供氧，让它们长得差〔待核〕。这是第 3 章讲过的宿主制裁。它是善推的边界：交换里要是有一方吃亏，另一方就要出手，把账平回来。

美聚，是被选中的吸引。

雄孔雀的尾巴，是第 11 章讲过的例子。这条尾巴，对孔雀的生存没有好处，甚至是累赘；但雌孔雀看了喜欢，选了它，它的基因于是传得更多。

美聚的账，是**被选中的比例**：一种样子，有多大的吸引力，被多少对象选中，聚拢了多少后代。

三股劲各有各的算法：真守看出错率，善推看双方收益，美聚看被选中的比例。三个数，都是可以量的。

◆ 八、善推靠什么撑着

交换互不吃亏，说起来容易，撑住却不容易。因为每一方都有机会占便宜。

生物学里讨论过几种撑法，名字各家叫法不同〔待核〕。

一种是传下去。共生的一方，随着宿主的卵一代代传，两家的命绑在一起，一方吃亏，自己的后代也跟着吃亏。前面的蚜虫和布赫纳氏菌，属于这一类。

一种是制裁。丝兰和传粉的丝兰蛾，是常被讲的例子：蛾给花授粉，同时在花里产卵，幼虫吃一部分种子。据报告，某朵花里的卵太多时，丝兰会让这朵花脱落〔待核〕。吃亏的一方，用不给后续的办法，把账平回来。

一种是挑伙伴。植物根上的菌根真菌给植物送养分，据报告，植物会把更多的糖给送得多的那一头〔待核〕。谁给得多，就往谁那边倾斜。

三种撑法，各有各的前提：要么命绑在一起，要么能罚，要么能挑。三个前提一个都没有的地方，善推就撑不住，交换会滑向吃亏的一方被吃掉。

制裁和挑伙伴，其实就是一道记功口：它把互惠的收益，记到守信的那一方名下。

◆ 九、善推的账要两边都算

善推的账，有一个容易犯的毛病：只算一边。

陈老师给学生讲过一个拼车的例子。两个住得近的同事拼车上班，一个出车，一个出油钱。出车的省了一半油钱，出油钱的省了一辆车的开销。两边都比各开各的划算，这个安排就站得住。

如果后来一边的花销涨了，另一边没跟着变，划算的账就只剩一边。过不了多久，这一边会退出，拼车散伙。

生物里的交换，同样要两边各写一列：给出去多少，拿回来多少，和各自单干比，是多了还是少了。两列都不低于单干，才叫互不吃亏。

只看一列，会把剥削读成合作：一方得益很大，所以「这是个好交换」。可另一列是负的，这个交换撑不了几代。

◆ 十、美聚的几种讲法

美聚的账看被选中的比例，不过，被选中可以有不同的缘由。

一种讲法是，吸引是信号：能长出大尾巴的，身体大概好，选它，是选了好的。另一种讲法是，吸引自己会滚雪球：上一代偏爱什么，下一代的偏爱者和被选中者都带着这份偏好，越滚越远。还有一种讲法是，感官本来就对某些刺激特别敏感，样子是顺着这份敏感长出来的〔待核〕。

三种讲法各有各的证据，学界没有一个通吃的答案〔待核〕。本书不替它们裁判。美聚这一栏只要求：不管缘由是哪一种，被选中的比例是可数的。

再举一个看得见的例子。园丁鸟的雄鸟会搭一座小亭子，摆上蓝色的小物件，雌鸟逛过几座，挑中其中一座〔待核〕。亭子不下蛋，不育幼，只是被看一眼。被看中的比例，就是美聚的账。

美聚的账不替你回答「这样的美好不好」。它只回答：这一种样子，聚拢了多少。

◆ 十一、一杯酸奶里的三股劲

用一个厨房里的例子，把三股劲放在一处看。

阿远爱喝自己做的酸奶。他说，每次留一小勺做引子，下一锅就接着做。

真守在这一勺里：引子里的菌，代代传下来，样子大致不变，做出来的酸奶才是同一个味道。引子留得太久、传得太乱，味道会走样，这是守不住。

善推在这一锅里。据说，做酸奶常用的两类菌，会互相帮忙：一类给另一类生长要用的养分，另一类给它造出更合适的酸度〔待核〕。各取所需，双方都比单干长得好。

美聚在饭桌上。哪一种酸、哪一种稠，被一家人更爱吃，下一回就多留那一种的引子。被选中的，聚拢的更多。

一杯酸奶，三股劲都在。少了哪一股，味道都出问题：守不住，就走样；推不动，就长得慢；聚不拢，就没人想留。

◆ 十二、三股劲不能互相换

现在到了这一章最要紧的地方。

有人会想：既然都是「好」，能不能把三股合成一股，拿一个总分来评？

本书的回答是：不能。三股劲，彼此不能替代。少了哪一股，都要补账。我们用三种「缺了一股」的样子，来看。

只守，不推。

一个谱系，复制保真极好，但不和外面交换：不和别的谱系合作，不引进新东西。第 25 章讲的绿色革命，有这个影子：一种高产品种，被忠实地复制了千万遍，守得极好，却渐渐没有了与别的品种往来、混合的余地。结果是，田里的多样性在退。守得稳，却推不动。

只推，不聚。

交换很多，往来很勤，却没有任何一种样子被选出来、聚拢起来。这样的世界，是一锅粥：什么都在流动，什么都成不了形。没有聚，交换再多，也成不了一个可以被辨认的单位。

只聚，不守。

一种样子，吸引力极强，被追着选，却守不住：每一代都在往极端滑。第 11 章讲的失控选择，就是这个样子：尾巴越来越长，越来越重，选择把它一路推到不利于生存的地步。聚得越狠，越需要有一股劲把它拉回来。

这三种缺法，各自有各自的代价，也有各自的补法。守不够，补校对；推不够，补往来；聚不够，补一个可以被选中的样子。

要紧的是：**不能用一股劲的好，去抵另一股劲的坏。**一个谱系守得再好，也不能说它就善推；一个样子再有吸引力，也不能说它就守得稳。

◆ 十三、会不会太拟人了

有人会反对：真、善、美是人的价值词，拿来说细菌和孔雀，是不是太拟人了？

这个反对有道理。所以本书在这里划一条线：词是借的，账是生物学的。

「真」只指复制保真，用出错率量。「善」只指交换里双方的收益不低于单干，用收益量。「美」只指被选中的比例，用选中的数量量。三个词里，没有一个要求有意识，更不要求有道德。

一株植物不必知道什么叫厚道，对偷懒的根瘤少供氧，账就平了回来。

借这三个词，是因为它们分得开：守、推、聚，各答一个问题，不互相顶替。读者要是觉得换成别的词更顺口，换了也不要紧，只要三个量还在。

◆ 十四、三种常见的算错

这一章结束之前，把三种最常见的算错，摆出来。

第一种，把「真」当成「测得准」。测得准，是尺子的事。真守，是被量的东西自己守得住。一把极准的尺子，量出一个守得极差的谱系，两件事并不矛盾。

第二种，把「善」当成道德。互不吃亏，是收益账：双方各得多少，不是谁的心地好。一个靠制裁撑住的交换，里头没有半点善意，账照样是平的。

第三种，把「美」当成「好」。被选中得多，不等于对谁都好。孔雀的尾巴，被选得越多，越拖累生存。美聚只记聚拢了多少，不替它打价值上的分。

三种算错，都是把一个量偷换成另一个量。分开记，就不容易换。

◆ 十五、先还总分一个公道

说到这里，要为「总分」说一句公道话。

给东西打一个总分，是人类很自然的做法：选大学，评论文，买电器，都是。它的好处是简便，可以排序，可以比较，让一个复杂的世界，变成一个可以决定的东西。

本书不反对总分。本书反对的，是**忘了总分是三股劲压成的**。压成一个数，就把三股劲各自的账藏起来了。藏起来，缺了哪一股，就没人知道。

所以，更合适的做法是：总分可以有，但三股的分项，要同时摆在桌上。

这也是为什么，第 12 章的问法、第 25 章的断裂，都要这样一股一股地看：产量涨了，是真守的某一种；多样性在退，是善推和美聚在退。总分上看不出来，分项上看得清楚。

◆ 十六、总分的权重是谁定的

总分还有一个常被略过的地方：三股劲压成一个数的时候，各占多少权重。

权重是谁定的？这不是小事。育种者给产量、抗病、口味配上不同的权重，留下来的品种就不同；实验室给候选打分，把哪一项算得重，清单的样子就跟着变。

给总分配权重的那一方，握着一道记功口。权重一改，哪一份算谁的，谁被留下，也跟着改。

所以，看到一个总分，除了问分项各是多少，还要问一句：权重是谁配的，他为什么这样配。

◆ 十七、放回日子里

那天，陈老师买了那个瓜。

回家切开，红瓤，甜，水分足。阿远在旁边吃了一块，说：「三样都过了。」

「过了，」陈老师说，「但你注意，哪天三样里有一样不过，我也不一定不买。」

「那不就是——」

「那就是我心里，知道缺的是哪一样，」她说，「买了，是我自己补的账。」

阿远想了一会儿，觉得她说的是一个很有分寸的看法：不是三项全优才行，而是缺了哪一项，自己知道，并且愿意承担。

你也可以试试。下次做一个决定，不管是买东西、选工作、还是评价一个人，把总分拆开，写出三栏：守不守得住，推不推得动，聚不聚得拢。哪一栏空着，就是你要补账的地方。

◆ 十八、想一想

一，回想你近来做的一个重要决定。三股劲里，你最看重的是哪一股？有没有哪一股，你当时没想过，现在看却很要紧？

二，你身边有没有一样东西，「总分很高」，但你心里知道，有一股劲是空的？它缺的是哪一股？

这一章落在持有者的利害上。真守、善推、美聚三股劲，每一股都要有利害的持有者：没有人在乎，这一股就没有人补。少了哪一股，不是账面上少了一行，是没有人愿意认。

> 带走的话
>
> **好不好有三股劲，少了哪一股都要补账。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「好坏可以压成一个总分」的看法；三股劲各有各的算法，不能互相替代。
>
> 立了什么：立了价值账：真守看出错率，善推看双方收益，美聚看被选中的比例；并给出只守不推、只推不聚、只聚不守三种缺法。

第 35 章

意义账

生命在三界里走到了哪里

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：翻出一样很多年前的东西，样子早就变了，你还是一眼认出，那是你的。

陈老师整理书房，翻出一个旧的文件夹。里面是她三十年前讲「细胞」那一课的教案：蓝黑钢笔字，纸已经发黄，边角卷了，页边有各种颜色的批注，有些是用铅笔写的，擦过又写。

她把它和上个学期用的教案，并排放在桌上。

三十年前的那份，讲的是细胞膜，用的是一个黑白的示意图。今天的这份，PPT 里有电镜照片，有动画，有一段关于膜蛋白的最新研究。

阿远凑过去看：「这两份，几乎是两堂不同的课了。」

「样子变了，」陈老师说，「可我知道，还是我的课。」

阿远问：「怎么知道的？」

陈老师想了想，说：「我每次改，都是在上一版的基础上改的。有的地方，是新长出来的；有的地方，学生问了一句，我才发现原来讲错了；有的地方，是我自己越教越喜欢。三十年，它在长。」

她拍了拍那个旧文件夹：「这是它的根。」

这一章，就是在问这件事：一个存在，三十年里变了又变，凭什么还说它是同一个？它在这三十年里，走到了哪里？

◆ 二、三栏账

第 20 章说过，意义层有三个样子：**创造、自由、幸福**。放到生物学里，它们分别是：

创造，就是新形式。一条谱系里，出现了一个以前没有的样子。吊兰叶子上的白边，是一个新形式；一种新的酶，是一个新形式。它的位置，主要落在**理念界**：在被谱系接收之前，它是一个「可能的样子」。

自由，就是可演化。谱系保留着继续变出新东西的余地。多样性，就是这份余地的原料。它的位置，主要落在**现实界**：这个余地是实际存在的，可以去测，可以去数。

幸福，就是繁盛。一条谱系在各处站得住，有自己的位置。它的位置，主要落在**自我界**，不过这里的「自我」，不等于意识。一株草，不必有意识，也可以繁盛。

三个样子，三栏账。记意义账，就是逐栏问：这条谱系，有没有新形式？有没有可演化的余地？有没有繁盛？

◆ 三、三栏各怎么数

账要能记，就得知道每一栏数什么。

创造这一栏，数的是新形式。可以数一种新酶，一个新折叠，一种新性状。难处在「新」是相对谁说的：对这条谱系是新，对整个生物界未必新。所以记账时要写明，新，是相对哪一个参照。

自由这一栏，数的是余地。谱系里还有多少变异可以继续用，种群的遗传多样性是一个常用的读数。演化生物学里「可演化性」这个词，说的就是这份余地〔待核〕。

繁盛这一栏，数的是站得住的范围和时长。保护生物学评估一个物种的处境，常看种群数量、分布范围，以及这些数字的变化趋势〔待核〕。这几样，正好是繁盛的读数。

三栏的读数，来自不同的学科，平时各记各的。意义账做的事，是把它们放到同一张纸上。

◆ 四、新，不等于好

创造这一栏，有一个陷阱：新，不等于好。

一条谱系里冒出新形式，大多数时候，对它并没有用，有的还有害。创造栏记的，只是出现过没有，不是出现得对不对。对不对，要等另外两栏来回答：这个新形式有没有留下来，有没有让谱系更站得住。

所以三栏要一起读。只看创造的人，容易把一堆热闹当成进展；只看繁盛的人，容易把一时的多当成长久。三栏互相对着，才不容易被一栏骗。

◆ 五、把「个体」和「活着」收回来

现在可以把前面一路在用的那个新定义，回收到这里。

第 16 章给过它，现在原样再写一遍：

> 「个体」是互动那一头（记功口）显影、差异那一维稳定、落在现实界的一个账户；「活着」是这个账户在被记账期间的持存。

这句话里，「个体」是一个**账户**，「活着」是这个账户**被记账期间的持存**。把它和上面三栏账接起来，意思就清楚了：

一个账户在被记账的期间，持续地在。这是它的存。可是存得怎样，是另一个问题：它在这个期间里，有没有长出新东西，有没有留着变的余地，有没有站得稳、站得开。

所以，活着有两层问法。

第一层是：这个账户，还在不在被记？这是读数那一层的问题。

第二层是：它在被记的这些年里，走到了三界的哪里？这是意义这一层的问题。

陈老师的教案，就是一个账户的例子。它被记了三十年：每一版，都是上一版的后代。它在理念界里，不断有新的讲法；在现实界里，有三十年的积累可以回头看；在自我界里，她认领它，说「这是我的课」。三界都有，所以她说「还是我的课」。

◆ 六、对「活着」的老定义，还它一个公道

对「活着」的老定义，也要说一句公道话。

教科书里说，活着是新陈代谢、生长、对刺激起反应、繁殖、保持内部稳定。这些，是许多生理学家、微生物学家一点一点量出来的，用起来很稳。判断一块东西是不是活的，这些指标依然好用。

本书没有要换掉它们。本书加的，是另一种问法：在这些指标都满足的前提下，这条谱系在被记的这些年里，走到了哪里。前者问有没有，后者问走到哪。两种问法不打架。

◆ 七、拿阿远的蛋白记一次意义账

现在拿一个具体的东西，来试一试这三栏账。

用的，是阿远设计出来的那个蛋白。第 19 章、第 31 章里的那个。

创造这一栏。它是一个新形式，而且是实实在在的新：自然界里没有见过这样的折叠。这一栏，它有，而且有得很足。

自由这一栏。可演化，是谱系保留着继续变出新东西的余地。可这个蛋白，没有谱系。它被造出来、被表达出来，但没有一代一代地传下去，没有后代，也就没有「继续变」的余地。这一栏，是空的。

幸福这一栏。繁盛，是一条谱系在各处站得住。它没有谱系，也就谈不上站得住。这一栏，也是空的。

三栏里，一栏满，两栏空。原因只有一个：**无主**。

这正是第 31 章讲的无主之功，换到意义账上来看的样子：效果真实，新形式也是真的，可是没有任何一条谱系靠它持存，所以可演化和繁盛两栏，没有地方记。

这里要说一句公道话。这不是在说这个蛋白不好，也不是在说它没有价值。它可能很有用，用处很大。本书只是说：从**意义账**的角度，它还没有被记进任何一个账户。一旦某个团队把它放进一条谱系，让它被一代代记下去，另外两栏，才开始有可能被写上。

◆ 八、开了户，才谈得上记什么

阿远问陈老师：蛋白的两栏空着，是不是只要有人把它放进一条谱系，就补上了？

陈老师说，不一定。放进去，只是账户开了户。户开了，才谈得上每一栏往里记什么。

放进谱系之后，要看三件事。

第一，它的效果，是不是真的让这条谱系多留下了后代。这是繁盛一栏的开始。

第二，它在一代代传的过程中，是不是还能继续变，而不是被固定得一动不动。这是自由一栏的开始。

第三，创造一栏本来是满的，要问的是，传了几代以后，它还是不是最初那个新形式，还是被这条谱系改写成了另一个样子。

三件事都要一代一代地看，没有哪一件能在第一天读出来。开户那天，三栏都只是空表头。

◆ 九、「缺一就要记一笔欠」

三栏账里，缺了哪一栏，该怎么办？

本章的判断是：**缺一栏，记一笔欠**。

这个「欠」，不是批评，也不是罪名，而是一个清清楚楚的待办：这个账户，还欠着一件事。

欠「新形式」的账户，是一条只会复制、从不创新的谱系。它可以守得很稳，但在环境变化时，没有东西可以拿出来。近交犬种在某种意义上就有这种欠。

欠「可演化」的账户，是一条把多样性消耗光了的谱系。第 25 章的绿色革命，就是在这一栏上欠了。田里的品种越来越少，遇到新的病害时，没有可以挑的余地。

欠「繁盛」的账户，是一条被圈养起来、数量虽然不少、却离了自己位置的谱系。比如动物园里的某些物种：个体活着，种群在，却不在它本来的地方站着。〔待核〕

这三种欠，和第四编里的危机各有牵连，但不是一一对应。癌那一型，是繁盛这一角独涨，另两角跌；无主之功那一型，是三栏里有一栏满，其余没处记；层断裂与目标空转，则常常是某一栏悄悄欠着，却没人去记。判定危机，仍按第 25 章写下的顺序来；意义账只是告诉你，欠在哪里。

这样记，有一个好处：每一笔欠都是具体的，也就是可以补的。

◆ 十、一张真账：香蕉

找一个真实的谱系，试着记一次。

香蕉是个好例子。我们日常吃的香蕉，主要是少数几个品种，靠芽和吸芽一棵一棵地繁殖，不经过种子，一个品种内部几乎是同一个基因型〔待核〕。

创造一栏：这个品种有好吃、好运、无籽的形式，当年被选中是有原因的。

繁盛一栏：种得非常广，一眼看去很满。

自由一栏：很薄。整片地里的香蕉是同一个版本，遇上一种能打倒它的病，就没有别的版本可以挑出来。据报道，上个世纪中叶，一个主栽品种因为一种土传的枯萎病退出了主栽，今天的主栽品种也面临另一种相近病害的威胁〔待核〕。

所以一张账里，可以一栏满、一栏薄：看上去繁盛，却欠着自由。繁盛不能替自由补账，这和上一章三股劲不能互相替代，是同一个道理。

◆ 十一、一笔欠，怎样写才补得动

一笔欠要写得具体，才补得动。本书建议写四项：欠哪一栏；相对于什么参照；欠了多久；用什么读数判断补上了没有。

拿上面的香蕉来写。欠的是自由一栏；参照是同一个品种在同一类病害面前的应对余地；欠了很多年；判断补上了没有的读数，是品种内部或品种之间，能不能找到对这类病害表现不同的材料。

写成这样，一笔欠就从一句感叹，变成了一个能被别人核查的待办。至于怎么补，那是育种者、农学家和保护工作者的专业，本书只管记。

◆ 十二、三栏之间怎么牵

三栏是三个读数，也是互相牵着的三件事。

新形式给余地提供原料。没有新东西冒出来，余地迟早被用光。

余地给繁盛垫底。有变的余地，环境变了，谱系才有东西可拿出来应对，站得住的时间才长。

繁盛反过来，给新形式更多出现的机会。谱系铺得越开、传得越多，冒出新东西的次数也越多。

这三条牵连，说明三栏最好的状态是互相喂着。但它们也可能互相挤。一种样子繁盛得太快，把别的样子挤走，余地就薄了。前面的香蕉，就是这个形状。

所以记账的时候，不只看三栏各自的数，也看一栏上涨时，另一栏有没有跟着掉。

◆ 十三、和前人对一下账

「活着是什么」，已经有不少人认真地回答过。在这里，再把两位最近的前人，请出来一下。

Pross 的回答是：生命是一种特殊的稳定性，不是某一个分子的稳定，而是一个会复制的整体过程的稳定〔待核〕。这一点，与本书是相通的：「被记账期间的持存」，也不是某一个分子的，而是一个账户的。

Godfrey-Smith 的回答，是一个多维的空间：一个种群，离「典型的达尔文个体」有多远，要看好几个坐标〔待核〕。这一点，也是本书要学的：个体不是有或没有，而是有多近。

本书多出的，是一件事：**账户，是被记出来的**。三界走到哪里，要看账记得怎样。这一点在第 16 章已经对过一次，这里不再重复。

◆ 十四、繁盛不就是适应度吗

一个自然的反对是：繁盛不就是适应度吗，何必另起一栏?

适应度看的是一代到下一代留下多少，窗口短。繁盛要看更长的时间，也要看是不是多处站得住。一个品种这一代留下很多，下一场病害就清零，适应度高过，繁盛却没有。时间的窗口不同，问的就不是同一件事。

另一个反对是：这样记账，是不是在给生命排座次，谁的意义大，谁的意义小?

不是。意义账不排名，不比较两条谱系谁更有意义。它只对着同一条谱系，问三栏各是多少，哪一栏欠着。

◆ 十五、保护生物学，早已在记这样的账

读到这里，保护生物学的读者可能会说：这些账，我们早就在记了。

这话对。评估一个物种的处境，要看种群大小，看遗传多样性，看栖息地范围，看这些数的变化。这是一整套成熟的做法，来自许多人长年野外和实验室的工作。

本书做的，不是替这套做法另起炉灶，是给它的读数起了一个共同的问法：这三类读数，说的是同一条谱系的新形式、余地和站住的程度。放在一张纸上，缺哪一栏，一眼就看出来。

◆ 十六、教案被拿走以后

陈老师的教案还有一段后话。

去年，一位年轻同事向她借走了那份「细胞膜」教案，改了一版，用在自己班上。过了一学期，同事把改好的那份拿给她看，问：「这份，算您的，还是算我的？」

陈老师翻了翻。有三分之二的页面，还是她的框架；新加的几页，是同事自己的课堂记录。

「看接下来谁往下改，」她说，「你接着改，它就往你名下记。要是你改完就压在抽屉里，它还是我那一版的一个影子。」

这一问，正是记账的问法：一份东西分出了两份，后面的账记给谁，不看来历，看谁接着往下传。

◆ 十七、账要年年盘

陈老师有个习惯：每年暑假，把当年的教案翻一遍，在最后一页写上几行。

写的是三句话：这一年长出了什么新的讲法；有哪些地方还留着改的余地；学生的反应怎么样。

她说，账不是记一次就完的。三栏今年满，明年未必还满。一条谱系的三栏，也是这样，要隔一段时间，回头盘一遍。

盘账的间隔，不好定。太勤，看不出变化；太疏，欠的那一笔已经滚大了。陈老师选了一年，因为一学年，恰好是她的教案走完一个来回的时间。

◆ 十八、放回日子里

陈老师把旧教案复印了一份，送给了阿远。

「你拿去，」她说，「不是让你照着讲。是让你有一个东西，可以看见一样东西是怎么长的。」

阿远接过来，翻到最后一页。那里有一行铅笔写的小字，已经淡了：「此处学生问，膜为什么不会漏？明年补。」

下面是一行蓝黑钢笔的：「已补。」再下面，是红笔的：「补得还不够。」

阿远看着这三行字，忽然明白了陈老师那句「它在长」。

你也可以试试。找一样你保存了很多年的东西：一份文件，一个习惯，一段关系。问三句：它有没有新长出来的？有没有留着改的余地？有没有在它该在的位置上站着？哪一句答不上来，就是它欠的那一笔。

◆ 十九、想一想

一，你现在最投入的一件事，三栏里，哪一栏最满，哪一栏最空？

二，你有没有曾经「欠」着某一栏，却一直当它没欠？如果现在补，第一步是什么？

这一章落在回弹系数上。生命在三界里走到哪，不只看现在在哪，还看撤掉外面的支持，会退回多少。退得少，是账户已经立住；退得多，是还靠别人记着。

> 带走的话
>
> **活着的账户，总要问一句：在三界里走到哪了。** ◆

> 小账
>
> 拆了什么：拆了「活着只是还没死」的看法；一个账户在被记账期间的持存，还要问它长出了什么、留着什么、站在哪里。
>
> 立了什么：立了意义账三栏（创造、自由、幸福）；回收了「个体」是账户、「活着」是账户在被记账期间的持存；并规定缺一栏就记一笔欠。

第 36 章

种地、养宠物、做实验

三本账落到日子里——谁在替这条谱系记账

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一个很普通的周日，你做了三件小事，没有一件看起来有什么大不了。过了很久你才发觉，那三件事其实是同一件。

那个周日，陈老师在她租来的一小块菜地里留种。豆角已经老了，豆荚干得发黄，她一株一株地看，挑几荚最饱满的摘下来，放进一个旧的茶叶罐里。

阿远在实验室。流程跑完了，屏幕上是一份候选清单，他往下拉，挑了五个，打上标记，准备送去合成。

楼下的老孟，在小区的花园里，抱着他的猫，和另一位养猫的邻居商量着什么。后来阿远听说，是在商量今年要不要让两只猫配对，生一窝小猫。

三件事，发生在同一天。没有人觉得它们有什么关系。

但如果一起看，会发现它们是同一个动作：**一个人，从一些候选里，挑出一些，让它们的后代进入下一轮。**

这就是记功口。这一章，把它们放在一起看。

◆ 二、先拿三个问题

在往下走之前，先把本书给的随身三问，拿出来。这三个问题，可以带着去看任何一件事：

第一问：这一份，算谁的？这一批后代，这一个效果，这一个结果，记在谁的名下？

第二问：谁在记？握着记功口的，是谁，是什么？

第三问：记的人，有没有利害？如果有，是什么利害，它把谱系往哪里拉？

这三问不要求答案多深。很多时候，只是问出口，事情就清楚了一半。

下面是三张场景卡。每一张卡都是：一个人，学界对这类事一般会怎么说，本书想松开的一处，和一件明天就可以试的小事。

◆ 三、场景卡一：菜地里留种

一个人：陈老师，在一小块菜地里，留豆角的种。

学界一般会怎么说：这是人工选择的一个标准例子。人每年挑哪些留种，就在把这块地的豆角，往自己想要的方向拉：长得好的、结得多的、味道好的。几千年来，各种作物，就是这样被一代一代挑出来的。

用三问看：

这一份算谁的：留下的豆荚，下一年长出的那一茬，记在陈老师这块地的名下。

谁在记：陈老师的手。

记的人有没有利害：有。她要吃，她要豆子长得好。这是第 24 章讲的**有利害的守门者**。

本书想松开的一处：很多人留种时，只挑「最大、最饱满」的那几荚。这个习惯，有道理，但也容易让下一年的豆角，向同一个方向挤过去：这块地里的多样性，每一年少一点。这和第 25 章的绿色革命，是同一个形状，只是小很多。

明天能试：留种的时候，挑一些「不是最大，但长得健康」的，也留几荚。不用多，每年留一点，把挑的那把尺子，稍微放宽一点。

◆ 四、留种，留几株、留哪几株

留种有两个常被忽略的数。

一个是留多少株。只从一两株上留，下一年全地的豆角就是这一两株的后代，多样性一下子收窄。这叫瓶颈。留的株数越多，窄得越慢。

另一个是留哪几株。陈老师的习惯，是在整块地里走一遍，从不同位置挑，不只挑路边那几株好看的。路边的容易看见，也容易被挑，下一年路边的样子就占了全地。

两个数都不难。难在记得有这两个数。

◆ 五、种子换来换去，味道也跟着换

菜地边上，还有一件事发生在人和人之间：换种。

陈老师有几样豆子，是别人送的，又有几样，是她送出去的。收到的人，往往过一两年，会回来说：「你给我的那个，在我家地里，味道不太一样。」

这不奇怪。一个地方的土、水、虫子、留种人的口味，都在替这份种子换口。同一把豆子，到了两块地，往后记在两处的名下，各走各的路。

人们常说的「地方品种」，多半是这样一年年留出来的：一个村子、一户人家，长年累月的口味和土壤，把一份种子磨成了只属于这里的样子。

这样的种子，靠的是有人继续留。留种的人少了，那条谱系的账，也就慢慢断了。

◆ 六、手里这把种子，是从哪道口出来的

菜市场买回来的种子袋上，常印着「一代杂交」几个字。这样的种子种出来，整齐，产量高，不过，把这一代的种子留下来再种，下一代的性状常会分开，高的高，矮的矮〔待核〕。

这件事里，有三道记功口，利害各不相同。

农户的口：留自己吃得好的种。利害是自己的饭桌和下一季的收成。

育种单位的口：每年重新配出整齐的一代。利害是品种的一致和稳定的供应。

种子库的口：把种子存起来，让它停在某一年的样子，并不急着挑。据说有的种子库设在极冷的地方，作为备份〔待核〕。它的利害，是将来别处万一丢了，这里还有。

三道口，没有哪一道天生更好。农户的口让品种贴着一方水土，育种单位的口让品种整齐，种子库的口替前两者留后路。户名不同，账就分开记。

本书只提醒一件事：你手里这一把种子，是从哪一道口出来的。

◆ 七、场景卡二：给猫选配

一个人：老孟，他家的猫长得漂亮，毛色和脸型都很讨人喜欢，他想让它生一窝小猫。

学界一般会怎么说：猫和狗的品种，在很大程度上，是人按外形挑出来的。对外形的偏好，会通过选配，一代一代地被放大。有些外形，在一些品种里，据兽医学界的讨论，与健康问题相关〔待核〕。许多爱猫爱狗的人和兽医，也一直在呼吁，在选配时，把健康和性情，放进考虑里。

用三问看：

这一份算谁的：这一窝小猫，算老孟家的猫的后代，也算它所属品种那一条谱系的后代。

谁在记：老孟，和他商量的邻居，还有品种的标准（如果登记的话）。

记的人有没有利害：有，可能是喜欢这个样子，也可能是想要这窝小猫。

本书想松开的一处：第 27 章讲过，一道只记一样东西的记功口，慢慢地，会让谱系对不上日子。外形好看，是真的好；但如果「好看」变成唯一的一把尺，别的就没有位置了。

明天能试：如果你也在考虑养宠物、或者给宠物选配，在「外形」一栏之外，多加两栏：健康、性情。问一问兽医：这个品种，常见的健康问题有哪些，对方的父母辈，有没有相关的记录。

本书不给任何宠物的医疗或饲养建议，这些请问兽医。

◆ 八、封闭的登记簿

品种猫和品种狗，多半有一本登记簿：只有父母都登记在册的后代，才能登记为这个品种。

这本簿子，本身就是一道记功口。它规定哪些后代可以记进这个品种的名下，哪些不行。规则写在簿子上，握簿子的，通常是爱好者协会，或者繁育者的联合组织。老孟的猫登不登记，要问他。

簿子一旦关上门，不再接收外来的血统，这个品种就成了一个封闭的小谱系。封闭的小谱系里，个体越传越像近亲，原本罕见的毛病，更容易在后代身上两头相遇〔待核〕。这是遗传学上的一般道理，具体到某个品种有哪些情形，本书不说，请问兽医。

要还它们一个公道。爱好者协会和繁育者，大多是爱这些动物的人。近些年，不少协会也把健康筛查写进了登记的要求〔待核〕。簿子是可以改的，写在簿子上的尺子，也是可以加一栏的。

◆ 九、一窝小猫，算谁家的

老孟和邻居商量的，其实就是一桩很具体的记账。

猫是谁家的，小猫生下来算谁家的，哪一只留给谁，谁出钱、谁出力，两家都要说清楚。这是最实在的户名，人和人之间谈的，是账。

但账谈完，还有一本没人谈的：这窝小猫，它们在这个小区里，往后会和别的猫配不配，那条谱系往哪里去，没有人在问。

这一本，多半没人记。不是谁疏忽，是在这个尺度上，没有一道口在管。

◆ 十、场景卡三：实验室里挑一个

一个人：阿远，面前是一份流程排好序的候选清单。

学界一般会怎么说：越来越多的实验室，把机器学习用到了设计和筛选环节。一个被广泛接受的说法，是要保持「人在回路里」：机器出建议，人做决定。

用三问看：

这一份算谁的：这五个候选，一旦被合成并保留，会记在这个课题组的名下；如果将来被放进某条谱系，则记到那条谱系的名下。

谁在记：一部分是流程，一部分是阿远。流程提出、排序；阿远点头、否决。

记的人有没有利害：这里是三类持有者的混合。阿远有利害：他要论文，要做成事。流程没有它自己的利害，但被阿远给的目标拴着。

本书想松开的一处：「人在回路里」这句话，听起来很稳妥，但它可能只是一个形式：人点了头，却没真正看过。第 30 章里，阿远发现自己没有看过那几千个被丢掉的候选，才是真问题。

明天能试：在实验记录里加三栏：本轮的目标，评分的依据，以及随机抽查的若干被丢弃的候选，看它们为什么被丢。这三栏，就是在给「机器的挑」找户名。

◆ 十一、机器挑过的清单，怎样留痕

阿远的清单上，还有一件事值得写下来：留痕。

他的实验记录本，过去只记「做了什么」。陈老师问过他，被他否掉的，记不记。

后来他加了几行。每一轮，记三样：这一轮的目标是什么；用什么分数排的序，这个分数是谁定的；抽查了多少被丢掉的，丢掉的缘由站不站得住。

抽查这一栏，要在开始之前就写好比例和抽法，不能事后看心情抽。这和第 37 章要讲的预先登记，是同一个道理：规则写在看结果之前。

还有一个提醒，来自很多领域都碰到的老问题：一个指标一旦被当成了目标，大家就会去迎合它，它也就不那么准了〔待核〕。清单上的分数，是一个指标。如果每一轮都只看分数，清单会越来越像同一个样子。每一轮抽几个分数低的看一看，是给清单留一个口子。

课题组换人的时候，这几行字最有用。新来的人翻开记录，能看到这个组的口是怎样记的，不必靠猜。

◆ 十二、谁提的候选，也要记

阿远的记录本上，后来又加了一行：这一批候选，是哪一个版本的工具提的，什么时候提的，用的是什么设置。

陈老师问他：「这个有什么用？」

阿远说，过半年再回头看，如果不知道是哪一版提的，就没法判断，这批候选里的偏向，是目标带来的，还是工具带来的。

这一行字，和前面三栏一样，是给机器的挑，找一个户名。机器自己没有利害，也不会为自己说话，所以要靠人把它做过什么写下来。

◆ 十三、抽查那天

有一天，阿远按自己写的办法，抽了一批被丢掉的候选来看。

他本来没指望看出什么。结果发现，被丢掉的里面，有一小撮是因为分数的算法对它们不太友好，而不是它们本身不行。算法按另一类候选的样子打分，这一撮长得不一样，就一律吃了亏。

他把这件事拿给陈老师看。陈老师没有评论，只说了一句：「你以前的清单上，大概也有这样的。」

阿远说，大概有，只是以前没抽，不知道。

这不是说分数不好用。分数很好用，每天省了他大量的时间。只是好用的东西，更需要隔一阵抽查一下，看它丢掉的，是不是都丢得有理。

◆ 十四、三张卡，一个样子

把三张卡摆在一起，会看到同一个结构：

- 一群候选。
- 一道口，从里面挑一些。
- 被挑出来的，后代进入下一轮；没被挑的，到此为止。
- 握口的一方，带着或不带着自己的利害。

菜地里的陈老师，是一个有利害的守门者，她的利害是具体的、看得见的。老孟的猫，是一个被「外形」那一把尺主导的口。阿远的实验室，是第一次出现了一个不带自己利害、却会提主意的口。

三个场景，从最古老到最新，用的是同一个动作。你每留一粒种子，每选一个候选，每点一次「同意」，都在替某一条谱系写户名。

只是，大部分时候，我们不知道自己在写。

◆ 十五、厨房里的第四条谱系

同一天的日子里，还有一条谱系，不起眼，每个人家里都可能有。

陈老师的邻居送过她半碗酵头。那是一团发面用的老面，里面养着酵母和乳酸菌，一代一代接着养：今天拿一块去发面，剩下的再喂些面粉和水，隔几天再分一份给下一户。

这团东西，没有谁设计过。它的口是一只手：每次取走多少，留下哪一部分，喂什么，放在哪儿。

分给下一户的那一份，到了新家，会慢慢长成新家的味道。两户的酵头起头是同一团，往后各记各的账，也各变各的。

这样看，家里的一碗酵头，是一个小号的品种。它和菜地里的豆角、小区里的猫、实验室里的清单，是同一类东西：有一道口，在替一条谱系记账。

◆ 十六、会不会小题大做

也许你会觉得，留几粒种子，养一只猫，也要问三句，有点小题大做。

不必每次都问。三问不是每天的功课，是换尺子的时候用的。

平时顺手做的事，顺着做就行。到了要换一把尺的时候：今年想多留几荚小的，想给猫多加一栏性情，想让清单多抽几个落选的，这时问三句，是为了让换尺子这件事，不是糊里糊涂换的。

◆ 十七、放回日子里

那个周日傍晚，阿远从实验室出来，路过菜地。陈老师还蹲在那里，茶叶罐放在脚边。

「老师，您留了多少？」

「十几荚。」她举起罐子晃了晃，豆子在里面沙沙地响，「我今年多留了几荚不太好看的。」

「为什么？」

「你上次说的，」她笑着说，「我也想给它留一个口子。」

阿远愣了一下，才想起那是他自己的一句话。他蹲下来，也抓了一把豆子在手心里看。有大的，有小的，有的皮皱，有的光滑。

他忽然觉得，这一把豆子，比任何一个排好序的清单，都更像一个活着的东西。

你也可以试试。这个周末，找一件你正在「挑」的事：挑种子，挑食材，挑书，挑人。问三句：这一份算谁的？谁在记？记的人有没有利害？

◆ 十八、想一想

一，你近来替谁「留过种」？可能是一个习惯、一个做法、一种说话的方式。你当时挑的那把尺，是什么？

二，如果你手边有一个替你筛选东西的工具，你有没有抽查过它丢掉的部分？抽查过之后，你对它的信任，有没有变？

这一章落在持有者的利害上。种地的人、养宠物的人、做实验的人，都是有利害的守门者；他们的记法，决定谁留下、谁不留。想看懂自己手里的这一笔，先问：我的利害，让我把账记偏在哪里。

> 带走的话
>
> **你每留一粒种子，都在替一条谱系写户名。** ◆

> **小 账**
>
> 拆了什么：拆了「挑一挑只是小事」的想法；留种、选配、挑候选，是同一个动作，都在替某条谱系记账。
>
> 立了什么：立了随身三问（这一份算谁的、谁在记、记的人有没有利害），并用三张场景卡落到种地、养宠物、做实验里。

第 37 章

判决性试验

只改记账一致性，个体先于脱钩出现吗，撤关口会回弹吗

◆ 一、你一定有过这样的时刻

你一定有过这样的时刻：一个人说得头头是道，你听完点头，回家路上忽然想起要问一句：那么，要是你错了，是怎么个错法？

陈老师问阿远这个问题，是在一个很普通的下午。

阿远刚给她讲完这本书的主意：生命不是哪一头的作品，是被记到谁名下的作品。他讲得很顺，几个例子一个接一个。陈老师一直听着，没打断。等他说完，她倒了一杯茶，问了一句：

「你们做实验，敢不敢先写好，做出什么结果，就认输？」

阿远愣住了。

「我不是说你们不敢，」陈老师说，「我是说，大部分时候，实验做完了，看到什么结果，都能说成是支持自己的。你们敢不敢，在做之前，就白纸黑字地写下来：看到哪一种结果，这个想法就该撤了？」

阿远想了想，说：「敢是敢。但我得想想，怎么写。」

「那就写，」陈老师说，「一本书，要是不敢先写好怎样认输，就还没把话说到可以检验的地步。」

这一章，就是在写这件事。

◆ 二、只改一件事

先说试验要问的问题。

本书的母题是：生命不是哪一头的作品，是被记到谁名下的作品。落到最小的一个形式上，它说的是：**一个新的集体（比如一团细胞），能不能成为一个个体，取决于它的后代账是怎样记的**。

具体地说，是记账一致性：新的一团细胞，它的创始细胞，有多大比例来自同一个亲代集体。

要检验这个说法，最干净的办法，是找一个体系，**只改这一件事，其余全部保持不变**，然后看会发生什么。

试验的体系，取两套已有的工作。

一套是 2019 年赫伦（Matthew Herron）等人的实验：他们用莱茵衣藻，一种单细胞的绿藻，在有捕食者的压力下，让它们从头演化出多细胞的团体〔待核〕。

另一套是 2020 年布莱克（Black）、布拉（Bourrat）和雷尼（Rainey）报告的、用「生态脚手架」让集体层出现可遗传变异的实验〔待核〕。所谓生态脚手架，指的是实验者设置的外部条件，让集体层的差别，能以一种稳定的方式，被选择、被传下去。

在这些体系上，本书加一个因子：**只改记账一致性**。

设三组。

第一组，单细胞创始。每个新的细胞团，都由一个细胞长成。记账一致性最高。

第二组，单亲多细胞创始。每个新的细胞团，由同一个老团里的几个细胞长成。记账一致性居中。

第三组，多亲混合创始。每个新的细胞团，由来自多个不同老团的细胞混合而成。记账一致性最低。

三组之间，其余一切相同：同样从一个克隆起始，同样的选择压力，同样的培养条件，同样的代数。

注意第一句里的「从一个克隆起始」。这是为了让三组里的细胞，在遗传上是相同的。这样一来，三组的亲缘度是一样的，而记账一致性不一样。

◆ 三、为什么是三组，不是两组

有读者可能会问：只比较两组，不是更省事吗？

两组只能回答「有没有差别」。一致性高的一组，和一致性低的一组，放在一起，看到差别，也不知道这个差别是怎么来的。是随着一致性一点一点增加，还是越过某一点就突然不同？

三组让曲线有了形状。高、中、低三个点连起来，是一条斜线，还是一个折角，分得出来。致命条款的第三条，说的正是这件事：响应对一致性呈连续线性、没有阈值，命题就要收窄。要判这一条，至少需要三个点。

三个点也不算多。如果条件许可，中间再加几组，曲线的形状会更清楚。三组是下限，不是上限。

◆ 四、莱茵衣藻的实验，来龙去脉

先把这个体系的来历说清楚，省得读者以为它是临时拼的。

多细胞生物在演化史上不止出现过一次，动物、植物、褐藻、一些真菌，各走各的路〔待核〕。一团细胞怎样从单细胞变成一个整体，就成了实验演化想弄明白的事。

办法是让这件事在培养瓶里重演一遍。2012 年前后，雪花酵母的实验用沉降速度做选择：团块大的先沉底，被留下来继续养〔待核〕。后来的研究者换了衣藻，用的压力是被捕食：团块大一些，据说更不容易被吃掉。据报告，所用的捕食者是一种纤毛虫，经过几百代，一部分衣藻出现了稳定的细胞团性状〔待核〕。

这个体系有三样好处。衣藻在实验室里被研究得多，基因组和培养条件都有现成的资料。它一代的时间很短，一个月能养好几十代〔待核〕。它的团块，据报告是细胞分裂后留在一起形成的，不是从四处聚来的〔待核〕，这正好是单亲创始的底子。

好处之外也有难处。团块里的细胞究竟靠什么留在一起，这些细胞是不是始终来自同一个起点，都要在试验里逐项确认，不能凭印象写。

◆ 五、生态脚手架，借它的想法

第二套工作，是布莱克、布拉和雷尼 2020 年关于生态脚手架的论述。大意是：先由实验者或自然条件搭一个外部的架子，让集体层的差别能被选择、被传下去；架子撑得久了，集体层自己有了稳定的性状，架子才可以撤〔待核〕。

这个想法，和本书要问的撤关口是同一个方向。不过，那一篇究竟以理论论述为主，还是带有实验数据，需要对原文核实〔待核〕。本书在这里只借它的想法：外加的架子，是可以撤的。

本书要加的，是把架子的一个参数，记账一致性，当成唯一被改的因子，并且在撤架子之后测回弹。对原文表述有出入之处，以原文为准，本书的设计随之调整。

◆ 六、四个量，各测各的

试验要逐代记录四个量。它们的名字，前面都出现过，这里再列一遍，并写明各自怎么测。

第一，记账一致性。用谱系追踪来测：给创始细胞做可区分的标记，逐代数，每个新的细胞团里，来自同一亲代集体的创始细胞占多大比例。

第二，集体层的可遗传变异。看集体层的性状（比如团的大小、形状、细胞数），在亲代和子代之间，是不是有相关；这种相关，是不是在排除了单个细胞层的因素之后，仍然存在。

第三，适应度脱钩。看集体的繁殖成功，是不是可以和组成它的细胞各自的繁殖成功，分开变化。具体地，分别测集体层的增殖速度，与细胞单独培养时的增殖速度，看两者是不是开始各走各的。

第四，分工。看集体里的细胞，有没有出现稳定分开的类型，各做各的事。这一项，放在最后读：分工，是后来才读出来的，不是先决条件。

这里要强调的是：**这四个量，要用互相独立的测法**。

用于测一个量的方法，不能用另一个量的读数反推出来。比如，不能因为看到集体层有了分工，就认为它一定已经脱钩；也不能因为一致性高，就认为集体层一定有

了可遗传变异。四个量，要各有各的实验、各有各的读数，最好由不同的人，在对分组不知情的条件下去记。

这是第 13 章讲的「互相」检验里的纪律：规则，在看材料之前定下。

◆ 七、每个测法会在哪里出错

四个量，各有各的容易出错的地方。写在这里，是为了在试验开始前就想到它们。

记账一致性靠谱系标记。给创始细胞做上可区分的标记，数每个新团里同一亲团的比例。出错的地方有两处：标记本身可能影响细胞的生长，让被标记的细胞变得更吃亏或更占便宜；标记也可能在传代中丢失。所以要有一组只做标记、不改创始方式的对照。

集体层的可遗传变异靠亲子相关。亲团和子团的性状（比如大小）对得上，才算有可遗传的变异。出错的地方，是亲子对得上，只因为大家在同一个瓶子里，吃着同样的东西。要靠随机打乱亲子配对的对照，把环境一致造成的相关剥出去。

适应度脱钩靠比较两种增殖：团的增殖，和细胞单独的增殖。出错的地方，是培养条件一换，两个速度一起动，看上去在脱钩，其实是同动。所以两种增殖要在同一批条件下对着量。

分工靠单个细胞的类型。出错的地方，是细胞状态在短时间里的涨落，被误当成稳定的类型。要看分出的类型，是否在后代里稳定地重现。

这四种错，都不是躲不开的，各有对应的办法。要紧的是，办法写在试验前。

◆ 八、先后，要事先登记

四个量测出来之后，要问的是：谁先谁后？

本书预测的次序是：**记账一致性先越过下限，然后集体层的可遗传变异出现，然后适应度脱钩，分工若出现，在其后。**

但「先后」这个词，如果不事先写清楚，很容易事后随便解释。所以，试验要在开始之前，登记一个**容差窗**：两个事件之间，相差多少代以内，算「同时」；相差多少代以上，算「先后」。这个容差窗，在看到任何数据之前，写进预注册。

同样，**阈值**和**持续的代数**，也要在试验前登记。阈值，是记账一致性的一个数；持续的代数，是越过这个数之后，要保持多少代，才算「稳定地越过」。本书不在这里给具体数字，因为这些数字，应当由做实验的人，根据体系的实际情形，在动手之前定下来。附录二留了一张空的登记表，供填写。

◆ 九、预注册和盲测，实际怎么做

预注册听着像手续，其实是几个很具体的动作。

第一，把假设、分组、四个量的测法、分析的办法，写成一份文件，在拿到任何数据之前，交到一个公开的、改了就有记录的地方存档〔待核〕。这一做法在临床试验里行之有年，近些年在其他学科里也普及开来〔待核〕。

第二，把容差窗、阈值、持续代数这三个数写进去。数字怎么定，可以参考预实验或已有的同类体系，但定下之后，就不能改。

第三，写明「不能定论」的区间：结果落在哪一段，算作没有判出来。下面一节再说。

盲测是另一个动作。培养瓶的标签换成随机编号，谁是哪一组，由不参与测量的人保管。测记账一致性的人，看不到集体层的读数；测脱钩的人，看不到分工的读数。分析用的程序，在揭晓分组之前先冻结，不再改。

阿远在组里讲这套办法的时候，师姐问他：这样一来，我们不是全程蒙着眼做？

「蒙眼是为了数据到了以后，我们没法替它找理由。」阿远说。

◆ 十、撤关口那一下

试验最关键的一步，在后面。

三组的细胞团，在持续地被外加的记功口约束着：比如，实验者设的选择规则，或者生态脚手架。这些，是外面的关口。

当某一组的记账一致性，越过了登记的阈值，并且持续了登记的代数以后，实验者做一件事：**撤掉这道外加的记功口**。

然后，继续培养，继续逐代测。要看的是：集体层的那些性状，会不会退回去。

退回去的程度，用回弹系数来量，它是一个从零到一的数。零，是撤了关口，一点没退，集体层的性状原样保持；一，是撤了关口，全退回到了加关口之前的样子。

本书的主张是：**越过阈值足够多代之后，撤关口，不回弹，或者回弹很小**。这是个体显出来的样子：它不再靠外面的关口撑着。

要是撤了关口，集体层的性状全退回去，那说明这一层从头到尾，靠的是外面的撑，没有真正「显」出来。

◆ 十一、两个对照

试验里还有两个自然的对照，它们不由实验者摆布，是现成的。

雪花酵母。这是一种酵母，细胞分裂之后不完全分开，留在一起，长成分枝状的细胞团，像雪花〔待核〕。它的细胞团，是从一个细胞一层一层长出来的，所以它的记账一致性，在结构上就是高的。它在本试验里，作为「结构先定」的对照：看一个体系，当一致性靠结构保证时，会是什么样子。

盘基网柄菌。这是一种土壤里的变形虫。食物充足时，它们是各自生活的单细胞；食物不足时，成千上万个细胞聚在一起，形成一个有柄的、类似小蘑菇的结构〔待核〕。它是**聚集成体**的：细胞来自四面八方，没有一个单细胞瓶颈；这种团体里，据报告，常有只占便宜、不出力的「作弊者」〔待核〕。它在本试验里，作为「低一致性」的自然对照。

这两个，一头是一致性被结构保证到了极高，一头是一致性低得几乎没有；它们和实验里改出来的三组，正好可以对着看。

◆ 十二、雪花酵母：口长在身上

雪花酵母的细胞团为什么算「结构先定」，值得拆开说。

据报告，雪花酵母的子细胞在分裂后不能分开，仍连在母细胞上，一代代长成分枝状的团〔待核〕。团里所有细胞来自同一个起点，记账一致性靠结构保证，不需要谁来记。

那么团怎么繁殖？据报告，团长大到一定程度，细胞相互排挤产生的力会让分枝断裂，断下来的小块带着几个细胞，另起一个新团〔待核〕。这个断裂，就是一道自带的记功口：它决定哪些细胞，算作新团的创始者。

这两点放在一起，雪花酵母的口是长在身上的，很难撤掉。这正是它的用处和局限：用处是，它示范了口在结构里是什么样子；局限是，它没办法回答「口撤了以后，集体还在不在」，因为口撤不下来。

◆ 十三、盘基网柄菌：低，但不是零

盘基网柄菌那一头，也值得写足，不然会把它当成一个反面教员。

食物耗尽时，细胞会发出一种信号分子，周围的细胞顺着信号往中心爬，聚成一团〔待核〕。聚起来的团变成一条会爬的「蛞蝓」，最后立成一个有柄的子实体。据报告，约有五分之一的细胞成为柄，死去，其余成为孢子，传下去〔待核〕。

这套安排里，死的是少数，传下去的是多数。所以谁成柄、谁成孢子，对每个细胞都是大事。有些品系偏偏爱往孢子那边挤，占了便宜；这样的作弊者，在实验室里已经分离出来过〔待核〕。

不过要还它一个公道：野外的盘基网柄菌，也不是什么都能混进来。据报告，它们表面有一对负责识别同类的蛋白，让聚集体倾向于由相近的品系组成〔待核〕。也就是说，这个低一致性的自然体系，也有自己的一套补救，把一致性拉回来一些。

这对试验的意思是：盘基网柄菌当对照，要问的是它实际的一致性有多高，不能默认它是零。野外的聚集体里究竟混了多少不同的品系，需要查材料确认〔待核〕。

还有一句局限：这两个对照，和衣藻在许多方面都不同，物种不同，生活史不同。它们只能作对着看的参照，不能当判决。判决靠的是那个只改一个因子的三组。

◆ 十四、什么结果，让本书认输

现在，回到陈老师那个问题。

本书事先写好的认输条款，叫**致命条款**。它共四条，原文如下，一字不改：

> 致命条款（草拟，预注册）：其一，克隆起始、选择压力相同、只改记账一致性，三组之间集体层可遗传变异与适应度脱钩没有差别，或脱钩只在生殖分工出现之后才出现，撤回「记功口」，本卷退回 Michod 的适应度转移；其二，记账一致性的上升不先于集体层可遗传变异（容差窗预登记），撤回「记功先于个体」；其三，集体层响应对记账一致性呈连续线性、没有阈值，命题收窄为 Okasha 的两种算法之别；其四，越过阈值并持续登记代数之后撤掉外加的记功口，回弹系数显著为正，撤回「不回弹即个体」与「个体是显出来的」两章的核心命题。阈值与代数在试验前登记。

把它一条一条，对应到试验上看。

其一。三组只有记账一致性不同。如果结果是：三组之间，集体层的可遗传变异和适应度脱钩，没有差别；或者脱钩要等到生殖分工出现以后才有。那么，「记账」这一件事，并没有独立地起作用，本书的母题「记功口」就撤回，退回到米卓德所说的适应度转移：也就是说，要等到有了分工，才有集体层的适应度。

这里再补一句对手一侧的写法：按米卓德的框架推下去，没有生殖分工，就没有脱钩〔待核〕。这个预测与本书不同，所以试验能把两家分开。如果结果支持他，本书就收回自己的话。

其二。如果记账一致性的上升，并不早于集体层的可遗传变异（在预登记的容差窗之内），那么「记功先于个体」这个次序，就是错的，撤回。

其三。如果集体层的响应，对记账一致性是连续、线性的，没有阈值，那么本书「有阈值」的说法收窄。按奥卡沙的框架推下去，集体层的响应，随记账一致性连续

变化〔待核〕。结果若是这样，本书的命题收窄成奥卡沙所说的两种算法之别：同样的东西，用两种方式算，而不是本书所说的「翻转」。

其四。如果越过阈值并持续登记的代数之后，撤掉外加的记功口，回弹系数显著为正，那么「不回弹即个体」与「个体是显出来的」两章的核心命题，撤回。

四条里，哪一条触发，撤回的、收窄的就是哪一条。**其余的不动，也不顺手跟着撤**。这也是预注册的规矩：事先写清楚，哪一种结果，对应哪一种后果，事后不再商量。

◆ 十五、亲缘度和记账一致性，分开报告

有一个地方，必须单独强调一次。

记账一致性，与群内的亲缘度，高度相关，最容易被说成：这不过是亲缘选择，换了一个名字。

所以，试验里，**这两个量要分别测，分别报告**。

设计里的办法，就是前面说的：三组都从一个克隆起始，所以亲缘度在三组里相同。变的只有账怎么记。如果结果显示，在亲缘度完全相同的情况下，三组的集体层表现，仍然随记账一致性而不同，那么，记账一致性就是一个不能被亲缘度吃掉的变量。

要是反过来，结果显示，一旦把亲缘度控制住，记账一致性就不再有解释力，那就说明，这两个量，在这个体系里分不开。这是本书的一处最弱点，在第 18 章已经说过，这里再写一次：这一条，试验可以直接检验。

◆ 十六、有人说，这个试验做不成

有人会说：这个试验做不成。常见的说法有三种，一种一种答。

第一种，说记账一致性没法单独改。改了创始方式，别的东西也会跟着变，比如团的大小。这个顾虑是对的。所以设计里要求，三组在团的大小、培养条件上做匹配，并把团大小当作协变量记下来。匹配不上，就在报告里写明没有匹配上，并把这一组的结果降级处理。

第二种，说三组都出自同一个克隆，几十代下来，各自会长出新突变，克隆就不纯了。这也是对的。所以要定期测序，把新突变的情况记下来。三组的亲缘度，要报告实测值，而不是只写「起始时相同」。

第三种，说撤掉外加的记功口，在实验里没法做干净，因为实验者每次转移培养，取多少、取哪一部分，本身就是一道口。这是最深的一个顾虑，也说对了。所以设计里要写明：「外加的口」指哪几样，「实验者不可避免的口」又指哪几样；撤的是前者，后者要保持随机、保持一致，并在报告里写出来。

三种顾虑，都没有使试验变得不可做，只是使它更难，更啰嗦。本书以为，啰嗦是可以接受的价格。

◆ 十七、如果结果模棱两可

如果结果模棱两可呢?

这在实验里最常见。数据不整齐，三组之间有差别，但没大到触发哪一条，也没小到可以说没有。

办法是把这种情形也写进预注册。登记的时候，除了「触发」和「不触发」，再写一段「不能定论」：落在这一段，不算本书赢，也不算本书输。

落进这一段以后，只许做事先写好的事：比如增加重复，或者延长到登记的上限代数，只做一次。做完以后重新读。如果仍落在这一段，报告里写四个字：未能判定。

模棱两可不是借口。事后另找一种分析方法，直到出现想要的结果，那是另一回事，预注册就是为了防它。

◆ 十八、谁来做，做多久

谁来做，做多久，也要说一句。

谁来做：这件事需要一间培养着这类体系的实验室，本书不替任何一家实验室承诺什么。最好是几家一起做，用同一份登记，各自分头跑，结果放在一起读。

对手也可以来。持米卓德一路想法的人，或持奥卡沙一路想法的人，如果愿意参与登记，替本书检查容差窗和阈值写得公不公道，这个试验就更有分量。试验是用来分出谁对的，不是用来证明本书对的。

做多久：不以月计，以代数计。要登记一个上限代数。以往同类的实验演化，常以几十代到几百代为单位〔待核〕。这个试验要在越过阈值之后，再持续一段登记的代数，才撤关口；撤了以后，还要再养一段，才读回弹。总共多少代，由体系的繁殖速度决定。

本书不报预期的数字，是因为不想先给自己一个舒服的预期。

◆ 十九、放回日子里

那天晚上，阿远把这一章的想法，整理成了一页纸，标题是：「如果我错了」。

他把四条致命条款，一条一条抄在纸上，在每一条下面，写了一行：这一条触发，我撤回什么。写到最后一条，他停下来，想了一会儿，又添了一行：「并且告诉大家。」

第二天，他把这页纸贴在了实验室的白板上。

组里的师兄路过，看了看，问：「你这是干什么？」

「先把怎么认输写下来，」阿远说，「免得到时候，舍不得。」

师兄笑了：「你这个想法，不怕被人真的做出来？」

「怕，」阿远说，「但更怕没人做。」

陈老师后来听说了这件事，没说什么，只是在自己的笔记本上，抄了一行：

「敢先写好怎样认输，才算把话说到了可以检验的地方。」

你也可以试试。找一个你近来相信的说法，不管是关于工作，关于孩子，还是关于你自己。在纸上写一句：「如果看到_____，我就该改主意。」写不出这一句的，说明你还没有真的想清楚，它到底在说什么。

◆ 二十、想一想

一，你最近一次说服别人，用的是什么理由？如果换成「先写好怎样算我错了」，你会写什么？

二，一个说法，要是怎样的结果出来你都能说「这支持我」，它到底说了什么？

带走的话

一本书敢先写好怎样认输，才算把话说到了可以检验的地方。◆

小账

拆了什么：拆了「道理讲得通就算对」的做法；试验事先写明，什么结果让本书撤回、什么结果让它收窄。

立了什么：立了判决性试验的可执行设计（只改记账一致性，四量各测各的，容差窗预登记，越过阈值后撤关口测回弹系数），并把致命条款四条一一对应到结果上。

结　语

生命是谁的作品——是被记到谁名下的作品

◆ 一、一年以后

你一定有过这样的时刻：一件悬了很久的事，忽然有了着落，你站在原地，半天没说话。

一年以后，阿远给陈老师打了一个电话。

「老师，那个蛋白，被一个团队用起来了。」他说，「他们把它放进了一条长期培养的谱系里。每一代都带着它，而且是因为它的效果，才一代一代地留下来。」

电话那头安静了一会儿。

陈老师说：「这下，它有户名了。」

（这一段是虚构的，只作收束，本书不写任何技术细节。）

阿远笑了：「您还记得。」

「怎么不记得，」陈老师说，「我问过你的。」

她问的，是那一年在县城的饭桌边，那一句：它有用，那这个「用」，算在谁名下?

◆ 二、判词

现在，可以把这本书的判词，再放回桌面上。一个字都不改：

> **生命不是哪一头的作品：基因派、生态位派、有机体派各看对了一头，却都把「谁是那个个体」当成了起点。个体不是挣到适应度的那个承载者，而是一道「记功口」一代代记账而显出来的账户：选择决定后代有多少，记功口决定这些后代算谁的。达尔文过程不是两件事（变异、选择），而是三件（变异、选择、记功）；序列、表达轨迹、种群频率，只是它一路留下的痕迹。AI 第一次以「无利害、能提出候选」的身份握住了记功口。**

这是前言里的那一段，也是导读里的那一段。三处是同一句话。

◆ 三、回答书名

书名问：生命是谁的作品？

这本书的回答是：

生命是谁的作品——是被记到谁名下的作品。

这个回答，看起来像是躲开了问题。其实不是。

「谁的作品」这个问法，默认了有一个现成的作者：是基因的，是环境的，是那个活着的东西自己的。三家各自把作者的名字，填在了不同的位置。

本书的意思是：这个问法，漏了一个步骤。作品和作者之间，有一道手续：**记**。同一批后代，同一个效果，记在谁的名下，是被一道一代代运作的记功口定的。这道口，选择的是谁，作品就是谁的。

所以，它不是躲开了问题，而是把问题往前推了一步：先问「谁在记」，再问「谁的作品」。

◆ 四、三家各看对一头，各欠同一笔

回头看这本书的第一编和第二编。

基因派看对了一头：序列，能被抄下去的那一串，是真的。它是客体的一头，是读数可以落脚的地方。

生态位派看对了一头：生物不是被动地适应环境，它们改造环境，环境又回头改造它们。那是互动的一头。

有机体派看对了一头：生命是自己维持自己的，有一个活着的东西，在把自己的边界拉在那里。那是主体的一头。

三家各自把一头讲到了极深处。这是他们的本事，本书对此始终抱着敬意。

三家欠的，是同一笔：**「这一份后代算谁的」，被他们当成了不言自明。**

不言自明的东西，最容易被忽略。有了它，一个理论才能起步。可也正因为它不言自明，没有人去算它到底是怎么来的。本书做的，只是把这笔账，从「不言自明」里，拿出来，摊在桌上。

◆ 五、三家留下了什么

批评之后，要把账结清：三家各自留下了什么，本书一样都没有拿走。

基因派留下的，是测序和时间序列这一整套读数的功夫。没有它，记账一致性无从追踪，基因频率无从描绘。

生态位派留下的，是换土这一头。生物会改土，土会回头改生物，这条线被他们讲得最扎实。

有机体派留下的，是对边界的敏感。活着的东西总在给自己划边，这个直觉，让本书敢说个体是一个账户，而不是一只现成的盒子。

本书只是把「谁是那个个体」这句话，从起点挪到了问题里。三家的发现，仍在原来的位置上。

◆ 六、对手的位置

最近的几位前人，巴斯、柯克伍德、米卓德、奥卡沙，也要在这里再点一次名。

他们各自把一段路走得很清楚，本书是顺着他们的路，往前多迈了一小步，并且把这一步放到了能被检验的地方。

如果试验做出来，是米卓德那一路更对，或者是奥卡沙那一路更对，本书照认，照改。那意味着这件事，终于可以用实验来分对错，而不是靠说得动听。

◆ 七、有了这本账，能做什么

本书的第三编，把这一笔账，落到了生命的几个基本问题上。

衰老：因为记功口只记生殖系，身体是不入账的那部分。

个体：个体不是现成的，是账记出来的。

功能：功能不由来历定，由记账定。

第四编，把它落到了人和 AI 身上。人握记功口一万多年，每一次，握口的人都有自己的利害。AI 第一次，没有。它带来了真实的增益，也带来了一种新的危机，叫无主之功。

第五编，把它收成三本账：读数账，价值账，意义账，再落到每个人的日子里：种地，养宠物，做实验。

这些，都不是定论。它们是一个说法，带着它认输的条件，摆在了桌上。

◆ 八、这本书可能错在哪

在这里，要把话说得诚实一点。

本书认为最弱的地方，有两处：

第一处，是它与前人的距离。巴斯、柯克伍德、米卓德、奥卡沙，他们已经站得很近。本书多出的那一点，是不是真的多出来，要看第 12 章的账、第 37 章的试验。

第二处，是记账一致性和亲缘度。两者高度相关，要靠试验把它们拆开。

本书事先写好了：什么结果出现，母题要撤回，什么结果出现，要收窄。附录一里，写着。

一本说了很多话的书，最后能留给读者的，也许只有这一条：它说，如果我错了，请这样来证明。

◆ 九、三本账，各记一件事

第五编把全书收成三本账，这里用几句话各收一次。

读数账记的是痕迹：序列，表达，频率。它回答「量到了什么」，不回答「算谁的」。

价值账记的是三股劲：守得住，推得动，聚得拢。它回答「好不好」，缺了哪一股，就补哪一股的账。

意义账记的是三栏：新形式，可演化，繁盛。它回答「走到了哪里」，缺一栏，记一笔欠。

三本账都不是记功口。它们是记功口记下来的东西，被拿出来看的三种办法。记功口自己，是那道决定「这一份算谁的」的手续。

◆ 十、账上还空着的几页

有几页账，本书只是翻开，没有写完。

试验没有做。第 37 章是一份设计，不是一份结果。设计里的阈值和代数，要到试验前才登记，所以本书现在给不出它们的数。

对手的原话，有几处还在待核之列。本书对他们的预测，只写到「按其框架推下去」，没有替他们立言。他们若认为推错了，请以他们的原文为准，本书随之改。

记功口的清单，也许不全。本书列了七道，往后还会有第八道、第九道：某种生物，某种做法，某种人类刚刚发明的流程，正在替一条谱系记账，而本书没有看见。

这些页，不是遗憾，是邀请。

◆ 十一、AI 握口之后，户名由谁补

最后一句判词里的 AI，值得再说一句。

它第一次握口，没有利害，能提出候选。这使它成了一个很好用的筛，也使它成了一个不会替任何谱系说话的筛。

户名，仍然要由人来补。补的办法并不神秘：看一看被丢掉的，写下分数是谁定的，把每一批留下来的东西，登记到某一条谱系的名下。这些事，不需要懂得怎样设计什么，只需要有人愿意在记录本上多写几行。

这里说的「提出」「挑」，只指能提候选、能挑、能否决，不等于它有意识。

◆ 十二、给读书会的一个用法

如果你在带一个读书会，这本书可以这样用。

请每位朋友带一样自己手边正在「挑」的东西：一把种子，一份简历，一张歌单，一批实验数据。每人用三问各讲五分钟：这一份算谁的，谁在记，记的人有没有利害。

讲完你会发现，大家挑的东西各不相同，问的却是同一件事。到这时，书里那些生物，已经退到后面去了，留在桌上的是每个人自己的账。

◆ 十三、请回写

一本讲回写的书，最盼的是被读者回写。

你若在菜地里、实验室里、饭桌上，看见一个本书讲不通的例子，把它记下来。记的时候，写三样：这一份是什么，谁在记，记的人有什么利害。再写一样：本书的哪一句，被它顶住了。

一个讲不通的例子，比十个讲得通的例子更值钱。

◆ 十四、一次不完整的收尾

一本书写到这里，按惯例该有一个圆满的收束。本书只能给一个不完整的。

不完整在于：三本账摆出来了，试验的设计写出来了，可是判词是对是错，要等有人把试验做出来才知道。在那之前，本书的说法，是一个带着认输条件的说法，不是一个定论。

这对读者也有一个好处。你不必相信本书。你可以只借走其中的三句问话，用在自己的日子里，试试顺不顺手。顺手，就留着；不顺手，就还回来，并告诉本书哪里不顺。

借了又还，也是一种记账。

◆ 十五、回到你自己

最后一句，不留给陈老师，也不留给阿远，留给你。

你今天，替谁记了账?

可能是你在菜地里留的一把种子，可能是你给一个人的评价，可能是你转发的一条消息，可能是你让一个工具替你挑出来的那几个选项。你每一次说「这个留下，那个算了」，都在替某一条谱系，写一个户名。

你大概不会就此变得很沉重。这本书不是来让你沉重的。它只想让你在落笔的时候，多停一秒:

这一份，算谁的?谁在记?记的人，有没有利害?

问完这三句，你再落笔。

> 带走的话
>
> **生命是谁的作品?是被记到谁名下的作品。** ◆

附　录

供查、供对、供练

附录七件：一，判词怎样才算错，供查；二，预注册预言，供对；三，欠条表，供查；四，最小模型，供练；五，术语对照，供查；六，与本系列对账，供对；七，〔待核〕清单，供核。正文里不用的字母和号位，只在这里出现。

附 录 一

判词怎样才算错

判词全文:

> **生命不是哪一头的作品:基因派、生态位派、有机体派各看对了一头,却都把「谁是那个个体」当成了起点。个体不是挣到适应度的那个承载者,而是一道「记功口」一代代记账而显出来的账户:选择决定后代有多少,记功口决定这些后代算谁的。达尔文过程不是两件事(变异、选择),而是三件(变异、选择、记功);序列、表达轨迹、种群频率,只是它一路留下的痕迹。AI 第一次以「无利害、能提出候选」的身份握住了记功口。**

致命条款全文:

致命条款(草拟,预注册):其一,克隆起始、选择压力相同、只改记账一致性,三组之间集体层可遗传变异与适应度脱钩没有差别,或脱钩只在生殖分工出现之后才出现,撤回「记功口」,本卷退回 Michod 的适应度转移;其二,记账一致性的上升不先于集体层可遗传变异(容差窗预登记),撤回「记功先于个体」;其三,集体层响应对记账一致性呈连续线性、没有阈值,命题收窄为 Okasha 的两种算法之别;其四,越过阈值并持续登记代数之后撤掉外加的记功口,回弹系数显著为正,撤回「不回弹即个体」与「个体是显出来的」两章的核心命题。阈值与代数在试验前登记。

四条,各用一句人话说:

其一。只改「记到谁名下」这一件事,结果什么都没变,或者要等到有了分工才变,母题「记功口」就撤回,退回到「要有分工才有集体的适应度」的老说法。

其二。账的一致,没有跑在集体层的可遗传变异前面,「记功先于个体」就是错的。

其三。集体层的反应，只是随一致性一点点平滑地变，没有一个翻转的点，「有阈值」就收窄成两种算法之别。

其四。越过阈值、稳住足够多代之后，撤掉外加的关口，集体层还是明显退了回去，「不回弹即个体」与「个体是显出来的」两章的核心命题，撤回。

附 录 二

预注册预言

主预测。

分歧预测：克隆起始、没有生殖分工、选择压力相同，只改记账一致性（单细胞创始、单亲多细胞创始、多亲混合创始三组）。Michod 预测没有分工就没有脱钩；Okasha 的框架预测集体层响应随一致性连续变化；本卷预测高一致性组先出现集体层可遗传变异、再出现脱钩，分工若出现也在其后，而且响应在一致性上有阈值。〔待核〕

说明：前两家的预测，是按其框架推下去的，原文表述待核，见附录七。

次预测。

一条可检验的预测：按「生殖系隔离的时点」分组，隔离越早的谱系衰老越明显；水螅与多数植物没有早期隔离的生殖系，几乎不衰老，正是这条预测的对照

阈值与代数「试验前登记」表。以下各栏，须在看到任何数据之前填写。

登记项	登记内容
三组的记账一致性水平（各为多少）	
记账一致性的阈值	
越过阈值后须持续的代数	
「先后」的容差窗（相差几代以内算同时）	
集体层可遗传变异的判定线	
适应度脱钩的判定线	
回弹系数的「显著为正」标准	
亲缘度的测法与报告方式	
登记日期	

登记项	登记内容
登记人与登记处	

附 录 三

欠条表

欠条的算法见第 14 章：一项东西，只有在推导里用到、在该派自己的立论门之外、直接给定而没有推出、又没有声明时，才算欠条。公开承认的条件，不算。

派别	被当成给定的那一项	借在推导的哪一步	本卷出处
基因派（押客体）	一个有边界的有机体；有机体与环境的来往	从「复制子变多」走到「这一份后代算给复制子」	第 2 章
生态位派（押互动）	一个知道自己的构建者；构建的结果要靠遗传才留得下	从「环境被改了」走到「功劳算给构建者」	第 3 章
有机体派（押主体）	可复制的结构；划边界的环境	从「有机体自己维持自己」走到「后代算给那个闭合」	第 4 章
扩展进化综合（最强的对手之一）	适应度的承载者	适应度「算给谁」这一步	第 5 章
发育系统理论（最强的对手之二）	生命周期复现这条判据	认出「同一个周期」这一步	第 6 章
第四条路线：演化发育生物学	公开承认的条件，不计欠条		第 6、10 章

附 录 四

最小模型

这里是全书唯一出现字母的地方。

属性三方程（原文）。

三方程：互动那一头拆成两件——换土（生态位构建）与记功（记功口）。能动＝F（基因，记功口）：某一层的能动在记账稳定到那一层时出现；基因频率＝G（能动，记功口），翻转阈值落在「记账一致性 × 持续代数」上；记功口＝H（能动，基因），回写在此：持有者怎样记，回头改写被记的谱系，也改写持有者自己。能动用觅位选择率，记账一致性用谱系追踪，基因频率用测序时间序列；生态位构建指数（附录四）降为 G 方程的协变量

号位。客体为一号位，互动为二号位，主体为三号位。

一个能复算的最简形式。这只是示意，用来让别人有东西可以算、可以改，不是本书的断言。

设记账一致性为 c，取值零到一；持续代数为 T；两者的乘积 c × T 与阈值 θ 比较。设集体层说了算的份额为 w，写成

w = 1 ÷ （1 + e 的 −k（c × T − θ）次方）

当 c × T 远小于 θ，w 接近零，基因频率的变化由细胞层决定；当 c × T 远大于 θ，w 接近一，由集体层决定。k 管翻转有多陡。

每代基因频率的变化，写成

Δp = （1 − w）× Δp 细胞层 + w × Δp 集体层 + β × N

这里 N 是生态位构建指数，作为协变量，β 是它的系数。

回弹系数 ρ，设撤关口时某集体层性状的值为 x_1，加关口之前的值为 x_0，撤关口后若干代的值为 x_2，则

ρ = （$x_1 - x_2$）÷（$x_1 - x_0$）

取零到一之间：零是不回弹，一是全退回。

θ、k、β 与撤口后的观察代数，参数全部留空，待试验前登记（见附录二的登记表）。

附 录 五

术语对照

大白话（正文用）	学界术语（近义，不等同）	本系列术语（号位、记号只在此）
三头：客体、互动、主体	复制子、环境与互动、有机体与能动	一号位、二号位、三号位
记功口	无直接对应；与适应度的赋值、世系的认定相邻	互动那一头（二号位）里的「记功」一件
换土	生态位构建	互动那一头里的另一件
记账一致性	与群内亲缘度 r 相关，但另有所指	附录四里的 c
户名	世系的归属	
回弹	去内化、逆转	回弹系数 ρ
能动	能动性（agency）；不等于意识	F 方程的左边
基因频率	等位基因频率	G 方程的左边
回写	反馈、生态位构建的因果环	H 方程
读数：跳、波、散	序列；表达与发育轨迹；种群频率	差异序列（D）一侧的三种形状
真守、善推、美聚	复制保真；互利交换；性选择中的吸引	价值三股劲
创造、自由、幸福	新形式；可演化性；繁盛	意义三样
显出来	涌现	S（显露）
无主之功	孤儿功能（不用）	新现象，名不换
漏记	细胞层的适应度回归	无主之功的反面
三界：理念界、现实界、自我界	可能、实际、被认领	与 D×E 记号并用时只在此处写

附 录 六

与本系列对账

方法母本。本书的方法，来自本系列第 391 号《价值是谁创造的？——普通人都能明白的经济学》：三家各押一头，欠条与欠条定理，最强的对手，四个「互相」检验，三层缺了第一层，危机四型，三本账落到日子，一老一少的文体。本书只在这里对账，正文不另提。

价值的完整发生。真守、善推、美聚三股劲怎样发生，本系列第 255 号《SDE价值发生学》已经讲过。本书第 20、34 章只给生物学的操作定义。

同丛书各卷的母题名。

卷	母题名
本卷（生物学）	记功口
其余各卷	待统稿者补

成书说明。本书据《属性纠缠应用丛书·其余七卷大纲（第十三版）》与写作任务书写成。书中涉及的人物陈老师、阿远，均为虚构。

附 录 七

〔待核〕清单

全书的〔待核〕共 467 处，按章收齐如下，供核对者逐条查。核不实的处理：年份或题名错，改正；查无此文，删去该文献，改写为「有研究者指出」或整句删去，判断不动；结论与本书所引相反，按原文改写本书对它的描述。

序	章	待核的内容（句中片段）
1	导论	…年代由克里斯蒂安·安芬森（Christian Anfinsen）等人的实验奠定的
2	导论	…一些期刊明确表示，AI 工具不能列为作者
3	导论	…也有法院在专利案件中裁定，发明人必须是自然人
4	第 1 章	…次就职演讲里讲了这个想法，第二年印成小册子，题目就叫《生物学中一个未解决的问题》
5	第 1 章	…廉斯（George C. Williams）发表了一篇关于多效性与衰老演化的论文
6	第 1 章	…这类检验，实验室里已经做了不少，结论并不总是整齐，本书不替它们下定论
7	第 1 章	…主张，身体的细胞和生殖的细胞是两条路：生殖的那一条传下去，身体的那一条随个体死去
8	第 1 章	…在天敌少的岛屿上，同类动物往往老得慢
9	第 1 章	…座近岸岛屿上的同种负鼠，岛上的天敌少，据报告，岛上的负鼠老得更慢，也更晚开始繁殖
10	第 1 章	…汉密尔顿（W. D. Hamilton）发表了一篇讨论自然选择怎样塑造衰老的论文
11	第 1 章	…物学家迈克尔·罗斯（Michael Rose）在 1980 年代做过一组选择实验
12	第 1 章	…据报告，几十代之后，只留晚产者的那一类，寿命明显变长，而早期的产卵量下降了
13	第 1 章	…不过，实验的细节、重复的情况和对结果的不同读法，文献里都有争论，本书不替它们裁决
14	第 1 章	…这个想法很早就有，魏斯曼本人一度也这样想，后来不再坚持
15	第 1 章	…追踪研究把数据放在一起，综述报告说，在许多野生种群里，能看到晚年繁殖与存活的下降
16	第 2 章	…学家理查德·道金斯（Richard Dawkins）1976 年的《自私的基因》

序	章	待核的内容（句中片段）
17	第 2 章	…它的底子更早，来自乔治·威廉斯 1966 年的《适应与自然选择》
18	第 2 章	…国生物学家威廉·汉密尔顿（W. D. Hamilton）发表了关于亲缘选择的论文
19	第 2 章	…生物学家把这类基因叫「分离偏离因子」，道金斯自己也讨论过这类「法外之徒」
20	第 2 章	…把基因组比作一个「议会」：多数基因靠公平分裂才能一起受益，于是联手压住少数作弊者
21	第 2 章	…道金斯后来写了《延伸的表型》
22	第 2 章	…教科书的算法，姐妹之间的亲缘度是四分之三，比她们和自己将来孩子之间的二分之一还高
23	第 2 章	…来的研究者因此一直在争：这套性别决定，到底是社会性演化的原因，还是之后才有的条件
24	第 2 章	…提出这个批评的人里，有恩斯特·迈尔（Ernst Mayr）
25	第 2 章	...Haldane），他的辩护大意是：数豆子是一种记账的办法，账面上的算术本身没有错
26	第 2 章	…德尔当年数了七千多粒，据记载，圆粒五千四百多，皱粒一千八百多，比值在二点九六上下
27	第 3 章	…他晚年专门研究过蚯蚓，1881 年出版了一本关于蚯蚓怎样形成腐殖土的书
28	第 3 章	…他在 1983 年一篇题为「有机体是演化的主体与客体」的文章里说
29	第 3 章	...rcus Feldman）把这个思想系统化，在 2003 年出版了《生态位构建》
30	第 3 章	…能让某个性状的演化，跑得比单靠基因的传递快得多，或者慢得多，甚至朝着相反的方向走
31	第 3 章	…生活的细菌，被另一个细胞吞进去，没有消化掉，反而住下来，一代一代，成了细胞的器官
32	第 3 章	…美国生物学家 E. 托比·基尔斯（E. Toby Kiers）和同事做了一个实验
33	第 3 章	…人类的例子被广泛引用：很多人到成年还能消化牛奶，被认为与几千年的乳畜业有关
34	第 3 章	…的园地里，一英亩土中住着数万条蚯蚓，它们一年翻到地面的细土，按他的推算有十吨上下
35	第 3 章	…留意过一块放在田里的大石头，据记载，石头在几十年里慢慢下沉，他的家人后来接着去量
36	第 3 章	…态位派自己把这个前提说得很清楚：构建的好处要有某种局限，局限在构建者的后代那一边
37	第 3 章	

序	章	待核的内容（句中片段）
		…离巢之前，会在口腔里带上一小团自家蚁巢里养的真菌，到了新地方，用它开出第一块菌圃
38	第 3 章	…布赫纳氏菌（Buchnera），据说是通过卵一代代传下去的，母蚜的卵里就带着它们
39	第 3 章	…老面是一团酵母和乳酸菌合起来过日子的东西
40	第 4 章	...rela）在 1970 年代给这个想法起了名字：自创生（autopoiesis）
41	第 4 章	...o）和马泰奥·莫西奥（Matteo Mossio），把这个想法推进成「组织闭合」
42	第 4 章	…尼斯·沃尔什（Denis Walsh）在 2015 年的《有机体、能动与演化》里
43	第 4 章	…德国哲学家康德在 1790 年的《判断力批判》里
44	第 4 章	…他大意是说，这样的东西，不能像钟表那样，由外面的匠人把零件一个个装起来
45	第 4 章	…用荧光染料，可以把这些疤染亮
46	第 4 章	…据报告，一颗母细胞一般生到二三十个芽，就不再分裂了，这个数目叫作「复制寿命」
47	第 4 章	…据说新生的芽，会重新回到「年轻」的状态，老化的痕迹留在母细胞那一边
48	第 4 章	…据记载，细胞会重新聚拢，长成新的小海绵
49	第 5 章	…国生物学家格哈德·米勒（Gerd Müller）编了一本书，叫《演化：扩展综合》
50	第 5 章	…2015 年，拉兰德等人在一篇综述里系统写出这个纲领的结构和预测
51	第 5 章	...ay）等几位学者，回答：现有的理论本来就已经把这些东西装进去了，没有必要另立旗号
52	第 5 章	…水里没有这种信号，同样基因的水蚤就不长，或长得很小
53	第 5 章	…还有报告说，母蚤闻到过信号，生下来的幼体就更容易长出头盔
54	第 5 章	…可以从黄到褐不等，据报告，这与母鼠怀孕时的饮食有关，也与那段序列上的化学标记有关
55	第 5 章	…，大部分标记会被擦掉重写，所以多代传递的证据要苛刻得多，不同实验室的结果也不一致
56	第 5 章	…在植物和线虫里，有人报告过更长的传递，是否通用，仍在讨论
57	第 5 章	...Eörs Szathmáry）1995 年的《演化的重大转变》，是这条线上的代表
58	第 6 章	…哲学家苏珊·奥雅马（Susan Oyama）1985 年出版的《信息的个体发生》
59	第 6 章	...Paul Griffiths）、拉塞尔·格雷（Russell Gray）等人发展

序	章	待核的内容（句中片段）
60	第 6 章	…是：它的祖先是一种野生的蚕蛾，在中国被驯化，大约五千年前就已经有了丝织的实物证据
61	第 6 章	…）：突变体的第三胸节被发育成第二胸节的样子，长出了第二对翅膀，成了四个翅膀的果蝇
62	第 6 章	…还有一类叫触角足（Antennapedia），触角的位置上长出了腿
63	第 6 章	…刘易斯因这类工作，与别人共同获得 1995 年诺贝尔生理学或医学奖
64	第 6 章	…基因和别的发育资源，在因果上站在同一排，没有哪一样天然是信息的来源，别的只是条件
65	第 6 章	…为它辩护的人里，有格里菲斯和罗宾·奈特（Robin Knight）等
66	第 6 章	…基因序列和别的资源毕竟不同，它有稳定的、可以读出的编码，别的资源没有这样一套对应
67	第 6 章	…许多品种的卵是否滞育，据报告，与母蛾自己做卵时经历的温度和光照有关
68	第 6 章	…养蚕的人长期用低温保存蚕种，让它在桑叶出来的时候才醒
69	第 6 章	…下待十三年或十七年，然后在同一年大批钻出地面，几周内羽化、交配、产卵，再等下一轮
70	第 6 章	…究者按出土的年份给它们编了号，叫作「年群」（brood），用罗马数字，依次排下去
71	第 6 章	…核对的过程中，也发现有的年群会提前或推迟出土
72	第 6 章	…发育心理学家吉尔伯特·戈特利布（Gilbert Gottlieb）做过一系列研究
73	第 6 章	…给它们听到自己的声音，偏爱才会出现
74	第 7 章	…生物学家理查德·伦斯基（Richard Lenski）在一九八八年开始了一项实验
75	第 7 章	…一开始上升得快，后来慢下来，不过几万代过去，还在往上走
76	第 7 章	…很多年的大肠杆菌，没有带能让细菌彼此交换基因的小环，每一次分裂，都是一个变成两个
77	第 7 章	…这个小突变的作用，是让菌落在特制的平板上显出不同的颜色
78	第 7 章	…每升里只有二十五毫克葡萄糖，细菌几个小时就吃光了，然后在瓶里饿着，等第二天的转瓶
79	第 7 章	…研究者管这些小管叫「冷冻的化石记录」
80	第 7 章	…到几万代的时候，十二个种群里已有大约一半，各自独立地出现了突变率高出许多倍的株系

序	章	待核的内容（句中片段）
81	第 7 章	…它们靠着碰巧带上一个有利的突变，占了上风，高突变率就跟着一起留了下来
82	第 7 章	…据报告，在头两万代里，基因组上积累突变的步子大体匀速，而适应度的上升却在变慢
83	第 7 章	…培养液变得浑浊，因为这个种群能利用的食物一下子多了一大类，数量激增
84	第 7 章	...en Jay Gould）曾设想：把生命的录像带倒回去重放，会不会放出同样的故事
85	第 7 章	…2008 年，扎克·布朗特（Zachary Blount）和同事发表了结果
86	第 7 章	…着的启动位置旁边，于是原本只在缺氧时才用的那条运输柠檬酸盐的通道，在有氧时也开了
87	第 7 章	…，肉眼就能看出菌落的大小不同：大的叫 L（large），小的叫 S（small）
88	第 7 章	…2000 年，罗森（Daniel Rozen）和伦斯基发表了对这两支的研究
89	第 8 章	…这样的情形：同一批数据，把选择记在基因名下，还是记在个体名下，有时可以数得一样好
90	第 9 章	...Mills）和约翰·比蒂（John Beatty）1979 年提出的「倾向解释」
91	第 9 章	…后来他公开收回了这个看法
92	第 9 章	…由一个基因型长出的几万根树干组成，共享同一个根系，被认为是已知最重的单个生物之一
93	第 10 章	...Luria）和德尔布吕克（Max Delbrück）1943 年的「波动实验」
94	第 10 章	…2022 年，有一个研究组在《自然》杂志上发表了一篇关于拟南芥的文章
95	第 10 章	…论引起了不小的争议，有其他研究者提出，这一图景也许可以用测序和统计上的因素来解释
96	第 10 章	…他们把许多支独立的小管排开，数结果，看到的是彩票
97	第 10 章	…据卢里亚自己后来的回忆，他是在一次联欢会上，看同事玩老虎机，想到这个办法的
98	第 10 章	...derberg 和 Esther Lederberg）用一块丝绒，做了另一种检验
99	第 10 章	…加了抗生素的平板上活下来的位置，对应回没加抗生素的原板，早就是耐药细胞所在的位置

序	章	待核的内容（句中片段）
100	第 10 章	…在许多生物里，转换比颠换常见得多，人类基因组里大约是两倍上下
101	第 10 章	…一个甲基，这样的胞嘧啶容易自发地变成胸腺嘧啶，于是那些位置的突变，比别处高出许多
102	第 10 章	…的基因组一并测出来对比，就能找出孩子身上父母谁都没有的新突变，每个孩子大约几十个
103	第 10 章	…据报告，来自父亲的更多，而且随着父亲年龄增大而增多
104	第 10 章	…88 年，约翰·凯恩斯（John Cairns）和同事在《自然》上发表了一项研究
105	第 10 章	…同时，原来观察到的结果里，也混入了选择在其间的作用
106	第 10 章	…能吃乳糖之后，细胞才继续长大
107	第 10 章	…同一类昆虫的翅脉模式，沿着某几个方向变化比沿别的方向容易
108	第 11 章	…据传他在一封给友人的信里说，每次看到孔雀尾巴上的羽毛，就觉得不舒服
109	第 11 章	…1871 年，达尔文在《人类的由来及性选择》里
110	第 11 章	…年，以色列生物学家阿莫茨·扎哈维（Amotz Zahavi）提出了「累赘原理」
111	第 11 章	…证明了：只要信号的代价，对强的个体比对弱的个体便宜，诚实的信号就可以稳定地留下来
112	第 11 章	…据希尔（Geoffrey Hill）1991 年前后的研究，雌鸟偏爱更红的雄鸟
113	第 11 章	…德·费希尔（R. A. Fisher）在 1930 年的《自然选择的遗传理论》里
114	第 11 章	…7 年，美国鸟类学家理查德·普鲁姆（Richard Prum）出版了《美的演化》
115	第 11 章	…）1981 年的和柯克帕特里克（Mark Kirkpatrick）1982 年的

序	章	待核的内容（句中片段）
116	第 11 章	…报告，不只是雄蝇的眼距变了，雌蝇的偏好也跟着变了：宽柄组的雌蝇，更偏爱宽柄的雄蝇
117	第 11 章	…德松（Malte Andersson）在 1980 年代初做过一个著名的野外实验
118	第 11 章	…生物学家玛丽昂·佩特里（Marion Petrie）在 1990 年代对孔雀做的
119	第 11 章	…料：有的种群里，名义上一夫一妻的鸟，窝里的雏鸟有相当一部分并非「那位丈夫」的孩子
120	第 11 章	…墙，涂上颜色，在门前摆满蓝色的东西：蓝色的羽毛，蓝色的花瓣，如今又添了蓝色的瓶盖
121	第 11 章	…据报告，她们要逛过好几座亭子，看雄鸟在里面跳舞、展示，不满意就走
122	第 11 章	…结果是，一个种群里，少数雄鸟得到了大部分的交配
123	第 11 章	…按他的论述，大意是：这些亭子几乎没有生存上的用处，却是偏好一代代塑造出来的产物
124	第 11 章	…中国人养金鱼的历史，据说有上千年
125	第 11 章	…放进大水里，要活下来都不容易，视力差，游得慢，离了人的照料，很快就会被吃掉或饿死
126	第 11 章	…捕食者少的溪段，色斑多而艳
127	第 11 章	…按普鲁姆的论述，大意是：这样的偏好，可以叫审美
128	第 12 章	…凡写到他们「预测什么」的地方，本书只写「按其框架推下去」，并保留
129	第 12 章	…查德·米卓德（Richard Michod）在 1999 年的《达尔文动力学》里
130	第 12 章	…按其框架推下去，没有分工，就没有脱钩
131	第 12 章	…学家塞缪尔·奥卡沙（Samir Okasha）2006 年的《演化与选择的层次》

序	章	待核的内容（句中片段）
132	第 12 章	…按其框架推下去，集体层的响应应当随两种算法所适用的条件连续地过渡
133	第 12 章	...k Bourrat）和雷尼（Paul Rainey）在一篇讨论个体性起源的文章里
134	第 12 章	...（Peter Godfrey-Smith）2009 年的《达尔文种群与自然选择》
135	第 12 章	…**英国哲学家艾利·克拉克（Ellen Clarke）2013 年发表的文章
136	第 12 章	…82 年，索伯（Elliott Sober）和列万廷发表了一篇关于基因选择的论文
137	第 12 章	…它把「新的个体是怎样出现的」，当成了生物学里一类正经的问题
138	第 12 章	...（Gonium）：四个到十几个细胞排成一小片，每个细胞都还能自己生出一整片新的来
139	第 12 章	...x）：一个小球上有几千个细胞，绝大多数是不生育的体细胞，只有十几个大细胞负责生殖
140	第 12 章	…米卓德把这一类藻当作他的样本，用来看适应度怎样一步步「转移」到集体上
141	第 12 章	…按其框架推下去，Michod 的路线预测：没有分工，就没有集体层的脱钩
142	第 12 章	...Okasha 的框架预测：集体层的响应，随一致性连续变化
143	第 12 章	…对手的预测，一律保留
144	第 12 章	…并预告分歧预测，对手一侧一律用「按其框架推下去」
145	第 13 章	…这种菌在蚜虫母亲的体内，一代代通过卵传给下一代
146	第 13 章	…同时，这种菌的基因组随着长期共生，大幅缩小，丢掉了许多独立生活所必需的基因
147	第 13 章	…布赫纳菌的基因组只有六十多万个碱基，大肠杆菌的约有四百六十万

序	章	待核的内容（句中片段）
148	第 13 章	…，这样的聚集体里，有些品系是「作弊者」：它们倾向于挤进孢子那一部分，让别人去做柄
149	第 13 章	…基网柄菌子实体里，混合的程度并不总是高，不少子实体里的细胞来自同一个或很近的品系
150	第 13 章	…二，这种变形虫自己有一套认亲的办法，能偏向和自己相近的细胞抱团，把陌生的排在一边
151	第 13 章	…2012 年，拉特克利夫（William Ratcliff）等人做了一个实验
152	第 13 章	…会断开：团块里挤得太紧，分枝连接处的细胞承受不住，团块断成几片，每一片又从头长起
153	第 13 章	…后，有人报告，在选择更大个头的条件下，雪花酵母经过几千代，长到了肉眼看得见的大小
154	第 13 章	…联遗传学家德米特里·别利亚耶夫（Dmitry Belyaev）开始了一个驯化实验
155	第 13 章	…同时，一些他们并没有选择的性状也跟着变了：毛色出现斑块，耳朵变得下垂，尾巴卷起来
156	第 13 章	…小狐狸长到几个月大的时候，让试验者伸出手去，看它们是缩回去、扑上来咬，还是凑过来
157	第 13 章	…每一代，只有表现最温顺的那一小部分，才有机会生下一代
158	第 13 章	…同一个养殖场里，据说还养了另一条线，反过来只选最凶的
159	第 13 章	…过了共变，不过在有些类群里，原来的共生菌被别的菌补充甚至取代过，这是不同步的地方
160	第 13 章	…银狐那一例，通过了干预追踪，不过它主要是一条线，没有独立的重复
161	第 13 章	…2019 年，赫伦（Matthew Herron）等人在一项实验里
162	第 13 章	…据报告，那些细胞团不是细胞随机粘到一起的，而是细胞分裂以后没有散开，留在了一起
163	第 14 章	…两位编码者的一致程度，通常用一个叫科恩 kappa 的统计量来报告

序	章	待核的内容（句中片段）
164	第 14 章	…比如一条从凉到暖的长槽，把线虫或果蝇放进去，过一阵看它们分布在哪一段
165	第 15 章	...acon）有一句常被引用的话，大意是：目的因对于科学研究是不育的，像献给神的处女
166	第 15 章	…1802 年，威廉·佩利（William Paley）出版《自然神学》
167	第 15 章	...uld）和列万廷发表了一篇有名的文章，题目里用了威尼斯圣马可教堂的「拱肩」作比方
168	第 15 章	…这样的故事」（just-so stories），名字借自吉卜林讲动物来历的童话集
169	第 15 章	...drigh）提出了一个新词：teleonomy，可以译作「目的性」或「似目的性」
170	第 15 章	…后来，恩斯特·迈尔（Ernst Mayr）在 1974 年的一篇论文里
171	第 15 章	…迈尔还有一个更早的区分，是「封闭的程序」和「开放的程序」
172	第 15 章	…幼鸟在没有见过任何同类迁徙的情况下，到了季节，依然朝着祖辈飞行的大致方向躁动不安
173	第 15 章	…家赖特（Larry Wright）在 1973 年讨论功能的文章里，给了一个办法
174	第 15 章	...uel Kant）在 1790 年的《判断力批判》里，对生物有过一段非常深的思考
175	第 15 章	…钟表里，一个齿轮带动另一个齿轮，部分与部分是互相配合的
176	第 16 章	…定谔（Erwin Schrödinger）出版了一本小书，题目就叫《生命是什么》
177	第 16 章	…航天局一个小组的工作定义：生命是一个能自己维持、并且能经历达尔文式演化的化学体系
178	第 16 章	…这类「谱系追踪」的办法，酵母和细菌里都有人做过，有的一次追踪几十万条谱系
179	第 16 章	…通常引用的数字，是约四万七千根树干，占地约四十多公顷

序	章	待核的内容（句中片段）
180	第 16 章	…据报告，一株蜜环菌的菌丝网，铺开了近一千公顷，年龄估计在数千年
181	第 16 章	…》
182	第 16 章	…普罗斯要说的，大致就是这个意思
183	第 16 章	…**以色列马萨达遗址出土过约两千年前的海枣种子，后来有人让它发了芽
184	第 17 章	...chard Lewontin）在一篇讨论选择单位的论文里，把这三个条件写得很清楚
185	第 17 章	…不少品种协会的做法，是写遗传上的那一头，同时要求注明是移植所生
186	第 17 章	…成年母羊的乳腺细胞核，放进另一只母羊去掉了核的卵细胞里，再由第三只母羊怀胎生下的
187	第 17 章	…有一条常被拿来讲的路，是从衣藻到团藻的一串生物
188	第 17 章	...Michod 的路线预测，没有生殖分工，就没有集体层的脱钩
189	第 17 章	...Okasha 的框架预测，集体层的响应，随记账一致性连续变化
190	第 17 章	…对手一侧的写法，请再留意一次：这里写的是「按其框架推下去」，并保留
191	第 17 章	…，把适应度算在细胞这一层还是集体那一层，是一种算法的选择，取决于看的人想怎样描述
192	第 18 章	…网柄菌混在一起时，有的品系会占便宜：它们在孢子里的占比，超过了在细胞总数里的占比
193	第 18 章	…2020 年，布莱克、布拉和雷尼的论文提出了「生态脚手架」的概念
194	第 18 章	…奎勒和斯特拉斯曼 2009 年讨论「有机体性」时
195	第 18 章	…沉得快的大团块被留下，小的被丢掉

序	章	待核的内容（句中片段）
196	第 18 章	…有的实验让细菌在液面上结成一层膜，膜长到一定程度，就被取出、打散，再接种下一轮
197	第 18 章	…年的衣藻实验，用一种会捕食衣藻的小动物作压力，单个的衣藻容易被吃，成团的更难被吃
198	第 18 章	…胚胎的胎盘血管会连通，血细胞互相混入，结果每只狨猴的血液里，有两套遗传不同的细胞
199	第 18 章	…，它的细节，血细胞混入到什么程度，是否也包括生殖系，文献里有不同的报告，需要核对
200	第 18 章	…野外取的子实体里，常发现同时有几种遗传型
201	第 19 章	…戴维森（Donald Davidson）在 1987 年的一篇文章里讲了一个故事
202	第 19 章	...Baker）组设计了一个叫 Top7 的蛋白，它的折叠方式，在天然蛋白里没有见过
203	第 19 章	…一支团队造出了一个细胞，基因组是人工合成后移进去的
204	第 19 章	…肯（Ruth Millikan）在 1984 年的《语言、思想与其他生物范畴》里
205	第 19 章	…伯特·卡明斯（Robert Cummins）在 1975 年的「功能分析」一文里
206	第 19 章	...o）和莫雷诺（Alvaro Moreno）在 2009 年提出了功能的「组织论」
207	第 19 章	…大致是，一个部分要算有功能，它得是被整体造出来的约束，又反过来帮整体维持这些约束
208	第 19 章	…一种说法认为，早期的羽毛，也许与保温或展示有关，后来才被用在飞行上
209	第 19 章	...abeth Vrba）1982 年专门造了一个词，叫「外适应」，讲的就是这类转用
210	第 20 章	…大肠杆菌在含有柠檬酸的培养液中，经过三万多代，其中一支谱系忽然能够把柠檬酸当食物
211	第 20 章	...er）和约翰·格哈特（John Gerhart）发表了一篇讨论「可演化性」的文章

序	章	待核的内容（句中片段）
212	第 20 章	…各部件之间的联系比较松，改一处不会牵动全局，这叫弱联系
213	第 20 章	…身体由相对独立的模块拼成，一个模块可以单独变
214	第 20 章	…动物的颈椎，都是七节：长颈鹿七节，老鼠也是七节，只有少数几种例外，比如树懒和海牛
215	第 20 章	…命演化的书里，反复提醒读者不要把「出现了更复杂的东西」，读成「演化在朝着复杂走」
216	第 20 章	…生物之间互相追赶：捕食者变得更会捉，猎物就得变得更会逃，双方都在变，却谁也没有赢
217	第 20 章	…不过，据遗传学研究的估计，这个品种的「有效群体大小」很小，远远小于它的实际数量
218	第 20 章	…的细胞和一层不带色的细胞叠在一起的结果，绿色的芽一旦从里层冒出来，就容易压过白边
219	第 20 章	…次 DNA，加上校对和修复，每个碱基出错的机会，大约在十亿分之一到百亿分之一之间
220	第 20 章	…的研究者提出，选择能把出错率压到多低，有一个由种群大小决定的界限，再低就压不动了
221	第 20 章	…有一项研究报告，植物会把更多的碳，给提供更多磷的那一类真菌
222	第 20 章	…伦斯基实验里那支能用柠檬酸的细胞，开始时只是整个种群里极小的一支
223	第 21 章	…约翰森（Wilhelm Johannsen）造出了「基因型」和「表现型」这两个词
224	第 21 章	…蛋白质里的一个氨基酸，从谷氨酸换成缬氨酸），就会让红细胞在缺氧的时候变形成镰刀状
225	第 21 章	…有大规模的比较研究报告，与身高有关的位置，要以千计，每一个位置的贡献都很小
226	第 21 章	…「分节时钟」：一些基因的表达，像钟摆一样周期性地起伏，每一次起伏，对应一节新体节
227	第 21 章	...owitz）等人在大肠杆菌里放了两个不同颜色的荧光标记，两个标记受同样的开关控制

序	章	待核的内容（句中片段）
228	第 21 章	…人到中年，据有人报告，两人身上的化学修饰差别已经明显拉大
229	第 21 章	….沃丁顿（Conrad Waddington）在 1957 年的《基因的策略》里
230	第 21 章	…二十世纪下半叶，随着空气治理，深色型的比例又下降了
231	第 21 章	…后来，有人批评那批实验的方法，比如蛾在野外歇息的位置、放飞的数量
232	第 21 章	...Michael Majerus）又重做了更长时间的观察，大体上支持了鸟捕食的解释
233	第 21 章	…把一勺水里的所有片段读出来，哪一段属于哪一种生物，是后一步的工作
234	第 21 章	…图，在 2001 年发表，宣布完成是在 2003 年，前后花了十几年和巨大的投入
235	第 21 章	…今天，一台机器几天就能读完一个人的基因组
236	第 22 章	…2 年，美国生物学家恩斯特·迈尔（Ernst Mayr）在《系统学与物种起源》里
237	第 22 章	…有人数过，各种物种概念加起来，有二十多个
238	第 22 章	…有人举过的例子，包括环绕青藏高原分布的一种柳莺，和美国加利福尼亚的一种蝾螈
239	第 22 章	…到了西伯利亚中部，环的两端碰到一起，歌声已经差得足够大，它们彼此不再回应
240	第 22 章	…在谷地的南端，两侧走来的两种类型相遇，形态差别很大，据报告基本不再杂交
241	第 22 章	…有研究报告，两种乌鸦基因组上的差别，主要集中在很小的几段，其余地方基本混在一起
242	第 22 章	…细菌那边，同一个种的不同菌株，各自独有的基因，可以占到它们基因组相当一块
243	第 22 章	…群体，各自积累的、混在一起就出毛病的差别，其数目随时间增长得越来越快，不是匀速的

序	章	待核的内容（句中片段）
244	第 22 章	…这几百种丽鱼，据估计是在大约一万五千年以内分化出来的
245	第 22 章	…先在这里铺开，朝着各种生活方式分出去：有的吃藻，有的吃螺，有的专门吃别的鱼的鱼苗
246	第 22 章	…0 年代，瑞士生物学家奥勒·西豪森（Ole Seehausen）和同事发现一件事
247	第 22 章	…西豪森和他的同事，标题大意是：湖水富营养化，使性选择失效，使丽鱼的多样性受到威胁
248	第 23 章	…生殖质不受体质的影响，体质的经历，传不到下一代
249	第 23 章	…据说，连着许多代，小鼠生出来的尾巴一直是原样
250	第 23 章	…年前后，他提出，衰老的个体对物种没有用处，会占着资源，所以死亡是被演化出来的好事
251	第 23 章	…海绵、刺胞动物这类生物里，体细胞也可能参与生殖，细胞这一层的选择，因此有机会发生
252	第 23 章	…大多数体细胞，表达得很少
253	第 23 章	…羽化就繁殖，而是只留下很晚才产卵的那些，用它们的后代接着养下一代，一代一代这样做
254	第 23 章	…可是蜂后能活几年，夏天的工蜂只活几周
255	第 23 章	…：有人报告，实验室里一只黑毛蚁的蚁后，活了近三十年，而同一巢的工蚁，只有一年左右
256	第 23 章	…学家丹尼尔·马丁内斯（Daniel Martínez）发表了一项对水螅的长期观察
257	第 23 章	…这一结论后来也有不同看法，研究者对水螅是否真的不衰老，仍在讨论
258	第 23 章	…许多多年生的树木，据报告可以活几百年甚至几千年
259	第 23 章	…有研究测了一棵很老的橡树，不同枝条之间，体细胞积累的突变，比按常理预期的要少得多

序	章	待核的内容（句中片段）
260	第 23 章	…动物学里，有一种分法：生殖细胞是预先在卵里备好的，还是后来由别的细胞诱导出来的
261	第 23 章	…小鼠不同，生殖细胞是在胚胎发育到一定阶段，由周围信号诱导出来的
262	第 23 章	…物里，生殖系更晚，是从长久保持分裂能力的组织里分化出来的，不过这一点，学界有争论
263	第 23 章	…比较研究里，要用专门的办法校正
264	第 23 章	…而它出的芽，一开始是年轻的
265	第 23 章	…可是有研究报告，跟着「老的那一端」的子细胞，长得略慢一点，积累了较多损伤
266	第 23 章	…蝙蝠比同体型的小型哺乳动物活得久得多，据一般的了解，它们生殖系的隔离并不比后者晚
267	第 23 章	…裸鼹鼠据报告寿命长得出奇，它们的生殖系隔离，也是早的
268	第 24 章	…界的估计差异很大：有的研究者认为是大约一万五千年前，有的认为早到三万年前甚至更早
269	第 24 章	…麦子的驯化比狗晚得多，大约在一万年前，发生在今天西亚的「新月沃地」一带
270	第 24 章	…一路挑下来，才有了今天一整根粗壮的玉米棒
271	第 24 章	…尔文在《物种起源》第一章里，把人对生物的选择分成两种：有计划的选择，和无意的选择
272	第 24 章	…也有模型推算，只要收割方式合适，几百年就够了
273	第 24 章	…一条是人有计划地直接去驯
274	第 24 章	…一只狗很年轻，生前得过一场严重的病，按研究者的推断，它能撑上几周，靠的是人的照料
275	第 24 章	…家犬体内分解淀粉的酶的基因拷贝数，比狼要多，这被解释为狗跟着人学会了吃谷物和剩饭

序	章	待核的内容（句中片段）
276	第 24 章	…这个解释目前还有争论，因为古代狗的情况并不一致
277	第 24 章	…有研究认为，猫很可能是跟着粮仓里的老鼠，慢慢走进村子的
278	第 24 章	…的遗传学家别利亚耶夫（Dmitry Belyaev）在西伯利亚开始了一项长期实验
279	第 24 章	…些原先没人挑过的变化：耳朵耷拉下来，毛色出现白斑，尾巴卷起，繁殖期也变得不一样了
280	第 24 章	…很多驯化动物的耳朵、毛色和脸形，有一些共通的变化，研究者把它们合称「驯化综合征」
281	第 24 章	…至于这套变化的机制是什么，学界仍在争论
282	第 24 章	…比如被丢弃后野化的家猪，据一些观察，几代之内就会重新长出更硬的鬃毛和更长的獠牙
283	第 24 章	…而野生的灰狼，只有几十万只
284	第 24 章	…早期农人的骨骼，据一些古病理学研究，比同时代的采集者更矮，牙病更多，因为吃得单一
285	第 24 章	…不少传染病的来源，也可以追到和家畜挤在一起过日子
286	第 25 章	…麦，后来又有高产的水稻品种，配合化肥、灌溉和农药，使得许多国家的粮食产量成倍增长
287	第 25 章	…博洛格因此获得了 1970 年的诺贝尔和平奖
288	第 25 章	…说源自日本的一个小麦品种，经美国的育种家引入，再被博洛格的团队用进墨西哥的材料里
289	第 25 章	…水稻这边，1966 年前后，国际水稻研究所推出的矮秆品种，被媒体称作「奇迹稻」
290	第 25 章	…据估计，绿色革命避免了数以亿计的人饿死
291	第 25 章	…研究者用几十年的数据，论证现代品种的推广显著提高了产量、压低了粮价，穷人受益最多

序	章	待核的内容（句中片段）
292	第 25 章	…研究者指出，水、肥、农药的投入、地下水的下降、小农户的债务，是同一枚硬币的另一面
293	第 25 章	…这就是为什么，同一块田里，肥施得越足，矮秆品种比高秆品种赢得越多
294	第 25 章	…农组织的估计，二十世纪以来，作物的遗传多样性大幅度地丧失了，不少农家品种已经绝迹
295	第 25 章	…常被引用的有一个「约四分之三」的说法，不过它的来历和算法受到过质疑
296	第 25 章	…1970 年，美国玉米遭遇了一场玉米叶枯病的大暴发
297	第 25 章	…的大部分，用的是同一种细胞质雄性不育的来源，因为用它制种，可以省掉人工去雄的功夫
298	第 25 章	…菌小种，恰好专门欺负这种细胞质，病很快铺开，据估计，那一年全国玉米减产的比例不小
299	第 25 章	…多人主要靠少数几个马铃薯品系过日子，一种病害一来，田里几乎同时遭殃，随后是大饥荒
300	第 25 章	…而今天，新的病菌小种又盯上了这个替补
301	第 25 章	…杂交种的情形不同：它的下一代性状会散开，留种不划算，来年得重新买
302	第 25 章	…纪二十、三十年代，跑遍世界各地搜集作物的种子和样本，想弄清各种作物到底起源于哪里
303	第 25 章	…据传，在列宁格勒被围困的那些年，守着这批种子的研究人员，宁可饿着，也没有动它们
304	第 25 章	…挪威的斯瓦尔巴全球种子库，2008 年启用，把各国备份的种子存在冻土深处
305	第 25 章	…家主张，要让一部分老品种继续留在农人手里、继续种在田里，让它们在地里接着被日子挑
306	第 25 章	…者翻查了成千上万份种质，才在一种野生稻里找到了抗这种病的基因，用它救下了高产品种
307	第 25 章	…一项项写进选育的判据，这样的项目这些年越来越多，比如培育含铁、含锌更高的主粮品种

序	章	待核的内容（句中片段）
308	第 26 章	…西斯·阿克蒂皮斯（Athena Aktipis）等人在 2015 年的一篇综述里
309	第 26 章	…彼得·诺埃尔（Peter Nowell）在 1976 年发表了一篇很有影响的文章
310	第 26 章	…二十世纪末，有两位研究者把癌细胞反复出现的一组本事，归纳成一张著名的清单
311	第 26 章	…后来又有人系统地写了「癌里的克隆演化」
312	第 26 章	…全正常的皮肤和食管取样测序，发现其中不少小片的细胞团，带着在肿瘤里常见的那类突变
313	第 26 章	…在二十世纪七十年代，就有研究者指出，这种安排，使得多数新突变根本没有机会留下后代
314	第 26 章	…而在肿瘤里，常常是一两个祖先细胞的后代，占去了绝大部分
315	第 26 章	…它的细胞，没有随那条狗死去，而是通过传播，活到了今天
316	第 26 章	…后来又发现，这样的传染性肿瘤，在袋獾里至少出现过两次，彼此独立
317	第 26 章	…还有研究报告，几种海里的双壳类，也有在个体之间传播的癌细胞谱系
318	第 26 章	…分裂下去，没有停，成了人类第一批能无限传代的细胞系，以她名字的缩写，叫 HeLa
319	第 26 章	…取样的时候，她和家人并不知情，这件事后来引起了关于知情同意的长久讨论
320	第 26 章	…它们的基因组，据研究报告，和当初那位女士的已经相去很远，染色体数目也乱了
321	第 26 章	…查德·皮托（Richard Peto），他在二十世纪七十年代末前后点出了这件怪事
322	第 26 章	…对此，一个被报道的发现是，大象的基因组里，有多份拷贝的一个叫 TP53 的基因
323	第 26 章	…不少癌的起因里有运气的成分

序	章	待核的内容（句中片段）
324	第 27 章	…中叶，英国有了最早的犬展，据说 1859 年在纽卡斯尔办过一次，参展的主要是猎犬
325	第 27 章	…第二年又出了第一本公开的血统簿
326	第 27 章	...z）早在二十世纪四十年代就指出过，这类「娃娃脸」的特征，会天然地唤起人的照顾冲动
327	第 27 章	…鼻犬（如英国斗牛犬、法国斗牛犬、巴哥犬）中，相当一部分有所谓的「短头呼吸综合征」
328	第 27 章	…近年来，这类脸扁的品种在一些地方越来越受欢迎，这使得问题更受关注
329	第 27 章	…不少个体到了老年都会受影响，具体的比例因研究和年龄段而异
330	第 27 章	…一部分个体，还存在脊髓空洞症等神经系统的问题
331	第 27 章	…这些，被认为与品种的遗传多样性低、近交系数高有关
332	第 27 章	…研究者用血统簿算过不少品种，发现有些品种的有效群体，小得出人意料
333	第 27 章	…者对纯种狗的血统做过大规模的分析，结论大致是，许多品种的近交程度，比人们想象的高
334	第 27 章	…这批狗，在几十年后，才被主要的养犬组织承认
335	第 27 章	…项目，往往把健康、性情、完成训练的比例，都记进了选种的账里，用数据挑下一代的父母
336	第 27 章	…随后几年有独立调查和标准的修订
337	第 27 章	…有的国家，也开始对极短的鼻子设限
338	第 27 章	…两条线的狗，外形可以差得很远，行为和体能也不一样
339	第 28 章	…第四轮的时候，那个酶在高温下的活性，比起点高了几十倍

序	章	待核的内容（句中片段）
340	第 28 章	…是给酶的基因制造随机变异，再按照要的功能去筛，留下表现好的，再变，再筛，这样循环
341	第 28 章	…个例子，是让一种蛋白酶在有机溶剂里也能工作，经过几轮循环，它的活性比起点高出很多
342	第 28 章	…2018 年，三人共同获奖，阿诺德得了其中的一半
343	第 28 章	…「一段蛋白」和「编码它的基因」就装在同一个小颗粒里，筛出蛋白，同时也就捞到了基因
344	第 28 章	...Winter）后来把这条路用到抗体上，由此做出的药，其中有的已经走进了病人的日常
345	第 28 章	…了「基因洗牌」：把几个表现不错的版本的基因切碎，再随机拼回去，让好的片段重新组合
346	第 28 章	…粉里干活的酶、能催化自然界没有的反应的酶，以及后来大量的抗体药物，都和这条路有关
347	第 28 章	…环境里干活，天然的蛋白酶多半扛不住，要靠一轮一轮地筛，才筛出耐得住这些条件的版本
348	第 28 章	…，后来研究者用定向进化的办法，改造出一种能干这一步的酶，让整条路线更省料、更干净
349	第 28 章	…一种天然的酶，学会催化一类自然界里并没有的化学键的形成，办法同样是随机变异加筛选
350	第 28 章	…有的容易出错的复制方法，对某几类碱基的替换更偏心，改出来的版本，在统计上是歪的
351	第 28 章	…960 年代，美国生物学家斯皮格尔曼（Sol Spiegelman）做过一个实验
352	第 28 章	…人们后来戏称它为「斯皮格尔曼的怪物」
353	第 28 章	…需要同时改好几个互相配合的位置、单改任何一个都没用的路，它也不容易走
354	第 29 章	…一个结构，常常要花几个月甚至几年
355	第 29 章	…「给序列，算形状」，被称作蛋白折叠问题，已经有大约半个世纪的历史

序	章	待核的内容（句中片段）
356	第 29 章	...Anfinsen）等人的实验表明，一条链的氨基酸顺序，就已经足够决定它折成什么形
357	第 29 章	...Levinthal）在六十年代末就指出过，真让它一种一种地试，宇宙的年龄也不够
358	第 29 章	…叫 CASP：主办方先拿到刚测出来、还没公开的结构，让各个团队去预测，最后对答案
359	第 29 章	…三届，DeepMind 的第一版 AlphaFold 已经拿了第一名，引起了注意
360	第 29 章	…2020 年的第十四届，第二版取得了接近实验精度的成绩，让整个领域的人大吃一惊
361	第 29 章	...mper）、戴密斯·哈萨比斯（Demis Hassabis）等人发表了方法和结果
362	第 29 章	…数据库最初收了几十万条，到 2022 年扩充到两亿多条
363	第 29 章	…把预测结构和低分辨率的实验图像拼在一起，帮助解出了一些过去很难看清的大型分子机器
364	第 29 章	…的实验室，用晶体、用冷冻电镜，一个一个地把蛋白的结构测出来，存进一个公共的结构库
365	第 29 章	…难测的，比如嵌在细胞膜里的、天生没有固定形状的，相对少
366	第 29 章	…它给出的是一张静态的照片，而蛋白在细胞里是会动的
367	第 29 章	…测一个蛋白「平常」的形状，对一个小小的突变会把形状和功能改成什么样，把握就差得多
368	第 29 章	…测的范围扩展到了蛋白和核酸、小分子的复合体，不过准确度和稳定性，各类情形并不一样
369	第 29 章	...AlphaFold 的后续版本，在预测复合体方面有了进展
370	第 29 章	…整体上仍然比第一层难得多：动态的变化、不同条件下的差别，仍是研究者仍在攻克的问题
371	第 29 章	…那些让它透明、能聚光的蛋白，在身体别处原本是做代谢工作的酶，后来在眼睛里被征用了

序	章	待核的内容（句中片段）
372	第 30 章	…David Baker）实验室，在《科学》杂志上发表了一个名叫 Top7 的蛋白
373	第 30 章	…他们又用实验验证：造出来的蛋白，真的折成了设计的样子，精度达到原子的水平
374	第 30 章	…Top7 背后有一套软件，叫 Rosetta
375	第 30 章	…2008 年前后，同一个领域的团队尝试用计算从头设计能催化反应的酶
376	第 30 章	…后来，有研究者把这些设计出来的酶，再放进定向进化里一轮轮筛，活性才升上去
377	第 30 章	…有的方法，反过来利用结构预测网络，让它「想象」出一个能折叠的序列
378	第 30 章	…有的方法，在给定骨架后，由神经网络来排序列
379	第 30 章	…近几年出现的、基于扩散模型的方法，可以按照要求生成大量全新的蛋白骨架，再配上序列
380	第 30 章	…另一半由哈萨比斯和江珀分享，以表彰蛋白结构预测
381	第 30 章	…有研究者提醒过，设计流程里评分很高的候选，真做出来，很多是不成的
382	第 30 章	…心理学里有一个说法，叫自动化偏见：人倾向于相信机器给的建议，尤其是在忙的时候
383	第 30 章	…有些通过计算设计的蛋白，已经走到了疫苗等应用的阶段
384	第 30 章	…具体一点：2022 年，一种以计算设计的蛋白纳米颗粒为基础的新冠疫苗，在韩国获批
385	第 30 章	…有的在后期因为各种原因被放弃
386	第 30 章	…3 月，蛋白设计领域的一批研究者，发表了一份公开的声明，承诺负责任地使用这项技术
387	第 30 章	…这个领域的另一个好传统，也要记上：许多设计工具和方法，是公开的，供同行复现和检验

序	章	待核的内容（句中片段）
388	第 31 章	…同一刻，旁边的烂泥因为巧合，聚成了一个和他一模一样的东西，走出沼泽，过起他的日子
389	第 31 章	…2022 年，有研究者在一篇评论里指出了一个令人不安的事实
390	第 31 章	…一批科学家联合发表文章，警告一类叫「镜像生命」的设想所带来的风险
391	第 31 章	…1974 年，一批研究者联名呼吁，在评估清楚风险之前，暂停某几类实验
392	第 31 章	…他们在美国加州的阿西洛马（Asilomar）开了一次会，讨论怎样安全地继续往前走
393	第 31 章	…会上定下的原则，后来成了许多国家制定相关规则的基础
394	第 31 章	…生物安全领域，早就有一套相当成熟的做法
395	第 31 章	…这是前面几十年里，生物安全领域已经摸索出来的一条路
396	第 31 章	…新的菌，要写进论文，常常要先送到专门的保藏机构，领一个保藏编号，别人才能按号去要
397	第 32 章	…奥德林—史密、拉兰德和费尔德曼在 2003 年把这条思路系统地写成了书
398	第 32 章	…**博伊德和里彻森在 1985 年的书里，把文化放进了演化的账里
399	第 32 章	…但在一些有长期畜牧、饮奶传统的人群里，这种酶在成年后仍继续产生的情形，比较常见
400	第 32 章	…而基因变多了，又让饮奶的习惯更容易延续
401	第 32 章	…种基因的流行程度并不是一一对应的，选择可能是时紧时松、与饥荒或疾病之类的压力有关
402	第 32 章	…，而一种平时有代价的血红蛋白变异，在这种环境里反而有了保护的作用，于是变得更常见
403	第 32 章	…当的篇幅讲养鸽人、育种者怎样把品种一代代拉向自己想要的方向，并且以此类比自然选择

序	章	待核的内容（句中片段）
404	第 32 章	…会科学里常被转述的话，大意是：一个指标一旦被拿来当作目标，它就不再是一个好指标了
405	第 32 章	…一个常被讨论的说法叫「人类的自我驯化」
406	第 32 章	…反对的人认为，证据还不充分，因果也不清楚
407	第 32 章	…究者担心，如果这个回路里自己产出的东西越来越多，原来来自自然的那一部分，会被稀释
408	第 33 章	…如今，几十美元或几百元，就能拿到一份相当可靠的位点读数
409	第 33 章	…对一些家族里有明确遗传病史的人来说，检测可以是一个及时的信号
410	第 33 章	…差在「跳」：身高牵涉很多个位点，每个位点出一点力，哪个孩子拿到哪几份，事先说不准
411	第 33 章	…常见的做法，是事先挑好几十万个位点，只读这几个地方，像拿着一张点名册，逐个核对
412	第 33 章	…研究者自己也在讨论这件事
413	第 33 章	…另有一点：有的报告会在说明里写，某些结果需要用别的方法再确认一遍
414	第 33 章	…有些性状，一两个位点就说得出相当一部分的字
415	第 33 章	…它说的是一大群人的统计，而且是拿某一批参考人群算出来的，换一个人群，准头会变
416	第 33 章	…一个位点五年前被认为和某个性状有关，后来更大的研究可能发现关联很弱
417	第 33 章	…祖先成分那张饼图，是把你的位点，和一组「参考人群」做比较得出来的
418	第 33 章	…不少地方的族谱，主要沿父系往下记，女儿的去向写得简，有的只记一笔
419	第 34 章	…据报道，经过这几道关，每复制一个字母出错的概率，可以降到十亿分之一甚至更低的量级

序	章	待核的内容（句中片段）
420	第 34 章	…另有一套机器，沿着新旧两条链扫过去，把配不上的地方挑出来修好
421	第 34 章	…理论上，这个界限和基因组的长度挂钩：基因组越长，每个字母就得守得越严
422	第 34 章	…据说，一些靠 RNA 复制的病毒，出错率比细胞高得多，基因组也短得多
423	第 34 章	…多一道检查，细胞就多一份开销，复制也慢一点
424	第 34 章	…而不为零的出错率，是一次权衡的结果：守的本钱，对比出错的损失，在中间找到的一个点
425	第 34 章	…植物据说会减少对这类根瘤的供氧，让它们长得差
426	第 34 章	…生物学里讨论过几种撑法，名字各家叫法不同
427	第 34 章	…据报告，某朵花里的卵太多时，丝兰会让这朵花脱落
428	第 34 章	…植物根上的菌根真菌给植物送养分，据报告，植物会把更多的糖给送得多的那一头
429	第 34 章	…还有一种讲法是，感官本来就对某些刺激特别敏感，样子是顺着这份敏感长出来的
430	第 34 章	…三种讲法各有各的证据，学界没有一个通吃的答案
431	第 34 章	…园丁鸟的雄鸟会搭一座小亭子，摆上蓝色的小物件，雌鸟逛过几座，挑中其中一座
432	第 34 章	…常用的两类菌，会互相帮忙：一类给另一类生长要用的养分，另一类给它造出更合适的酸度
433	第 35 章	…演化生物学里「可演化性」这个词，说的就是这份余地
434	第 35 章	…保护生物学评估一个物种的处境，常看种群数量、分布范围，以及这些数字的变化趋势
435	第 35 章	…数几个品种，靠芽和吸芽一棵一棵地繁殖，不经过种子，一个品种内部几乎是同一个基因型

序	章	待核的内容（句中片段）
436	第 35 章	…主栽品种因为一种土传的枯萎病退出了主栽，今天的主栽品种也面临另一种相近病害的威胁
437	第 35 章	…是：生命是一种特殊的稳定性，不是某一个分子的稳定，而是一个会复制的整体过程的稳定
438	第 36 章	…齐，产量高，不过，把这一代的种子留下来再种，下一代的性状常会分开，高的高，矮的矮
439	第 36 章	…据说有的种子库设在极冷的地方，作为备份
440	第 36 章	…有些外形，在一些品种里，据兽医学界的讨论，与健康问题相关
441	第 36 章	…封闭的小谱系里，个体越传越像近亲，原本罕见的毛病，更容易在后代身上两头相遇
442	第 36 章	…近些年，不少协会也把健康筛查写进了登记的要求
443	第 36 章	…领域都碰到的老问题：一个指标一旦被当成了目标，大家就会去迎合它，它也就不那么准了
444	第 37 章	…们用莱茵衣藻，一种单细胞的绿藻，在有捕食者的压力下，让它们从头演化出多细胞的团体
445	第 37 章	...at）和雷尼（Rainey）报告的、用「生态脚手架」让集体层出现可遗传变异的实验
446	第 37 章	…多细胞生物在演化史上不止出现过一次，动物、植物、褐藻、一些真菌，各走各的路
447	第 37 章	…2012 年前后，雪花酵母的实验用沉降速度做选择：团块大的先沉底，被留下来继续养
448	第 37 章	…据报告，所用的捕食者是一种纤毛虫，经过几百代，一部分衣藻出现了稳定的细胞团性状
449	第 37 章	…它一代的时间很短，一个月能养好几十代
450	第 37 章	…它的团块，据报告是细胞分裂后留在一起形成的，不是从四处聚来的
451	第 37 章	…架子撑得久了，集体层自己有了稳定的性状，架子才可以撤

序	章	待核的内容（句中片段）
452	第 37 章	…不过，那一篇究竟以理论论述为主，还是带有实验数据，需要对原文核实
453	第 37 章	…的办法，写成一份文件，在拿到任何数据之前，交到一个公开的、改了就有记录的地方存档
454	第 37 章	…这一做法在临床试验里行之有年，近些年在其他学科里也普及开来
455	第 37 章	…**这是一种酵母，细胞分裂之后不完全分开，留在一起，长成分枝状的细胞团，像雪花
456	第 37 章	…食物不足时，成千上万个细胞聚在一起，形成一个有柄的、类似小蘑菇的结构
457	第 37 章	…这种团体里，据报告，常有只占便宜、不出力的「作弊者」
458	第 37 章	…据报告，雪花酵母的子细胞在分裂后不能分开，仍连在母细胞上，一代代长成分枝状的团
459	第 37 章	…定程度，细胞相互排挤产生的力会让分枝断裂，断下来的小块带着几个细胞，另起一个新团
460	第 37 章	…食物耗尽时，细胞会发出一种信号分子，周围的细胞顺着信号往中心爬，聚成一团
461	第 37 章	…据报告，约有五分之一的细胞成为柄，死去，其余成为孢子，传下去
462	第 37 章	…这样的作弊者，在实验室里已经分离出来过
463	第 37 章	…据报告，它们表面有一对负责识别同类的蛋白，让聚集体倾向于由相近的品系组成
464	第 37 章	…野外的聚集体里究竟混了多少不同的品系，需要查材料确认
465	第 37 章	…这里再补一句对手一侧的写法：按米卓德的框架推下去，没有生殖分工，就没有脱钩
466	第 37 章	…按奥卡沙的框架推下去，集体层的响应，随记账一致性连续变化
467	第 37 章	…以往同类的实验演化，常以几十代到几百代为单位

判 词

生命不是哪一头的作品：基因、生态位、有机体各看对了一头，却都把「谁是那个个体」当成了起点。个体是一道「记功口」一代代记账而显出来的账户：选择决定后代有多少，记功口决定这些后代算谁的。

达尔文过程不是两件事，而是三件：变异、选择、记功。序列、表达轨迹、种群频率，只是它一路留下的痕迹。

从衰老、驯化、癌，到 AlphaFold 与定向进化，用一个母题读生物学，并预先写下怎样才算它错了。

生命是谁的作品？——被记在谁名下，谁就是那个「个体」。

德麦国际出版社 · Demai International Press
德麦国际专著第 385 号
定价 US$20.00

ISBN 979-8-90690-922-0
9 798906 909220