



新生物学丛书

# 干细胞的细胞生物学

The Cell Biology of Stem Cells

[以] Eran Meshorer [美] Kathrin Plath 著  
韩忠朝 李宗金 主译



科学出版社

新生物学丛书

# 干细胞的细胞生物学

〔以〕 Eran Meshorer 〔美〕 Kathrin Plath 著  
韩忠朝 李宗金 主译

科学出版社

北京

图字：01-2014-1865

## 内 容 简 介

本书涉及干细胞生物学的多个方面，范围从胚胎干细胞的基础分子特性到在体内成体干细胞迁移和成体干细胞微环境，最后还讨论了再生和细胞命运的重编程。本书总共十四章，提供了关于干细胞的细胞生物学的新认识，内容丰富详实，对干细胞研究具有指导作用。

本书适合于从事干细胞研究领域的研究生和青年学者阅读使用。

Translation from English language edition: *The Cell Biology of Stem Cells* by Eran Meshorer and Kathrin Plath

Copyright © 2010 Springer New York

Springer New York is a part of Springer+Business Media

All Right Reserved

### 图书在版编目(CIP)数据

干细胞的细胞生物学/(以)梅肖勒(Meshorer, E.), (美)普拉思(Plath, K.)著; 韩忠朝, 李宗金主译. —北京: 科学出版社, 2014. 6

(新生物学丛书)

书名原文: The cell biology of stem cells

ISBN 978-7-03-040867-9

I. ①干… II. ①梅…②普…③韩…④李… III. ①干细胞-细胞生物学  
IV. ①Q24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 118019 号

责任编辑: 罗 静 刘 晶 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 美光制版

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

\*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 13 3/4 插页: 2

字数: 326 000

定价: 86.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 《新生物学丛书》专家委员会成员名单

主任：蒲慕明

副主任：吴家睿

专家委员会成员（按姓氏汉语拼音排序）：

昌增益	陈洛南	陈晔光	邓兴旺	高福
韩忠朝	贺福初	黄大昉	蒋华良	金力
康乐	李家洋	林其谁	马克平	孟安明
裴钢	饶毅	饶子和	施一公	舒红兵
王琛	王梅祥	王小宁	吴仲义	徐安龙
许智宏	薛红卫	詹启敏	张先恩	赵国屏
赵立平	钟扬	周琪	周忠和	朱祯

## 译者名单

主 译 韩忠朝 李宗金

参 译 (按姓氏汉语拼音排序)

- 陈 芳 中国医学科学院血液病医院 (血液学研究所)  
池 颖 中国医学科学院血液病医院 (血液学研究所)  
龚 伟 中国医学科学院放射医学研究所  
胡 晓 中国医学科学院血液病医院 (血液学研究所)  
李 雪 中国医学科学院血液病医院 (血液学研究所)  
梁 璐 细胞产品国家工程研究中心  
刘文静 中国医学科学院血液病医院 (血液学研究所)  
马凤霞 中国医学科学院血液病医院 (血液学研究所)  
阮 峥 中国医学科学院血液病医院 (血液学研究所)  
苏位君 南开大学医学院  
王丽娜 南开大学医学院  
王有为 北京汉氏联合干细胞研究院  
周曼倩 南开大学医学院  
卓 毅 福建医科大学附属第一医院  
卓光生 北京汉氏联合干细胞研究院

## 《新生物学丛书》丛书序

当前，一场新的生物学革命正在展开。为此，美国国家科学院研究理事会于2009年发布了一份战略研究报告，提出一个“新生物学”（New Biology）时代即将来临。这个“新生物学”，一方面是生物学内部各种分支学科的重组与融合，另一方面是化学、物理、信息科学、材料科学等众多非生命学科与生物学的紧密交叉与整合。

在这样一个全球生命科学发展变革的时代，我国的生命科学研究也正在高速发展，并进入了一个充满机遇和挑战的黄金期。在这个时期，将会产生许多具有影响力、推动力的科研成果。因此，有必要通过系统性集成和出版相关主题的国内外优秀图书，为后人留下一笔宝贵的“新生物学”时代精神财富。

科学出版社联合国内一批有志于推进生命科学发展的专家与学者，联合打造了一个21世纪中国生命科学的传播平台——《新生物学丛书》。希望通过这套丛书的出版，记录生命科学的进步，传递对生物技术发展的梦想。

《新生物学丛书》下设三个子系列：科学风向标，着重收集科学发展战略和态势分析报告，为科学管理者和科研人员展示科学的最新动向；科学百家园，重点收录国内外专家与学者的科研专著，为专业工作者提供新思想和新方法；科学新视窗，主要发表高级科普著作，为不同领域的研究人员和科学爱好者普及生命科学的前沿知识。

如果说科学出版社是一个“支点”，这套丛书就像一根“杠杆”，那么读者就能够借助这根“杠杆”成为撬动“地球”的人。编委会相信，不同类型的读者都能够从这套丛书中得到新的知识信息，获得思考与启迪。

《新生物学丛书》专家委员会

主任：蒲慕明

副主任：吴家睿

2012年3月

## 译者前言

近些年来，以干细胞技术为核心的再生医学研究取得了突飞猛进的发展。干细胞独特的自我更新和分化潜能使其成为研究基础生物学问题的模型，而且，现在成体干细胞、胚胎干细胞和诱导多能干细胞均可以用于生产细胞和组织，使其可以服务于再生医学。这一切都使得干细胞技术在再生医学的医疗、科研领域有巨大的应用潜力。掌握更多的干细胞细胞生物学知识将有利于再生医学的进一步发展。

《干细胞的细胞生物学》一书涉及干细胞生物学的多个方面，范围从胚胎干细胞的基础分子特性到成体干细胞的分化和迁移及其微环境，书结尾部分讨论了成体干细胞的重编程。本书共 14 章，提供了关于干细胞的细胞生物学的新认识，内容丰富翔实，对干细胞研究具有指导作用。本书适合从事干细胞研究领域的研究生和青年学者阅读。

衷心感谢赵钦军、梁璐、王有为等在翻译后校对过程中所付出的辛勤劳作，同时感谢韩之波和郑重在本译作出版过程中所做的贡献。

在译校过程中，虽然力求忠于原作，但限于水平有限，谬误之处在所难免，敬请读者批评指正。

韩忠朝

2014 年 4 月 12 日

## 原书前言

近几年来，干细胞获得了大量的关注，干细胞独特的自我更新和分化潜能使其成为研究基础生物学问题引人注目的模型，其涉及的领域包括细胞分裂、复制、转录、细胞命运决定等。由于哺乳动物的胚胎干细胞（ES 细胞）可以发育成不同的细胞类型，并且成体干细胞能够分化成为一个指定谱系的细胞，这使得不同发育阶段的基础问题都可以得到解决。重要的是，成体干细胞和胚胎干细胞为细胞治疗提供了一个极好的手段，使干细胞研究更加切合再生医学。

正如书名“干细胞的细胞生物学”所示，我们的书涉及干细胞生物学的多个方面，范围从它的基础分子特性到在体内成体干细胞迁移和成体干细胞微环境，书结尾部分讨论了再生和细胞命运的重编程。在第 1 章“小鼠早期胚胎细胞的命运决定”中，Amy Ralston 和 Yojiro Yamanaka 描述了支持小鼠胚泡植入前期的早期发育决定的机制，以及目前关于最不成熟的最早期的干细胞类型的来源的理解，其中包括胚胎干（ES）细胞、滋养层干（TS）细胞和胚外内胚层干（XEN）细胞。由此，我们在由 Kelly Morris, Mita Chotalia 和 Ana Pombo 编写的第 2 章“干细胞的核结构”中研究了多能胚胎干细胞的核结构和基因组的组织结构。这一章讨论了 ES 细胞核的三维空间结构和功能，着重分析了这些细胞的染色质、核小体和基因定位的独特特性。Eleni Tomazou 和 Alexander Meissner 编写的第 3 章“细胞多能性的表观遗传学调控”更加深入地分析了胚胎干细胞的表观遗传学。作者阐述了关键染色质修饰的表观遗传的概况，包括 DNA 甲基化和组蛋白修饰，并讨论了这些表观遗传标记的功能性。第 4 章仍然是在 DNA 水平介绍，是 Ichiro Hiratani 和 David Gilbert 编写的“哺乳动物早期发育阶段常染色体复制域的莱昂化”，作者通过回顾 50 多年来在这个令人兴奋的领域的研究历程，说明了胚胎干细胞的 DNA 复制的调控和动力学，重提了老观念“常染色体莱昂化”来解释异染色质化的过程。

基因组 DNA 是生命的基本单位，一直处在不断的损伤和修复之中。Peter Stambrook 和 Elisia Tichy 在第 5 章“小鼠胚胎干细胞基因组完整性的保持”一章中，讨论了在胚胎干细胞中的基因突变率、信号通路和 DNA 损伤与修复机制。谈论完 DNA 的包装、复制和损伤，本书进入第 6 章“胚胎干细胞的转录调控”，在这章中 Jian-Chien Dominic Heng 和 Huck-Hui Ng 集中在 RNA 水平讨论了转录调控网络，它是多能性状态的核心，并介绍了最近的技术进展，通过这种技术可以系统性地了解 ES 细胞及其分化过程中的转录调控。讨论完转录调控，本书开始介绍 RNA 剪接，David Nelles 和 Gene Yeo 撰写了第 7 章“干细胞自我更新和分化中的选择性剪接”，他们综述了有关“剪接”的最新文献，着重介绍了胚胎干细胞中的几个关键的选择性剪接基因，并讨论了最新的全基因组水平的方法，从全局范围来分析剪接和选择性剪接模式。第 8 章由 Collin Melton 和 Robert Blelloch 编写，题为“微小 RNA 调节胚胎干细胞自我更新和分化”，这一章阐明了胚胎干细胞的 microRNA 的调控，主要介绍了几个突出的 microRNA，包括 Let-7、Lin-28、miR-134、miR-296 等，它们参与了 ES 细胞的自我更新和/或全能性的调控。第 9 章“成体干细胞和多能胚胎干细胞中的端粒及端粒酶”由 Rosa



Marión 和 Maria Blasco 撰写，这一章概述了在多能性和多能干细胞中的端粒生物学及端粒酶调控，并讨论了从体细胞到多能细胞的核重排过程中使得端粒染色质重塑的潜在机制。在小鼠中，核重排到多能性也需要雌细胞中沉默的 X 染色体的重新激活。第 10 章“X 染色体失活与胚胎干细胞”是由 Tahsin Stefan Barakat 和 Joost Gribnau 编写的。这一章讨论诱导分化的雌性胚胎干细胞的 X 染色体失活 (XCI) 调控，解释了精确的协调整个染色体转录沉默的顺式和反式作用机制，并提出假说阐明了为什么这样一个有趣的过程只发生在雌性细胞中。

讨论完多能胚胎干细胞的细胞核中的分子生物学，接下来的三个章节开始介绍成体干细胞。虽然多能干细胞只是早期胚胎发育的一个短暂阶段，但是成体干细胞群存在于机体的整个生命周期中，直到它们被组织内稳态和/或修复所利用。制约成体干细胞并调节其分化而不是自我更新的信号被认为是细胞和细胞外基质的相互作用控制的，而这就构成了干细胞微环境。第 11 章“成体干细胞及其细胞龕”中，Francesca Ferraro, Cristina Celso 和 David Scadden 解释了微环境的概念，讨论了不同哺乳动物微环境的信号通路，并联系了目前关于微环境生物学、癌变和老化的认识。在第 12 章“成体干细胞的分化和迁移及其对疾病的影响”中，Ying Zhuge、Zhao-Jun Liu 和 Omaid Velazquez 阐述了造血干细胞 (HSC)、间充质干细胞 (MSC) 和内皮祖细胞 (EPC) 的迁移，并讨论了在哺乳动物体内控制其迁移调控的机制。Zhuge 等还解释了如何将这些基本过程转化为临床应用。

在接下来的章节“脊椎动物再生模型对干细胞应用的启示”中，Christopher Antos 和 Elly Tanaka 讨论了几个脊椎动物模型，如青蛙、鱼和蝾螈的再生机制。他们描述了极大的细胞可塑性，包括了几种组织结构（眼睛、心脏、神经系统及其附属物）的再生，作者总结了一些分子，这些分子促成了指定的组织的转分化和去分化。本书的最后一章“成体细胞重编程获得多能性”由 Masato Nakagawa 和 Shinya Yamanaka 撰写。这一章介绍了干细胞生物学最令人兴奋的最新发展，即多能性细胞的重编程。作者简介了 20 世纪 50 年代和 60 年代在青蛙卵母细胞内进行的体细胞核转移实验的历史，介绍了细胞融合实验产生重新编程的细胞、albeit 四倍体，并介绍了他们的实验室在重编程领域的开创性贡献——某些特定转录因子表达使体细胞变成多能干细胞，从而开创了新的蓬勃发展的领域即诱导多能干细胞 (iPS)。

现在成体干细胞、胚胎干细胞和诱导多能干细胞可以用于生产细胞和组织，以便应用于细胞治疗。现在应用 iPS 细胞技术能够生成特定患者的多能干细胞，在疾病研究和药物筛选方面有巨大的潜力。为了能够充分利用干细胞的优势和巨大的潜能，我们还需要掌握更多的基本生物学知识。在本书这 14 章中提供了关于干细胞的细胞生物学的新认识，并讨论了许多有待回答的问题。

Eran Meshorer, 博士

以色列耶路撒冷希伯来大学生命科学学院遗传学系

Kathrin Plath, 博士

美国加州大学洛杉矶分校医学院生物化学系

(梁璐译)

## 原作者简介



**Eran Meshorer**, 博士，在耶路撒冷希伯来大学遗传学系研究胚胎干细胞和神经干细胞的染色质可塑性。获得希伯来大学分子神经科学博士学位，随后在美国国立卫生研究院（NIH）开展博士后研究。他的实验室主要是应用全基因组和单细胞的技术从染色质的角度来研究多能性、分化和重编程。他是国际干细胞研究学会的成员，是 Joseph H. 和 Belle R. Braun 生命科学学院的高级讲师。



**Kathrin Plath**, 博士, 2004 年以来担任加州大学洛杉矶分校生物化学系助理教授。获德国柏林洪堡大学的博士学位后, 她分别在美国加州大学、旧金山和剑桥 Whitehead 研究所、MA 开展博士后研究。Plath 博士的主要研究方向是发育线索如何引起分子水平上染色质结构改变, 以及这些改变如何调节细胞命运决定和哺乳动物发育的基因表达。她是国际干细胞研究学会的成员和几家干细胞杂志编委会成员。

## 原著者名单

Christopher L. Antos  
DFG-Center for Regenerative Therapies  
Dresden Technische Universität  
Dresden  
Germany

Tahsin Stefan Barakat  
Department of Reproduction  
and Development  
Erasmus MC  
University Medical Center  
Rotterdam  
The Netherlands

Maria A. Blasco  
Telomeres and Telomerase Group  
Molecular Oncology Program  
Spanish National Cancer Centre (CNIO)  
Madrid  
Spain

Robert Blelloch  
The Eli and Edythe Broad Center  
of Regeneration Medicine  
and Stem Cell Research  
Center for Reproductive Sciences  
Program in Biomedical Science  
Department of Urology  
University of California San Francisco  
San Francisco, California  
USA

Cristina Lo Celso  
Division of Cell and Molecular Biology  
Imperial College London  
London, England  
UK

Mita Chotalia  
Genome Function Group  
MRC Clinical Sciences Centre  
Imperial College School of Medicine  
Hammersmith Hospital Campus  
London, England  
UK

Francesca Ferraro  
Center for Regenerative Medicine  
Massachusetts General Hospital and  
Harvard Medical  
Department of Stem Cell  
and Regenerative Biology  
Harvard University  
and  
Harvard Stem Cell Institute  
Cambridge, Massachusetts  
USA

David M. Gilbert  
Department of Biological Science  
Florida State University  
Tallahassee, Florida  
USA

Joost Gribnau  
Department of Reproduction  
and Development  
Erasmus MC  
University Medical Center  
Rotterdam  
The Netherlands

Jian-Chien Dominic Heng  
Gene Regulation Laboratory  
Genome Institute of Singapore  
and  
NUS Graduate School for Integrative  
Sciences and Engineering  
Singapore

Ichiro Hiratani  
Department of Biological Science  
Florida State University  
Tallahassee, Florida  
USA

Zhao-Jun Liu  
Division of Vascular Surgery  
DeWitt Daughtry Family Department  
of Surgery  
and  
Sylvester Comprehensive Cancer Center  
Miller School of Medicine  
University of Miami  
Miami, Florida  
USA

Rosa M. Marión  
Telomeres and Telomerase Group  
Molecular Oncology Program  
Spanish National Cancer Centre (CNIO)  
Madrid  
Spain

Alexander Meissner  
Department of Stem Cell  
and Regenerative Biology  
Harvard University  
and  
Harvard Stem Cell Institute  
and  
Broad Institute  
Cambridge, Massachusetts  
USA

Collin Melton  
The Eli and Edythe Broad Center  
of Regeneration Medicine  
Stem Cell Research Center  
for Reproductive Sciences  
Program in Biomedical Science  
and Department of Urology  
University of California San Francisco  
San Francisco, California  
USA

Eran Meshorer  
Department of Genetics  
Institute of Life Sciences  
The Hebrew University of Jerusalem,  
Jerusalem  
Israel

Kelly J. Morris  
Genome Function Group  
MRC Clinical Sciences Centre  
Imperial College School of Medicine  
Hammersmith Hospital Campus  
London, England  
UK

Masato Nakagawa  
Center for iPS Research and Application  
Institute for Integrated Cell-Material  
Sciences  
Kyoto University  
Kyoto  
Japan

David A. Nelles  
Department of Cellular and Molecular  
Medicine  
Stem Cell Program  
University of California, San Diego  
La Jolla, California  
USA

Huck-Hui Ng  
Gene Regulation Laboratory  
Genome Institute of Singapore  
and  
NUS Graduate School for Integrative  
Sciences and Engineering  
Singapore

Kathrin Plath  
UCLA School of Medicine  
Department of Biological Chemistry  
Los Angeles, California  
USA

Ana Pombo  
Genome Function Group  
MRC Clinical Sciences Centre  
Imperial College School of Medicine  
Hammersmith Hospital Campus  
London, England  
UK

Amy Ralston  
Department of Molecular, Cell,  
and Developmental Biology  
University of California Santa Cruz  
Santa Cruz, California  
USA

David Scadden  
Department of Stem Cell  
and Regenerative Biology  
Harvard University  
and  
Harvard Stem Cell Institute  
Cambridge, Massachusetts  
and  
Cancer Center, Massachusetts General  
Hospital  
Boston, Massachusetts  
USA

Peter J. Stambrook  
Department of Molecular Genetics,  
Biochemistry and Microbiology  
University of Cincinnati College  
of Medicine  
Cincinnati, Ohio  
USA

Elly M. Tanaka  
Max-Planck Institute for Molecular  
Cell Biology and Genetics  
Dresden  
Germany

Elisia D. Tichy  
Department of Molecular Genetics,  
Biochemistry and Microbiology  
University of Cincinnati  
College of Medicine  
Cincinnati, Ohio  
USA

Eleni M. Tomazou  
Department of Stem Cell Regenerative  
Biology  
Harvard University  
Cambridge, Massachusetts  
USA

Omaida C. Velazquez  
Division of Vascular Surgery  
DeWitt Daughtry Family Department  
of Surgery  
and  
Sylvester Comprehensive Cancer Center  
Miller School of Medicine  
University of Miami  
Miami, Florida  
USA

Shinya Yamanaka  
Center for iPS Research and Application  
Institute for Integrated Cell-Material  
Sciences  
Kyoto University  
Kyoto  
Japan

Yojiro Yamanaka  
Goodman Cancer Center  
Department of Human Genetics  
McGill University  
Montreal, Quebec  
Canada

Gene W. Yeo  
Department of Cellular  
and Molecular Medicine  
Stem Cell Program  
University of California, San Diego  
La Jolla, California  
USA

Ying Zhuge  
Division of Vascular Surgery  
DeWitt Daughtry Family Department  
of Surgery  
Miller School of Medicine  
University of Miami  
Miami, Florida  
USA

# 目 录

《新生物学丛书》丛书序

译者前言

原书前言

原作者简介

原著者名单

第 1 章 小鼠早期胚胎细胞的命运决定	1
引言	1
胚层的建立和前干细胞程序：囊胚的形成	2
胚系的维持和干细胞程序：囊胚以外	5
第二胚层决定：ICM 的细分	5
细胞信号调节 PE/EPI 形成	6
EPI 胚层多能性的建立和调节	8
结论	9
参考文献	10
第 2 章 干细胞的核结构	13
引言	13
胚胎干细胞核的功能分区	13
干细胞其他核质亚区的特点	17
胚胎干细胞核特有的染色质特征	18
结论	19
参考文献	20
第 3 章 细胞多能性的表观遗传学调控	23
引言	23
表观遗传调控	24
胚胎干细胞的表观遗传组学	28
结论	32
参考文献	33
第 4 章 哺乳动物早期发育阶段常染色体复制域的莱昂化	37
引言	37
复制时序编程：对基因组结构的初步测定	38
一种在进化上相对保守的表观遗传学印记	43
复制时序作为染色体三维结构的定量指标	44
复制时序反映表观遗传特征的改变：常染色体在外胚层阶段的莱昂化	46
复制时序及细胞重编程：常染色体莱昂化的进一步证明	47
复制时序程序的维持和改变及其潜在作用	48

结论 .....	49
参考文献 .....	50
<b>第 5 章 小鼠胚胎干细胞基因组完整性的保持 .....</b>	<b>54</b>
引言和历史观点 .....	54
体细胞的突变频率 .....	56
小鼠 ES 细胞基因组的保护 .....	57
结论 .....	64
参考文献 .....	65
<b>第 6 章 胚胎干细胞的转录调控 .....</b>	<b>68</b>
引言 .....	68
胚胎干细胞可作为研究转录调控的模型细胞 .....	69
转录因子决定胚胎干细胞的多能性 .....	69
转录调控网络 .....	72
转录调控网络分析技术 .....	72
转录调控网络核心: Oct4、Sox2 和 Nanog .....	73
扩大化的转录调控网络 .....	75
增强体: 转录因子复合体 .....	76
信号通路参与转录网络 .....	77
转录调控与表观遗传学调控的相互作用 .....	78
结论 .....	79
参考文献 .....	79
<b>第 7 章 干细胞自我更新和分化中的选择性剪接 .....</b>	<b>82</b>
引言 .....	82
选择性剪接的概述 .....	82
干细胞干性维持及分化中涉及的选择性剪接基因 .....	84
基因组学方法鉴别、检测选择性剪接 .....	86
RNA 结合蛋白对选择性剪接的调控 .....	87
结论和展望 .....	90
参考文献 .....	90
<b>第 8 章 微小 RNA 调节胚胎干细胞自我更新和分化 .....</b>	<b>93</b>
引言: 自我更新程序 .....	93
胚胎干细胞 .....	94
微小 RNA 的生成和功能 .....	94
促进自我更新的 ESCC miRNA .....	95
ESC 分化过程中诱导的 miRNA 阻止自我更新程序 .....	97
控制 miRNA 表达的调节网络 .....	99
miRNA 能促进或抑制 IPS 细胞分化 .....	99
成体干细胞中的 miRNA .....	100
肿瘤细胞中的 miRNA .....	100
结论 .....	101



参考文献	101
<b>第 9 章 成体干细胞和多能胚胎干细胞中的端粒及端粒酶</b>	104
引言	104
端粒及端粒酶的调节	106
端粒和端粒酶在成体干细胞中的作用	107
在体细胞核移植中端粒及端粒酶的调控	108
在 iPS 产生过程中端粒及端粒酶的调控	109
端粒酶活性对于产生“高”质量的 iPS 细胞是必需的	110
端粒重编程调控	110
结论	111
参考文献	111
<b>第 10 章 X 染色体失活与胚胎干细胞</b>	115
引言	115
X 染色体失活中的顺势作用因子	117
X 染色体失活中的反式作用因子	118
数量及选择	119
沉默与沉默的维持	123
X 染色体失活与人 ES 细胞	126
结论	129
参考文献	130
<b>第 11 章 成体干细胞及其细胞龕</b>	137
“龕”的概念、定义与历史	137
干细胞龕成分	138
与龕功能相关的分子通路	140
细胞外基质与细胞-细胞间相互作用	141
干细胞龕动态性	142
干细胞龕衰老	143
恶性干细胞龕	143
结论	144
参考文献	145
<b>第 12 章 成体干细胞的分化和迁移及其对疾病的影响</b>	149
分化	149
间充质干细胞	152
迁移	153
结论	157
参考文献	158
<b>第 13 章 脊椎动物再生模型对干细胞应用的启示</b>	162
脊椎动物再生模型的属性	162
成熟组织再生的机制	163
结论	180