



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

生命科学导论 第3版

INTRODUCTION TO LIFE SCIENCE

主编 高崇明



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

013025700



普通高等教育

Q1-0

49-3

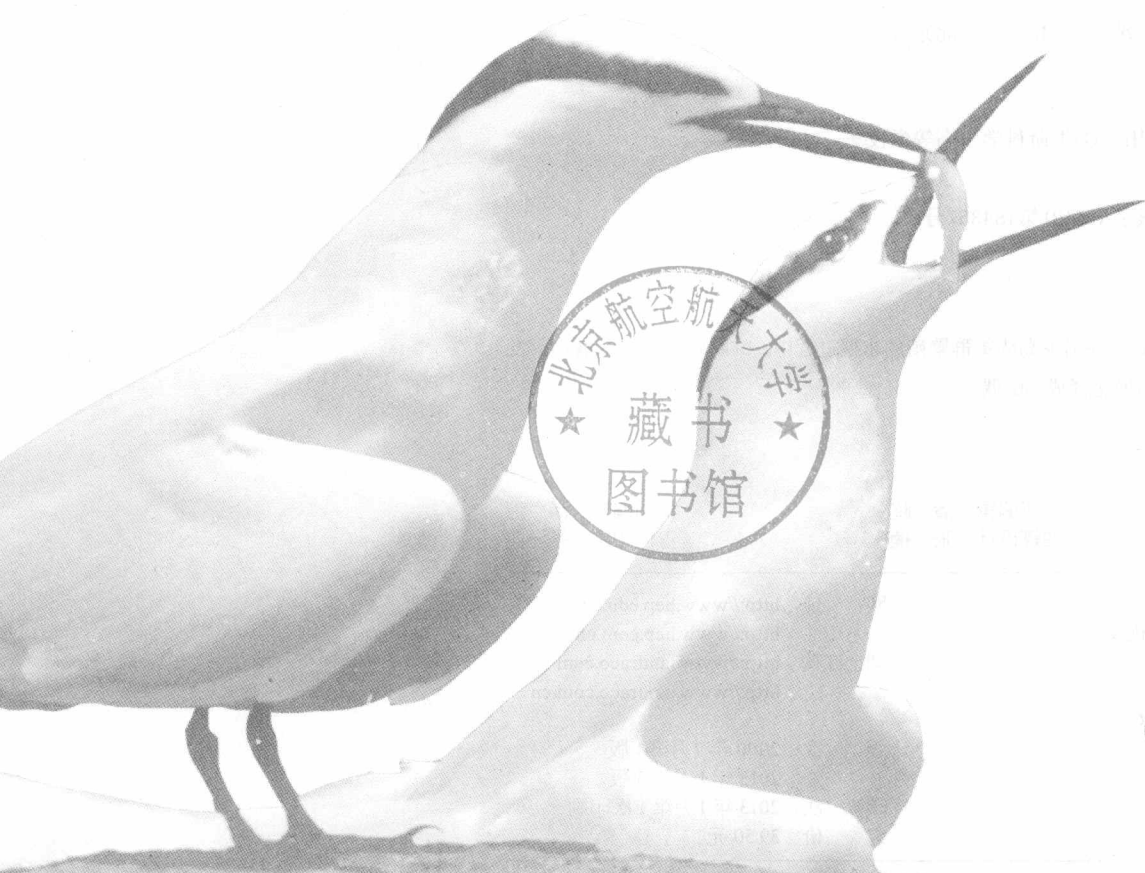
生命科学导论

Shengmingkexue Daolun

第3版

主编 高崇明

编者 高崇明 佟向军 陈丹英 丁明孝



Q1-0
49-3



北航

C1633740



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

《生命科学导论》自出版以来,深受读者关爱。2008 年被教育部评为“普通高等教育精品教材”。

本书在整体编写上力求更富有哲理。科学需要哲学,哲学分析可以帮助人们理清科学研究思路,阐明应该采用的研究手段。为此,在引言中专门撰写了对 9 个哲学问题的思考。

第 3 版力求叙述更加简练、条理更清晰,同时保证其先进性和可读性,以进一步激发学生的求知欲和善于思考、提出问题的能力。在维持全书框架基本稳定的基础上,将基因组内容扩散到各部分,增加了“突变和 DNA 多态性”一章;将“脑科学和认知科学”与“动物行为遗传”合并为一节“脑、基因和行为”,删去了其中陈旧的知识内容,增加了新的研究成果。对书中大部分内容进行了更新或改写,使之逻辑性更强,条理更加清晰,内容更加新颖。在修订过程中,不但参考了最新的国外教材,部分素材还取自国内外科研工作的最新研究成果。

对于具体内容,主要在基本概念、原理的准确性、清晰性下工夫;对一些经典实验,力图还原原始论文的叙述,避免后人的夹叙夹议。对“窗口”小文章进行了改写或更新,增加了某些活跃研究领域的前沿问题,如生物网络、基因工程机器、植物干细胞等。书后新增“生物学史中的重要事件”编年史,使学生对生命科学有一整体观,对于教师教学也会有所裨益。

为了提高学生思考问题和提出问题的能力,第 3 版撰写了 232 个概念延伸问题,这些问题来自作者多年教学的积累。在与书配套的数字课程中提供了这些问题的参考答案。

图书在版编目(CIP)数据

生命科学导论 / 高崇明主编. -- 3 版. -- 北京 :
高等教育出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-04-035160-6

I. ①生… II. ①高… III. ①生命科学—高等学校—
教材 IV. ①Q1-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 184357 号

封面图片说明

黑枕燕鸥 (*Sterna sumatrana*), 在沿海岛屿集群繁殖的求偶过程中, 雄鸥向雌鸥展示猎物, 表现自己的觅食抚育能力, 争取被雌鸥选择成为配偶。

策划编辑 王 莉
封面摄影 陈小麟

责任编辑 潘 超
书籍设计 张 楠

特约编辑 潘 芳
责任印制 张泽业

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京四季青双青印刷厂
开 本 889mm×1194mm 1/16
印 张 21.5
字 数 650 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2000 年 7 月第 1 版
2013 年 1 月第 3 版
印 次 2013 年 1 月第 1 次印刷
定 价 39.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 35160-00

数字课程(基础版)

生命科学导论

(第3版)

登录以获取更多学习资源!

登录方法:

1. 访问 <http://res.hep.com.cn/35160>
2. 输入数字课程账号(见封底明码)、密码
3. 点击“LOGIN”、“进入4A”
4. 进入学习中心,选择课程

账号自登录之日起一年内有效,过期作废。
使用本账号如有任何问题,
请发邮件至: lifescience@pub.hep.cn

生命科学导论(第3版)

高崇明 主编

内容简介 | 纸质教材 | 版权信息 | 联系方式

4A

学习中心

欢迎登录

账号

密码

LOGIN

■ 内容简介

这是一个开放式的网络教学平台,其内容主要包括以下两个部分:

1. 各章的教学要点。在数字课程网站上,对各章的学习要点进行了阐述,便于教师和学生参考学习。
2. “概念延伸”问题的参考答案。纸质图书页边的“概念延伸”问题源自作者多年教学过程的积累,有232个。这些问题或是由学生和其他读者提出的,或是由诸位学者提出的。有的问题乍看简单,回答起来却不甚容易;而有的问题的答案是近几年才被科学家揭示的,回答起来会有一些难度。鉴于此,作者就试着写出参考答案放在本数字课程网站上,供大家学习参考。相信通过对这些问题的思考和解读,不仅能够拓宽您的视野,更会让您对生命科学相关知识点的理解更为深入、更加透彻。

高等教育出版社版权所有 2012

<http://res.hep.com.cn/35160>

第3版前言

《生命科学导论》第2版自2007年出版以来,深受读者关爱,2008年被教育部评为“普通高等教育精品教材”。随着生物科学的迅速发展,该教材很有必要进行重新修订。

根据近几年我们使用该教材的教学实践,以及广泛听取学生和其他读者反馈意见的基础上,对第2版的结构和内容不足之处,进行了认真反思。在第3版中,我们着重做了如下改动:在保持原书的框架基本稳定的基础上,对某些章节做了增减,比如删去“基因突变和基因组”一章,增加“突变和DNA多态性”一章,将其中“人类基因组计划”和“DNA操作技术”二节删除,增加“发育突变体”和“DNA多态性”二节,删去“遗传的基本规律”一章中“基因的直线排列”和“孟德尔遗传的扩展”二节,将其内容揉入其他部分……重要的是,我们对第2版中许多具体内容进行重写或大量修改,尽量反映最新研究成果,淘汰较为陈旧知识,力图使本书的内容与时俱进,更翔实,具有较好的可读性和哲理。当然,本书也有始终不变之处,那就是保持原书基本风格:在讲清楚正确的基本概念、基本原理基础上,引导学生注重生命科学与数理化、人文、社会学科之间的交叉。

为了扩大学生的知识面和引导学生对所学内容进行主动的、深入的思考,在修订中我们还编写了232道“概念延伸”问题。这些问题有的是多年来由学生和其他读者提出的,有的是我们在课堂上向学生提出的思考题,还有一些是来自近年的科研文献。这些问题,有的乍看起来似乎很简单,但回答起来却不甚容易;有些问题的答案是近几年才被揭示。考虑到让学生和其他读者自己来回答这些问题有一定难度,我试着写出参考答案,将其与各章的“教学要点”一并放在与书配套的数字课程网站上(<http://res.hep.com.cn/35160>),供大家参阅。由于本人学识谫陋,所阅读的科研文献有限,因此某些答案难免有不妥、甚至错误之处,敬请读者不吝赐教。其中有些答案,因各位学者学术观点差异,所掌握资料不同,可能会有不同见解,这都十分正常,望多包容。

在修订过程中,除书后所列主要参考书目外,还参考了大量科研文献,由于篇幅有限,我们只列出部分参考文献的目录,在此特做声明,并向未列出的文献作者们致歉。

值本书再版之时,我们仍然不应该忘记曾参与搭建本教材框架的同事们,他们就是编写《生命科学导论》第1版的其他教授:田清涑、程红、尚玉昌、樊启昶、张昀。虽然,张昀教授已辞世多年,但我们仍然十分怀念他。在本书第3版中,我们继续引用了他的经典之作《生物进化》一书中不少内容。已故的严守毅教授为本书撰写的窗口《生物力学和细胞力学》,今天看来仍不失它的光彩,为此我们依然将它收录书中。历届的助教们为本教材修改和窗口文章编写也做了大量的工作,在此特向他们表示感谢。

在第3版修订过程中,策划王莉女士从书的框架结构到图文的修改都做了大量工作;责任编辑潘超女士在编辑加工中做了大量细致、卓有成效的工作;在此一并向她们辛勤劳动表示深深的谢意。

高崇明

2012年3月于北京大学

目 录

1 引言：学科交叉推动科技创新 / 001

1.1 大量未解之谜等待解析 / 001

1.2 学科交叉出人才、出成果 / 002

1.3 对若干哲学问题的思考 / 004

第1篇

从分子到细胞

2 生命的化学基础 / 011

2.1 构成生命的元素 / 011

2.2 糖类 / 014

2.3 脂质 / 019

2.4 蛋白质 / 023

2.5 酶 / 026

2.6 核酸 / 029

窗口 DNA与结理论 / 033

3 生命活动的基本单位——细胞 / 038

3.1 生物多样性的统一 / 038

3.2 细胞质膜和胞间联系 / 040

3.3 物质跨膜运输 / 045

3.4 细胞器 / 051

3.5 细胞骨架 / 061

3.6 细胞核 / 067

窗口 生物传感器 / 070

4 能量捕获和转换 / 075

4.1 代谢中能量的转移 / 075

4.2 光合作用 / 077

4.3 细胞呼吸 / 081

5 细胞信号转导 / 089

5.1 化学信号转导类型和特征 / 089

5.2 细胞表面受体介导的信号转导 / 090

5.3 细胞内受体介导的信号转导 / 094

窗口 生物网络 / 095

6 细胞周期及其调控 / 099

6.1 真核细胞周期 / 099

6.2 有丝分裂 / 100

6.3 细胞周期控制系统 / 104

第2篇

生命的延续

7 遗传的基本规律 / 113

7.1 减数分裂和配子发生 / 113

7.2 孟德尔遗传原理 / 117

7.3 孟德尔遗传模式修饰 / 122

7.4 遗传的染色体学说 / 125

8 人类染色体遗传 / 133

8.1 染色体及其基因组 / 133

8.2 性和性的决定 / 135

8.3 人类孟德尔式遗传 / 140

8.4 人类染色体畸变 / 144

9 遗传的分子基础 / 149

9.1 DNA是遗传物质的证据 / 149

9.2 DNA的复制 / 151

9.3 从基因到蛋白质 / 156

9.4 基因表达的调控 / 166

10 突变和DNA多态性 / 174

10.1 DNA突变 / 174

10.2	发育突变体 / 177
10.3	DNA 多态性 / 182
10.4	癌的遗传基础 / 186
窗口	基因工程机器 / 190

11 发育的遗传基础 / 193

11.1	动物发育的基本模式 / 193
11.2	形态建成基因调节 / 196
11.3	细胞分化 / 202
窗口	植物干细胞 / 208

11.4 脑、基因和行为 / 215

窗口	艾伦人脑图谱 / 222
----	--------------

第3篇

生物进化

12 地球生命起源的探索 / 227

12.1	盖雅假说 / 227
12.2	前生命的化学进化 / 227
12.3	地球生命史研究中的困惑 / 230

13 主要的进化学说 / 232

13.1	拉马克进化学说 / 232
13.2	达尔文自然选择学说 / 233
13.3	现代综合进化论 / 234
13.4	中性选择学说 / 238
13.5	进化是循序渐进还是偶发事件 / 241

14 微生物生命的进化 / 245

14.1	非细胞形态生命体——病毒 / 245
14.2	原核生物 / 249
14.3	原生生物 / 252

15 真菌和植物的进化 / 253

15.1	真菌的种类和特点 / 253
15.2	不能离开水的植物 / 255
15.3	过渡性的陆生植物 / 257
15.4	真正的陆生植物 / 258

16 动物的进化 / 262

16.1	原生动物亚界 / 262
16.2	两胚层辐射对称动物 / 265
16.3	三胚层两侧对称动物 / 266
16.4	具有假体腔的动物 / 268
16.5	具有体节的真体腔动物 / 269
16.6	无脊椎动物发展最高峰——节肢动物 / 270
16.7	动物界最高等的一个门 / 272
窗口	生物力学和细胞力学 / 278

17 人类的进化 / 281

17.1	人与类人猿有共同的祖先 / 281
17.2	人类起源于亚洲还是非洲 / 283
17.3	现代人种群的祖先和迁徙 / 286

18 种群生态学 / 293

18.1 种群的动态变化 / 293

18.2 种群增长 / 295

18.3 调节种群增长的因子 / 297

19 群落生态学 / 300

19.1 群落中物种相互作用 / 300

19.2 对群落结构控制 / 304

19.3 干扰对物种多样性和群落的影响 / 307

20 生态系统生态学 / 309

20.1 生态系统组成 / 309

20.2 能量和营养动力学 / 310

20.3 生物地化循环动力学 / 314

生物学史中重要事件 / 318

主要参考书目 / 321

索引 / 322

1 引言：学科交叉推动科技创新

1.1 大量未解之谜等待解析

为什么有那么多人对生命科学感兴趣？其中一个重要原因是：在生命科学中存在着大量未解之谜正等待着人们去解开。虽然，解答这些问题的困难程度可能是巨大的，但是正如美国麻省理工学院前院长查尔斯·维斯特所言：没有解答的问题，往往最具有价值，并且它的价值是随着人类探索奥秘热情的高涨而增加。比如：

- 人类是如何学习和记忆的？记忆是如何存储和提取的？脑中记忆的信息是否有限？
- 人是如何思考的？意识是如何产生的？有哪些基因帮助人类形成独特的大脑？
- 人为什么要睡觉？为什么会做梦？人睡眠时为什么各脑区仍在活跃地传递信息？人睡眠时所消耗的能量是在有意识下对外界某一刺激作出回应耗能的20倍，在大脑中真的存在未知的脑暗能量（brain's dark energy）吗？
- 道德是不是大脑的固有功能？人的个性有多少是遗传的？人的性行为取向的生物学基础是什么？
- 为什么人类只有如此少的基因？遗传变异与个体健康的联系有多大？人的器官可以再生吗？它是由什么控制的？人的寿命能延长多少？
- 能否有选择地关闭人的某些免疫反应？能否通过免疫系统调控癌症？为什么孕妇不会排斥胎儿？
- 地球上的生命是何时何地产生的？太阳系外的星球上是否也存在着生命或人类？
- 生物是如何进化的？生物是遵循从低级到高级、从简单到复杂顺序渐进的进化历程吗？
- 人类的祖先是什么？他们来自何方？人类文化的根源是什么？
- 什么决定了物种的多样性？什么因素导致地球上曾经发生过的物种大规模灭绝？我们能阻止物种灭绝吗？

.....

今天，进入基因时代的生命科学，各学科的研究已在分子和细胞水平出现了相互交叉，而生命科学与其他自然科学及人文社会科学之间也出现了活跃的交叉研究。这些交叉都将有力地推动对生命科学难题的探索。

1.2 学科交叉出人才、出成果

一个多世纪以来，数学家、物理学家和化学家在推动生命科学发展过程中都做出了重要的贡献。

孟德尔是公认的现代遗传学创立者，然而他并不是生物学家，而是一位数学教师，后来又教过物理学。在他之前，很多人都曾做过植物杂交实验，但是都没能总结出遗传规律。孟德尔在修道院种豌豆，做杂交实验，由于他应用了前人没有用过的数理统计方法处理数据，最终总结出了经典的遗传学规律，将现代遗传学以正确姿态树立起来。当数学家把取样、方差分析及相关的统计学概念引入群体遗传学后，遗传学家就有可能把真实遗传的变异与由环境改变而引起的个体差异和取样造成的误差区别开来。而且在分子生物学建立和发展过程中，比如DNA双螺旋结构模型建立、蛋白质空间结构分析、基因组测序等，精确的现代数学方法更是发挥了不可估量的作用。一门成熟的科学应该是数学化的科学。今天，已建立的某些数学模型，虽然对生命现象只能给出十分有限或局部描述，但是不断创新的数学模式将给人们带来对生命现象的全新认识和分析方法。

在物理学界，以玻尔、德尔布吕克和薛定谔为代表的一批物理学家，对分子生物学的建立和发展同样做出了不可磨灭的贡献。1932年玻尔在《生命和光》一文中指出，不能简单地把生物体还原到化学相互作用水平去理解。他认为，对生命的研究必须采用全新的概念和研究方法。玻尔的学生德尔布吕克则进一步指出，从热力学角度看基因是高度稳定的，在细胞中它仅以1~2个副本形式存在，并以一种特殊方式抵抗对它的降解；细胞中生物分子都是在相当接近的空间内参加反应，但它们却均能保持着各自的独立性，因此他认为经典物理学和化学方法不能解释基因如何实现它的功能。1944年薛定谔在《生命是什么》一书中指出，当时生物学急需解决的问题是信息传递的问题，即生物信息是如何被编码的？信息从亲代向子代细胞传递过程中是如何保持稳定的？突变是如何发生的？他还指出，基因是由无数较小、构成相似的单位组成，而这些单位的确切特性和连续性决定着遗传密码。正是在以薛定谔为代表的信息流派思想启迪下，才有了DNA双螺旋结构模型诞生。今天，在理论生物学、生物信息学等交叉学科发展过程中，物理学家也正在发挥着不可替代的作用。

化学家对生命科学、尤其是对生物化学发展发挥了巨大的作用。比如早在20世纪50年代初期，化学家桑格（Frederick Sanger）就以牛胰岛素作为实验材料，用他发明的酶解技术和层析方法，测定出胰岛素的氨基酸种类和连接顺序，这是人类搞清楚的第一个蛋白质的一级结构。另一个典型的例子是，第一次找到基因与遗传病之间直接关系的人，既不是生物学家，也不是医学科学家，而是化学家鲍林（Linus Pauling）。1949年鲍林注意到在美国黑人中高发的镰状细胞贫血，该病是因患者在缺氧时红细胞变成镰状而得名。这是一种致命疾病，镰状细胞不但易被脾清除，造成患者贫血，而且也易结块堵塞毛细血管，至少可引发11种病

征。鲍林当时猜想,患者运载氧气的血红蛋白结构可能跟正常人不一样。后来,他与几位合作者使用电泳技术证实了情况确实如此。鲍林又根据自己对蛋白质结构的了解,推断患者血红蛋白异常可能是氨基酸差异所致。1957年,英格拉姆用实验证明,患者与正常人相比,仅是由于组成血红蛋白 β 链的第6位氨基酸由谷氨酸(Glu)变成了缬氨酸(Val),于是就造成了那么严重的后果。根据中心法则可知,该氨基酸的替换是由于正常人DNA在相应位置上的A-T碱基对变成了T-A,才造成了镰状细胞贫血发生。化学家对生命科学发展的贡献不胜枚举。

近二三十年来,几乎每年都有物理学家、化学家因在有关生命科学研究项目中做出了突出贡献而荣获诺贝尔奖。显然,“创新的基本动力之一来源于学科的交叉,综合交叉学科是最有前景、最具潜力的学科”。

同时,学科交叉研究也促进了越来越多新兴学科的诞生。比如:

- 系统生物学 系统生物学(systems biology)是研究一个生物系统(biological system)中的所有(或者尽可能多的)组成成分(基因、RNA、蛋白质等)的构成,在特定条件下这些组分间的相互作用关系,以及与其他系统组分之间的关系。并通过生物计算建立数学模型来定量描述和预测生物功能、表型和行为的科学。

- 生物信息学 生物信息学(bioinformatics)包含对生物信息的获取、处理、存储、分发、分析和解释等在内的所有方面,它综合运用数学、计算机科学和生物学的各种工具来阐明和理解大量数据所包含的生物学意义。有学者认为,上述“生物计算”与“生物信息学”在本质上无大区别,而生物计算更偏重于原理与方法,同时注重它们的实现和应用。

- 理论生物学 理论生物学(theoretical biology)是在定量实验的基础上使生物学向理论化方向发展的一门学科,因此也称定量生物学。其内容包括:①有关特定的过程或现象的理论,如生物分子进化、生物网络、功能与动力学研究;②特定的研究和开发规划,如有选择的变异、药物制造规划、电子机器模型;③有关方法的理论,如信号转导的系统性质和进化的定量化、系统化研究方法等。

- 生物医学工程学 生物医学工程学(biomedical engineering)是指结合物理学、化学、数学、计算机科学和工程学原理,从事生物学、医学、行为学或卫生学的研究;提出基本概念,产生从分子水平到器官水平的知识,开创新的生物学制品、材料、加工方法、植入物、器械和信息学方法,用于疾病预防、诊断和治疗,以及患者康复、改善卫生状况等目的。

- 人工生命 人工生命(artificial life)是致力于把隐藏在生命现象背后基本的、动态的原理抽象出来,并在其他的物理媒介如计算机上重现这一过程,使之可以进行全新类型的实验操作和检验,从而理解生命。人工生命不同于仿生学,仿生学重点是模拟生物的个别功能,如动物声呐、昆虫复眼等,人工生命则是模拟生命最基本、共有的特征,如遗传、变异、繁殖、学习及合作等。凡是大部分

或部分具有生命特征的人工系统都可称为人工生命。人工生命有两个基本研究目标：①生物学目标，探讨生物学中某些重大问题，如单细胞生物如何进化成多细胞生物？大脑是如何工作的？等等。②工程学目标，主要是用于改善机器人的能力，如机器人学习、进化、群显行为，以及制作人工肌肉、人工腿等。

1.3 对若干哲学问题的思考

科学需要哲学，但哲学不能代替科学研究。哲学分析可以帮助我们理清科学研究思路，辨明应该采用的研究手段。

- 生命是一种高度复杂的系统 其复杂性主要表现在：①有数量多得烦人的自由度（degrees of freedom）。自由度是对一个实验中独立变量个数的度量。②存在通过不同的生化途径可以取得同一效果的多重机制。③细胞行为在其生命不同阶段表现各不相同。因此，要从众多的科学研究数据中得出可信的结论就极具挑战性。

- 生命现象是一种统计学现象 在生物个体中出现的许多现象（如遗传性疾病）都是偶然的、随机的；但是，在群体中这种偶然性是以概率的形式表现出它的规律性。显然，对个别现象，概率是没有任何现实意义，概率反映出的是大量同类现象中的客观属性，即随机性。在某一人群中，一种遗传性疾病发病概率为60%时，绝不意味着人群中每一个成员均有六成机会罹患此病。但是偶然性又是始终受到内部隐藏的规律支配。只有在一定的内因（如致病基因等）和外因（如环境等）条件作用下，偶然性才有可能变成必然性——发病。如果条件变了，其属性也会随着发生变化。即使在另一人群中该病的发病概率接近零，但其后代也未必就不会罹患此病。因为概率仅仅是一个测度，如果发生了基因突变（内因）或有不良的生活习惯（外因）作用时，不管原先计算的概率怎样小，他们罹患该病的概率也有可能大幅度上升。在生命的统计学现象中，总是存在例外，不存在绝对、唯一的现象。

- 生命是一种耗散结构系统 为了维持有序性而耗散物质和能量的结构，称耗散结构。多细胞生物有序性主要体现在发育严格地受到基因编程控制，而且在时间和空间上具有高度稳定性。同时，体内处处可见的生物大分子结构及其代谢反应的高度有序性，也是一种典型的远离平衡的状态。然而，生物体不可能永远总是处于一种有序结构模式中，有序总是要自发地走向无序，向着熵增加的方向发展。为了维持生物体远离平衡的状态，它们就必须不断地与外界进行物质和能量的交换，有序性程度的变化与能量转换之间都存在大量非线性关系。但是生物体总是可以通过耗散的循环结构实现有序性自建。细胞或生物体有序性，如果受到不可修复的损坏，就意味着它们行将走向死亡、解体。据此，人们一再强调生命系统是一种开放系统。不过，笼统地说生命是开放系统并不妥当。因为，“生

命在物质和能量方面是开放的；在遗传信息层次、生存层次和认知层次上都具有封闭性；在感知外界信息方面，既不是绝对开放，也不是绝对封闭”。同时，由于人们看到生物体中也存在着能量守恒、转换，以及生化反应（代谢过程）具有方向性的现象，因此认为热力学第一、第二定律也完全适用于生命系统。其实不然，因为热力学研究的系统是无限接近于平衡状态的系统，而生命系统是远离平衡状态的系统。

● 科学是一个过程 科学是把握从过去到现在，以至未来变化的演化过程。研究生命的任何过程都要涉及时间。时间不仅是一把尺度，而且是有方向性的，是反映了研究对象的殊异。

生命是一种不可逆的、随机的过程。在自然界，每个生物个体都是漫长历史的产物，都是进化链条中的一员。个体的结构和系统复杂化是随时间变化所发生的不可逆过程。物种则是可随时间推移而发生进化改变的个体集合。位于生命科学研究高层次的生态系统，从不稳定状态演替成相对稳定状态，也是在一定时间尺度内，通过物种之间、物种与环境之间的相互作用而逐步达到。



个体中细胞的数量从出生到成年也是在不断地随时间而发生变化。以人脑为例，出生时（脑组织约 350 g），脑细胞约有 1.75×10^{11} 个，4 岁时（脑组织约 1 300 g）为 6.5×10^{11} 个；18 岁时（脑组织约 1 450 g）增长放缓，脑细胞约为 7.25×10^{11} 个；但随着人进入老年期，脑细胞大约要失去 7.5×10^{10} 个（脑组织减少约 150 g），丢失的细胞有的包含有价值的信息，有许多则包含错误信息。同时，在人体中，每一种细胞也都只能在一定时间范围内执行各自功能，如小肠黏膜细胞平均只存活 2 天，红细胞存活 120 天，肝细胞存活 18 个月等。

在个体发育中，基因表达更是严格地、稳定地受到时间和空间限制。其中核酸和蛋白质则随时间推移而不断进化。这些生物大分子进化速率的时标为 10^{-9} /（氨基酸·年），即生物体中每一个氨基酸平均要经过 10^9 年才能突变一次。在 DNA 中，虽然那些编码功能重要的大分子进化速率要明显低于编码功能不重要的大分子，但在其 DNA 中仍存在大量同义替换的碱基；内含子中碱基替换速率也只会比它更高。而假基因（有功能的真核生物基因，因突变或重排变成没有功能的基因）的进化速率却能高达 5×10^{-9} /（氨基酸·年）。

● 特殊性中蕴藏着普适性 考虑多个变量同时变化的研究，现在尚难进行。但是科学研究遵循个别—特殊—普遍的认识规律，以某一类分子、某一类细胞或某一代谢反应作为研究对象，在假设众多变量不变，仅 1~2 个变量变化时，应

- 1-1 什么是生命？
- 1-2 什么是生物？
- 1-3 为什么把生物体又叫做有机体？

用现代物理学和化学技术,反复进行实验,直至认为“弄清”它们的功能、反应机制、规律、趋势及其影响为止。虽然,这种研究方法明显地存在局限性,但是应该看到,在特殊性中蕴藏着普适性,在普适性中则包含着差别。

生命科学发展历史已证明,从个别、特殊的研究中得到的结论,往往都具有普适性:从酵母菌的榨出液可使葡萄糖发酵、肌肉浸出液可使葡萄糖酵解的研究中所揭示的糖酵解过程,已被证明是以葡萄糖为能源的无氧呼吸都要经历的共同过程。从对鸽子飞翔肌中各种二羧酸和三羧酸氧化代谢反应关系的研究中提出的柠檬酸循环,被证明是以葡萄糖为能源的有氧呼吸必经途径。以 *E. coli* (大肠杆菌) 的无细胞体系作为实验平台,最终确认并编纂出的密码表,基本上适用于病毒、细菌和真核生物,仅有少数密码子在某些生物中有所差异。以 *E. coli* 等为实验材料,经过长期研究提出的推论——在 RNA 聚合酶催化下,以 DNA 为模板合成 RNA,终于在 2001 年通过 X 线衍射技术,使人们看到了 0.28 nm 的 RNA 转录过程真实图像。通过对 *E. coli* 在乳糖发酵中酶的适应合成以及对其一系列突变型研究提出的乳糖操纵子模型,已被证明是原核生物基因表达调控的普遍机制等。

● 生命科学中的复杂性和简单性 面对生命科学研究中所遇到的多变量难题,现有的数学方法显得力不从心,然而物理学却开始在生物物理、理论生物学等领域初露锋芒。物理学强调模型和简化,即把一些复杂的体系简化成理想的模型,然后研究它,并以数学模式表示之,且认为现实世界的问题只是简单模型的复杂化。这是一种还原论思想:把复杂性看成只是简单性的叠加,复杂过程不过是简单过程的特例。在操作中,他们把复杂过程逐级分解或还原为相对简单、小的单元,然后再进行叠加或连接。这种思想明显的优点是具有可操作性,但突出的缺点是忽略了生物网络的互动性和非线性。然而,复杂性和简单性在本质上又都是相对的,只有在探讨它们相互关系时才有意义。

生物物理学家提出的“生命科学跟物理学一样简单”的观点,其根据是:①细胞可以看成只是生命建筑的模块。20 世纪 80 年代建立的倒逼法(bottom-up approach)也称微观法就是上述理念的实践。该方法是先用几个基本成分组成模型,在这些成分得到详细实验证明和理论分析后,再添加下一个组成成分,直至受控形式下产生出类似于细胞结构或活细胞的效应。②由于生物化学反应与细胞器、细胞骨架所提供的空间可以相互协调、强烈耦合,这就意味着生物的信号传输是受制于物理因素。③许多信号的传递途径只是蛋白质的扩散和聚集。④一组代谢反应受外界环境影响,而它自身却又是另一组代谢反应的环境;细胞通过细胞外基质(ECM)相互黏着,它既决定了环境也被环境所决定。⑤细胞的机械阻抗与反馈环构成相似,当我们使用物理学的弹簧模型探讨时,可加深对其机理的理解。等等。

● 生命系统中的因果关系 先有鸡还是先有蛋:谁是因,谁是果?这往往成了对生命科学研究的数据进行分析和判断的难题。生物大分子间相互作用、相互制约和相互转化,构成了生命系统的因果关系。哲学家将生命系统中的因果关系

归纳为3种类型：①线性因果关系，即每一原因都有一个结果，每一结果又是另一事件的原因，它们之间具有线性关系。这种因果关系在生物体中不多见。②环状因果关系，包括正反馈和负反馈，这显然是一种非线性关系，在生物体中比较常见。③网状因果关系，这种非线性关系在生物体中最常见。它是协同与颀颀相依，开放与封闭并存的多重因果作用的交织。由这种网状因果关系总结出的“规律”只能预言过程走向的大体趋势，这是由于该过程速度和方向要取决于系统内外条件；“规律”的进展取决于前续过程的结果；“规律”的实现伴随着生成和变化。

- 生命科学与社会需求 许多新的生命科学研究成果应用于人类生活时，往往具有两面性：既可造福人类，也可能给人类带来负面影响。于是就出现了某一生命科学研究的应用是否是社会需求的争论，如克隆人、转基因生物等。在社会需求和生命科学发展之间，应该是生命科学发展服从社会需求，并服务于社会需求；但是，社会需求最终是不能违背生命科学发展的内在规律，它只能利用或积极引导生命科学发展。

- 生命科学与政府管理 科学家所受到的训练是以科学研究或科学调查的事实为依据做出自己的判断。当他们向政策制定者提出有关公众健康、生态环境等方面建议时，由于政治家考虑的不仅是科学问题，还要考虑到与科学建议同样重要的发展问题、社会问题、种族问题等，因此，我们可以看到往往只有少数政府决策是明确地依据科学事实，更多的是部分接受这些建议，对极具争议的建议有时是予以拒绝。科学家只能期待政治家是科学的拥护者，而不能要求他们有同样的思维。况且，考虑到科学、工程学等方面的知识广博和发展，现在往往只在很少问题上可以让一个人做出比较全面、专业、深入的回答。