

生命科学名著

# 衰老生物学

Biology of Aging

[美] Roger B. McDonald 著

王钊 张果 主译



科学出版社



生命科学名著

Biology of Aging

# 衰老生物学

[美] Roger B. McDonald 著

王钊 张果 主译



科学出版社

北京

图字：01-2015-5617号

## 内 容 简 介

本书是第一本以生物衰老为主题的教材，是一本针对生物相关学科的学生所写的教科书，主要阐述了衰老和长寿的影响因素及进程。全书共10章，主要介绍三部分内容：第1、2章介绍衰老生物学在科研和临床应用中较为常见的基础概念。第3~6章介绍进化、细胞及遗传水平的衰老生物学发现，以及这些发现如何影响了我们对衰老的起因和过程的认知。第7~10章介绍前几章涉及的基础科学知识在人类衰老和长寿中的应用。书中内容叙述如故事一般引人入胜，又不失生物科学课本的准确性与科学性。图解通俗易懂，同时有详尽的注释加以补充。本书依照标准的生物学教材安排，每一章都提供了后面章节中需要理解的一些概念和法则，每一章文中都标粗了关键术语，文末还列有核心概念、讨论问题、补充阅读等，方便学习与查阅。

本书适合综合性大学及医、药、农、师范院校的相关专业本科生和研究生使用，也可供从事生命科学工作或对衰老生物学感兴趣的人员参考。

Biology of Aging, by Roger B. McDonald.

Copyright©2014 by Taylor & Francis Group LLC.

All Rights Reserved. Authorized translation from English language edition published by Garland Science, an imprint of Taylor & Francis Group LLC.

### 图书在版编目(CIP)数据

衰老生物学/ (美) M. B. 罗杰 (Roger B. McDonald) 著; 王钊, 张果主译. —北京: 科学出版社, 2016.9

(生命科学名著)

书名原文: Biology of Aging

ISBN 978-7-03-048451-2

I. ①衰… II. ①麦… ②王… III. ①衰老—人体生理学 IV. ①R 339.3

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第119687号

责任编辑: 罗 静 刘 晶/ 责任校对: 郑金红

责任印制: 肖 兴/ 封面设计: 刘新新

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016年9月第一版 开本: 787×1092 1/16

2016年9月第一次印刷 印张: 24

字数: 530 000

定价: 180.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 译者序

不难发现，随着社会的发展和科技的进步，人类的平均寿命在逐年增加，但伴随着衰老而来的机体功能衰退及相关疾病仍严重影响着老年人的生活质量。统计数据显示，2015年末，中国总人口数量超过13.6亿，65周岁以上老龄人口达到1.4亿，占总人口的10.1%，这意味着我国已经步入了人口老龄化的时代。人口老龄化问题涉及政治、经济和文化等诸多方面，更为我国养老、医疗以及社会服务事业带来巨大的压力，而这一问题将可能成为制约我国整体发展的重要因素。“老吾老，以及人之老；幼吾幼，以及人之幼”，尊老敬老是中华民族优秀传统文化之一，在中国老龄化加速的大背景下，衰老研究逐渐成为医学与健康领域的关注焦点，而如何有效地干预和控制衰老，改善老年人的整体健康状况是生物医学领域面临的严峻挑战。目前国内关于衰老的研究工作尚处于初级阶段，仍需要有更多的科研工作者从事到这个领域当中。衰老生物学作为生物学研究的一个重要分支，迫切需要有系统性强的理论书籍作为学习与研究的指导。通过与相关专业的学者和同学们交流，我们发现许多同学都对生物衰老这个领域感兴趣，但苦于缺少系统全面而又通俗易懂的专著来指引和帮助大家，因此，我们便有了将这本书翻译并奉献给大家的念头。

多年来，我们课题组专注于衰老和相关疾病及其药物干预的研究工作，在衰老相关基因的功能探究以及衰老的饮食、药物干预方面取得了颇丰的成果。在多年的研究工作当中，我们努力探索，深入钻研，在衰老细胞生物学以及分子生物学方面积累了丰富的工作经验，具备扎实的理论基础，掌握并了解该领域的前沿工作。2012年，我们主导翻译出版了衰老领域著名的实验技术指导《生物衰老：研究方法 with 实验方案》(Trygve O. Tollefsbol 著，Humana 出版)一书，内容涵盖了衰老研究领域最新的实验方法和技术突破，为从事衰老相关领域的科学工作者提供了成熟可靠的技术方法与实验方案，有效推进了我国在衰老相关领域的研究工作。在前期工作的基础上，在科学出版社的大力支持下，经过实验室老师和数届同学历经两年多的共同努力，我们与华中科技大学同济医学院公共卫生学院张果教授实验室成员共同完成了在衰老研究领域中具有权威指导意义的《衰老生物学》(Roger B. McDonald 著，Garland Science 出版)一书的翻译和校对。该书以全新的视角解释了衰老的原由，并且详尽地描述了诸多生物基本原则来帮助人们理解衰老、长寿以及衰老相关疾病的机制。本书语言朴实易懂，主要为生物学、医学等相关专业的本科生、研究生，以及对生物衰老感兴趣的研究者设计撰写，通过本书，读者能够对衰老与寿命有更深刻的认识与领悟。我们衷心地希望通过对本书的翻译出版，让全社会更多的人能够关注衰老、理解衰老。

在此，我们感谢清华大学医学院药理学研究所所有参与该书翻译和校对的同学，

感谢华中科技大学同济医学院公共卫生学院张果教授实验室全体成员的辛勤劳动和奉献，感谢科学出版社罗静编辑在翻译协调、编辑校对、排版印刷等方面给予的大力支持和指导。此外，还有诸多的同事同行同学给予了诸多的意见、建议、帮助和支持，在此一并表示真诚地感谢。

清华大学医学院教授 王 钊  
2016年春日于清华园

# 前 言

我们为什么会衰老？是什么决定了我们以及其他物种的存活时间呢？著名生物学家及诺贝尔奖获得者彼得·梅达沃先生在1952年提出，生物的衰老是这个时代众多未解谜题之一，要解决这个问题仍需40年。我们现在已经了解到引起衰老的一些潜在原因，并且认识了为何每个物种都有其近乎恒定的寿命。简单来说，衰老是一个随机的过程，而不是一个进化的过程。但长寿确实是一个进化的过程——通过选择那些可以促进繁殖能力的基因并将其保留下来。随着我们不断认识衰老与长寿之间的区别，在研究生物衰老过程中出现了一个分支——生物老年学，该分支的出现兴起了很多令人振奋的新研究领域，这些研究结果使得人们对衰老及长寿的细胞和分子机制有了更加深入的认识。《衰老生物学》是第一本以生物衰老为主题的教材，本书中将会阐述导致衰老及长寿的因素。

在过去的15~20年中，科学家们普遍开始关注如何解释我们为什么衰老，以及为什么我们的寿命像现在这么久等问题，这导致了关于衰老及长寿基础机制研究的大暴发。这些研究结果迅速将生物老年学从起初的观察和生物医学科学，转化为依赖实验且受普通生物科学规则规范的科学。生物老年学这种令人激动的新发展方向造成了对于衰老生物学课程的需求。然而，由于缺乏从生物学角度（非生物医学角度）对老年生物学认识的教科书，这门课程的发展受到了阻碍。《衰老生物学》这本书填补了这一缺陷，这是一本针对生物学科的学生所写的生物学教科书。

本书遵守以下基本原则：了解衰老生物学过程的关键是首先了解适用于所有生命和所有生命阶段的生物化学、生理学基本概念。本书中每一章的开始都会有一个针对非衰老系统进行的基本生物学法则的概述。有了这些知识，学生就会更加全面地了解依赖时间的分子水平、细胞功能的改变是如何导致衰老的。基础生物学搭建的理论框架同样为学生们提供了必要的背景知识，使得他们能够去考虑是哪些干预导致了衰老速率的下降或者寿命的延长。

章节的顺序依照标准的生物学教材安排，每一章都提供了后面章节中需要理解的一些概念和法则。全书共10章内容，被分为三部分内容。第1章和第2章介绍生物老年学在实验方面和临床方面均比较常见的一些基本概念。第3~6章探索了进化水平、细胞水平及遗传水平的生物衰老学发现，从而促进了我们现今对于为何衰老、如何衰老的认识。第7~10章集中描述前几章介绍的基础科学是如何应用在衰老和长寿中的。我们还确立了衰老和疾病的关系，并且讨论了我们可以通过哪些努力来降低人类的衰老速率。

第1章，衰老生物学中的基本概念，为接下来所有的章节打下基础。这里介绍并

解释了生物老年学的一些专用术语，并且描述了研究者用于研究衰老和长寿的几种模型系统。

第2章，测量生物学衰老，我们能更进一步地了解到生物老年学家测量个体和群体衰老速率的一些基本方法。在生命统计表的背景介绍下，彻底讨论了测量死亡速率的原则。在这里，学生们将踏入人口统计学的领域，可以了解人口统计学是如何帮助预测衰老速率及寿命轨迹的，以及这些预测是如何帮助解释我们为何衰老、怎样衰老的。

第3章，寿命与衰老的进化理论，这是整本书的核心。仅仅通过了解我们为何衰老（对于衰老和进化的了解），生物老年学家就能够更加准确地建立一些关于“我们如何衰老”的假说并对这些假说进行检测。第3章追踪了关于寿命及衰老进化理论的发展，从早期的观察假定到数学运算，再到如今当代进化论者均会着手的实验。

第4章和第5章介绍了揭示我们如何衰老的一些细胞学和遗传学的发现。第4章，细胞衰老，阐述了宇宙中影响所有事物的基本力量是如何同样为潜在的衰老原则提供解释的。这里，我们探索了热力学定律是如何解释细胞衰老潜在原则的成因的——细胞衰老反映了受损蛋白的聚集。我们描述了受损蛋白聚集，以及细胞有限寿命背后的生物化学机制、生理学机制——氧化性损伤和端粒缩短。

第5章，寿命的遗传学，扩展了第3章介绍的概念——物种的寿命与经过自然选择保留下来的繁殖基因相关。我们讨论了一些先进实验室对酵母和线虫的研究结果，他们已确立一些影响寿命的基因。由于这些基因已经被证明在高等动物如小鼠和大鼠身上有类似的影响，学生们会了解重大前沿发现中的衰老生物学是怎样的，这些发现使得用遗传学操作控制衰老和寿命的速率成为可能。

第6章，植物衰老，是本书中需特别强调的内容：这是第一本讨论到植物衰老的衰老生物学教材，植物衰老的讨论对于人类及其他动物的衰老十分重要。植物学是生物学中的一个重要部分，植物衰老也是衰老生物学中重要的部分。

关于人类衰老的探索起始于第7章——人类的长寿，这里用一个全新的视角去观察衰老和寿命的研究，即老年化生态统计学。生态统计学是一种将生物学和统计学结合起来的计算科学。这个新兴学科的研究结果为以下说法提供了证据：人类衰老和寿命的起源可能会与其他物种有巨大的差异。在这一章中的第二部分，我们探索了在20世纪人类寿命空前增长的原因。

第8章人类衰老的生理机制和第9章年龄相关性疾病，为详尽地了解主要生理系统随时间的变化提供了帮助：与年龄相关的生理系统的变化会导致患疾病或死亡的风险增加（第8章），有些变化倾向于发展成为使得死亡率和发病率上升的疾病（第9章）。像其他的章节一样，我们在描述衰老相关改变之前进行了基础生理学的介绍。

第10章作为整本书的结束——调控人体衰老与长寿，简单讨论了目前调节衰老和寿命所处的形势。我们以考虑为何调节生物学衰老可能行不通作为开始，接下来讨论了理论上可以调节衰老速率或寿命的仅有的两种干涉方式：①降低卡路里摄入；②自始至终保持身体的活力。本章通过讨论一些可能的设想——停止衰老和增长人类寿命，为整本书画上完美句点。

本书为生物老年学提供了易理解的介绍，里面的材料叙述像故事一般吸引人，然而又不乏作为生物科学课本的准确性。图解十分简单易懂，同时有详尽的注释用于补充文本内容，绝非单纯的重复阐述。每一章的关键术语（文本中粗体）都在后面的专业词汇表中列出，如同在线单词卡一样有效可用；表格中的文本，对该章节的主题进行了更加详尽和有趣的介绍；核心概念，总结了章节的主要观点；讨论问题，帮助了读者的学习（[www.garlandscience.com](http://www.garlandscience.com) 为学生和老师提供参考答案）；补充阅读，列出了资料以及参考文献条目，并且依照各章内部的小标题进行分类。附录中对数学计算派生出的寿命表的解释可以帮助学生理解第 2 章和第 7 章。附录摘自于 E.Arias, United States Life Tables, 2006, Natl Vital Stat. Rep. 58:1-40, 2010 一文。全文报道可以登录美国疾病预防控制中心网站查询（[www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)）。

生物老年学是一个相对年轻的学科，而且是我们大家都非常感兴趣的科学领域——无论是计划成为一名生物学者还是教育工作者，或是其他科学领域如健康学、医学，或者是当年纪渐老时尝试更好地了解这一过程。我们希望本书可以很好地为生物学的学生服务，我们也期待从学生还有老师身上得到反馈。

## 在线资源

虽然课本是课程的中心，但为了辅助教学过程，我们为老师和学生提供了在线资源。可以通过登录 <http://garlandscience.com/aging> 进入学习，教学资源网站为本书提供了教学工具。学生资源向所有人开放，使用者可以选择注册，即可方便地使用课本标记及笔记记录工具。教育工作者资源需要注册方可进入；如果教育工作者指定本书作为其课程教材，则教学资源均可用。如果想获得教学资源使用权限，请与当地销售代表联系或发送邮件至 [science@garland.com](mailto:science@garland.com)。下面是本书在线资源的概况。在线资源可以分章节进行浏览，同时还具备搜索引擎。

## 学生资源

- 精选出来的解释教材中重要概念的卡通图片及视频。
- 每章节问题的参考答案。
- 专业术语在线学习卡。

## 教学资源

- 为方便使用，所有书中的图片均以两种格式存在：Microsoft PowerPoint® 和 JPEG。通过教材中使用的图片号码、图片名称或者图片中使用的关键词即可搜索到。
- 在线资源中学生可使用的图片和视频，教学者也可使用，并且这些资源也以两种格式存在。WMV 格式的视频可以用于使用 PowerPoint 展示的教学工作者，用于 Windows 系统下的计算机；QuickTime 格式的视频用于苹果系统下的 PowerPoint 或 Keynote 展示。点击视频预览界面处的“download”按钮即可方



便地将视频下载至个人计算机中。

- 每章节问题的参考答案。
- 获得资格的教育工作者可以进入一个“问题库”，里面有许多备选问题及开放式问题。
- 教学大纲有助于围绕衰老生物学构建课程教学框架。
- 可以使用 Garland Science 教材中的所有资源。

## 致 谢

首先我要以我的名义感谢三个人，是他们不遗余力的努力使得这本书成为现实：Margy Kuntz，您是出现在恰当时间的恰当的人，您对我所写内容的修改，犹如将蜿蜒的双车道乡间小路扩建成四车道高速公路，您在这么短时间内教给我如此多的东西；Janet Foltin，您在这个项目中的领导力、您给予我的信心，以及您在出版方面所具备的知识简直是非凡的；Allie Bochicchio，作为替补队员上场的不知名的队员，在最后几轮的拟稿中，结果令人炫目，与您一同工作真是倍感荣幸。

Garland 出版社中还有许多其他人，尽管没有始终工作在第一线，但他们对这本书却有着重大影响：Denise Schanck，您的管理工作做得很棒，您组合了一支杰出的、精益求精的专业队伍；Matthew McClements，在制图方面有令人惊讶的天赋，谢谢您将我手绘的原件转化为如伦勃朗画作一般的图；Linda Strange，我不知道您是如何做的，但是您将我的作品翻译成了真正的英语；Natasha Wolfe，很少有人能像您一样督促我守时、守规矩，而且，在这种情况下您总是优美而典雅。同时，我要感谢 Georgina Lucas，Sally Livitt 以及 Sheri Gilbert，你们做了所有的细节工作却从未获得足够的赞美。感谢 Adam Sendoff 和 Lucy Brodie，是你们确保了有需要的人知道这本书的存在。最后，感谢 Michael Morales 走进了我的办公室。

我要对那些花时间检查各个章节的人们表示衷心的感谢：Steven Bloomer，Ashok Upadhyaya，Olav Rueppell，Deborah Roach，Kenneth M. Crawford，Susheng Gan，Carol Itatani，Claudio Franceschi，Joel Parker 以及 Suresh Rattan。你们的洞察力及超常的知识极大地提高了本书的质量。我希望在这个成品中你们能够看到你们的影响。

有一些没有编辑过一页书或者没有写过一句话的人，在这本书的成型过程中也同样发挥着至关重要的作用，需要被我们记住：Jessica Coppola，你从未停止为了让我每天的生活更加光明而努力，无论处境多么困难，我可以依靠你无条件的爱使笑容回到我的脸上；Lisa Martinez，无论是我们一起骑行 100 英里还是外出遛狗，似乎你总知道应该说什么来使这一天更加美好。

我已毕业的学生：Kristin，Lisa，Maria，Annette，Cynthia，Mary，Michelle，Carol 和 David，感谢那些我们一起度过的快乐时光。我写《衰老生物学》的过程中如果没有你们，我不可能完成。

最后，感谢那些为我所做的提供一切基础的人们：Lois McDonald，无论遇到什么障碍您总是告诉我我可以做到，您的儿子做的很好；Mike Muirhead，您给予了我一个机会并且让我知道每个人都能有所作为；Paul Saltman，也许您肉体上已经去世，但您的精神却一直存活并且留在了我身上。感谢那些每天鼓舞我的成千上万的本科生们——你们让我对未来充满期待。

# 目 录

译者序

前言

致谢

第 1 章 衰老生物学中的基本概念 .....	1
生物老年学：对生物学衰老的研究 .....	1
随着人类寿命的延长，生物学家开始研究衰老 .....	1
20 世纪 40 年代，生物老年学成为独立的研究学科 .....	3
衰老研究着眼于人的整体健康 .....	3
非人类物种的生物衰老与人类的衰老有很多共同特点 .....	4
衰老研究是一个复杂的过程 .....	4
生物学衰老的定义 .....	5
生物学衰老的最初定义基于死亡率 .....	6
基于功能的定义有助于描述特定时期的生物学衰老 .....	7
本书中衰老的定义 .....	7
发育、成熟、衰老用于描述衰老相关事件的不同阶段 .....	8
生物学衰老不同于老年病 .....	9
生物老年学家如何研究衰老：使用实验室生物研究人类衰老 .....	10
研究分离的细胞系统以描述衰老与长寿的基本生物化学过程 .....	12
真菌是研究影响衰老与寿命的环境因素的良好模型 .....	14
原始的无脊椎动物可能为延长细胞寿命、细胞信号转导，以及全身衰老提供线索 .....	14
昆虫能够用于研究全身和胞内信号如何影响生活史 .....	15
小鼠和大鼠是研究营养、遗传及生理学问题的常用对象 .....	15
非人类灵长类动物显示许多与人类相同的时间依赖性变化 .....	16
人类早老症能够作为正常衰老的模型 .....	17
生物老年学家如何研究衰老：比较生物老年学 .....	18
物种的体型与最大寿命相关 .....	18
对外在危险易受性的降低解释了寿命的延长 .....	20

高度组织化的社会结构延长野生动物的寿命 .....	20
少数水生动物极端长寿 .....	21
核心概念 .....	22
讨论问题 .....	22
补充阅读 .....	23
<b>第 2 章 测量生物学衰老 .....</b>	<b>25</b>
在个体中测定生物学衰老 .....	25
年龄相关的表型差异影响在个体中对衰老的测量 .....	27
生活方式的选择显著影响表型 .....	29
表观基因组也影响衰老的速率和寿命 .....	30
横向研究比较在单个时间点不同年龄组别的变化 .....	32
纵向研究观察单一个体随时间的变化 .....	33
个人基因组学或将成为确定和应用衰老生物标志物的关键 .....	37
在群体中测量生物学衰老 .....	38
通过死亡率估计群体中的死亡数量 .....	38
生命表包含死亡率、期望寿命和死亡概率的信息 .....	39
年龄别死亡率呈指数上升 .....	40
非年龄相关性死亡能够影响死亡率 .....	42
死亡率倍增时间用以校正初始死亡率的差异 .....	44
存活曲线近似于死亡率 .....	45
生命末期死亡率的降低暗示着长寿基因存在的可能性 .....	48
核心概念 .....	49
讨论问题 .....	49
补充阅读 .....	50
<b>第 3 章 寿命与衰老的进化理论 .....</b>	<b>53</b>
寿命与衰老的进化理论基础 .....	53
魏斯曼使体细胞与生殖细胞得以区分 .....	53
魏斯曼提出衰老是一个非适应性特征 .....	54
种群生物学家开发出计算种群增长的逻辑方程 .....	57
种群年龄结构描述了复杂真核生物的达尔文式适应性 .....	59
种群繁殖速率描述了年龄特异性的适应性 .....	59
Fisher 描述了种群繁殖潜力和达尔文式适应性的关系 .....	60
进化与寿命 .....	62

衰老的非固有速率导致自然选择力的下降.....	62
Medawar 认为衰老的出现是遗传漂变的结果.....	63
Medawar 提出衰老和长寿在繁殖后群体中分别出现.....	64
Hamilton 提出的自然选择对死亡率的作用力巩固了 Medawar 学说.....	65
检验长寿的进化模型.....	66
晚育生物体具有更低的固有死亡率.....	67
遗传漂变使寿命和繁殖发生联系.....	67
长寿进化理论的验证结果改变了生物老年学研究.....	69
进化与衰老.....	69
对抗多效性是一般多效性的一个特例.....	70
一次性体细胞理论基于有限的资源分配.....	71
核心概念.....	72
讨论问题.....	73
补充阅读.....	74
<b>第 4 章 细胞衰老.....</b>	<b>77</b>
细胞周期与细胞分裂.....	77
细胞周期包括 4+1 个阶段.....	77
DNA 复制发生在 S 期.....	78
细胞分裂发生在 M 期.....	78
细胞周期的调控.....	80
S 细胞周期蛋白和细胞周期蛋白依赖性激酶启动 DNA 的复制.....	80
p53 信号通路在 G <sub>1</sub> 期到 S 期过渡时阻止 DNA 复制.....	81
许多蛋白质参与 DNA 的复制.....	82
黏连蛋白和凝缩蛋白有助于染色体的分离.....	83
分裂中期到后期的过渡标志着细胞周期最后的检查点.....	84
功能完善的细胞能够在 G <sub>0</sub> 期退出细胞周期.....	84
复制衰老.....	85
一个错误使得细胞衰老的发现推迟了 50 年.....	85
Hayflick 和 Moorhead 的研究成果创建了细胞老年学领域.....	86
体外培养细胞的三个生长阶段.....	87
衰老细胞有若干共同特点.....	90
复制衰老能够用来描述生物学衰老.....	91
细胞衰老的原因：损伤的生物分子的积累.....	92
生物分子服从热力学定律.....	92
生命需要持续地保持秩序与自由能的稳定.....	92
衰老的基本机制是分子保真度的丧失.....	94

衰老反映了细胞内受损伤的生物分子的积累 .....	94
氧化应激与细胞衰老 .....	95
氧化代谢产生活性氧 .....	96
线粒体 ATP 合成产生大多数的超氧离子 .....	97
酶将超氧自由基催化还原为水 .....	101
细胞质还原也产生自由基 .....	101
氧自由基导致损伤的生物分子的积累 .....	102
细胞膜容易受到活性氧的伤害 .....	103
活性氧能够发挥有利作用 .....	106
端粒长度缩短与复制衰老 .....	107
端粒阻止后随链去除关键 DNA 序列 .....	108
端粒的缩短可能导致体细胞衰老 .....	110
核心概念 .....	111
讨论问题 .....	112
补充阅读 .....	113
<b>第 5 章 寿命的遗传学 .....</b>	<b>115</b>
真核生物基因表达概述 .....	115
DNA 的转录产生互补 RNA .....	116
真核细胞在转录后对 RNA 进行修饰 .....	119
翻译是 RNA 介导的蛋白质合成 .....	120
翻译后蛋白质能够被修饰或降解 .....	123
基因表达的调控 .....	124
核小体结构的改变可以调控基因的表达 .....	124
蛋白质与 DNA 的结合调控基因的表达 .....	125
转录后的机制也能调控基因表达 .....	128
在生物老年学研究中分析基因的表达 .....	129
生物老年学中的遗传分析始于突变体的筛选 .....	130
鉴定基因功能需要进行 DNA 克隆 .....	130
可以由基因序列确定该基因的部分功能 .....	132
原位杂交能够揭示基因功能 .....	132
转基因生物有助于评估一个基因对人类长寿的影响 .....	133
DNA 微阵列技术用于评估不同年龄的基因表达谱 .....	133
酿酒酵母寿命的基因调控 .....	135
酿酒酵母既进行无性繁殖, 也进行有性繁殖 .....	136
环境条件影响繁殖与寿命 .....	137
DNA 结构的改变影响寿命 .....	138

SIR2 途径与寿命相关.....	139
营养应答信号通路中的功能失活突变可能会延长寿命 .....	140
线虫寿命的基因调控 .....	140
Dauer 形成的调控延长寿命 .....	141
调控 Dauer 形成的遗传途径 .....	141
DAF-2 受体基因的弱突变延长寿命.....	144
寿命的延长与神经内分泌的调控相关联 .....	144
线粒体蛋白可能连接着寿命延长与代谢 .....	144
果蝇寿命的基因调控 .....	145
果蝇在遗传学研究中的应用历史悠久 .....	146
延长寿命的基因与抗逆性的增加相关 .....	146
调控果蝇生长的基因也能够延长寿命 .....	148
小鼠寿命的基因调控 .....	149
许多小鼠基因已被报道影响寿命 .....	150
胰岛素信号的降低将生长缓慢与寿命联系起来 .....	151
生长激素信号的降低将胰岛素样信号通路与寿命延长联系起来 .....	152
小鼠中证实寿命的基因调控对人类衰老有一定意义 .....	154
核心概念.....	154
讨论问题.....	156
补充阅读.....	156
<b>第 6 章 植物衰老.....</b>	<b>161</b>
基础植物生物学 .....	161
植物细胞有细胞壁、中央液泡及色素体 .....	162
叶绿体——光合作用场所 .....	164
植物激素调节植物的生长和发育 .....	166
植物衰老生物学 .....	167
有丝分裂衰老发生在顶端分生组织细胞 .....	168
分裂后植物衰老包含程序化过程和随机过程 .....	171
植物衰老的模型——拟南芥叶片 .....	171
叶片衰老三部曲 .....	172
单糖在叶片衰老中扮演重要角色 .....	174
叶绿体的解体为植物其他器官提供了氮和矿物质 .....	175
参与细胞器降解过程的基因的表达可能由分解代谢副产物诱导 .....	177
叶片衰老过程中植物细胞膜的降解 .....	177
启动植物衰老 .....	178
光照强度影响植物衰老的启动 .....	179

细胞丝裂原可以延缓衰老 .....	180
启动衰老的其他植物激素 .....	182
核心概念 .....	183
讨论问题 .....	183
补充阅读 .....	184
<b>第 7 章 人类的长寿 .....</b>	<b>185</b>
人类长寿的起源 .....	185
人类的死亡率是兼性的 .....	186
遗传因素使人类死亡率具有显著的可塑性 .....	187
长寿人群的死亡率不尽相同 .....	188
智能改变了人类的死亡率 .....	189
高等智能使人类具有独特的长寿轨迹 .....	189
遗传对人类寿命的影响较小 .....	191
20 世纪人类寿命的延长加快 .....	192
在人类历史的大部分时间里, 平均寿命都小于 45 岁 .....	192
控制传染性疾病使人口的平均寿命延长 .....	194
婴儿死亡率的下降增加了寿命期望值 .....	195
医疗水平的提高使寿命期望值继续增加 .....	197
女性的期望寿命比男性长 .....	199
核心概念 .....	200
问题讨论 .....	201
补充阅读 .....	202
<b>第 8 章 人类衰老的生理机制 .....</b>	<b>203</b>
身体组成的改变和能量代谢 .....	203
能量平衡是摄入与消耗之差 .....	204
脂肪在成年后持续积累 .....	206
在生命周期的末期, 体重的过度减少引起死亡率的增加 .....	210
肌肉减少症是指骨骼肌质量随着年龄增加而减少的现象 .....	210
皮肤的变化 .....	212
皮肤由三层组成 .....	213
皱纹是由于皮肤弹性及皮下脂肪的缺失造成的 .....	214
长时间的紫外线照射对皮肤造成明显的损害 .....	214
感觉的变化: 听觉、视觉、味觉及嗅觉 .....	218



声学是听觉的基础.....	218
声音通过人耳传递需要三个步骤.....	219
静纤毛的丢失导致年龄相关性听力障碍.....	220
视觉的基础是光学.....	221
晶状体折射力随年龄发生的变化可以解释老视形成的原因.....	222
晶状体细胞终末分化导致白内障形成.....	222
嗅觉与味觉功能随年龄的改变很小.....	224
消化系统的变化.....	225
口腔和食道内与年龄相关的变化不会影响消化.....	226
胃功能退化多与萎缩性胃炎有关.....	226
小肠变化会影响消化和营养吸收.....	228
泌尿系统的变化.....	231
肾脏将代谢废物从血液中清除.....	231
肾脏与血压调控.....	233
肾血流量和功能随着衰老而减少或退化.....	233
免疫系统的变化.....	234
天然免疫是抵抗感染的第一道防线.....	234
获得性免疫依赖于淋巴细胞对抗原进行反应.....	236
中性粒细胞和巨噬细胞的吞噬功能会随着年龄的增长而减弱.....	236
初始 T 细胞的形成能力、B 细胞的数量及抗体的有效性都会随着年龄的增长而降低.....	238
生殖系统的变化.....	238
绝经由性腺分泌性激素的减少引起.....	239
男性生育能力随年龄的增加略有下降.....	241
老年不是性行为的障碍.....	241
核心概念.....	242
讨论问题.....	243
补充读物.....	243
<b>第 9 章 年龄相关性疾病.....</b>	<b>247</b>
神经系统和神经信号.....	247
神经系统由神经元和辅助细胞共同组成.....	248
膜电位是神经元信号传递的基础.....	249
突触神经递质以化学作用的方式将神经元联系起来.....	251
人类的大脑是由多个相对独立结构和多种不同类型细胞组成的集合.....	252
与年龄有关的中枢神经系统疾病：阿尔茨海默病和帕金森病.....	254
衰老大脑的结构和神经传递变化很小.....	254
衰老的大脑存在淀粉样斑块和神经原纤维缠结.....	255