

Н.Д. ОЗЕРНЮК, В.В. ИСАЕВА

ЭВОЛЮЦИЯ ОНТОГЕНЕЗА

Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского
Национального научного центра морской биологии ДВО РАН

Н.Д. ОЗЕРНИЮК, В.В. ИСАЕВА

ЭВОЛЮЦИЯ ОНТОГЕНЕЗА

Товарищество научных изданий КМК
Москва 2016

Н.Д. Озернюк, В.В. Исаева. Эволюция онтогенеза. М.: Тов-во научных изданий КМК. М.: 2016. 407 с.

Эволюция онтогенеза рассматривается как основная проблема эволюционной биологии развития, поскольку эволюционные преобразования организмов обусловлены изменениями их онтогенеза. Интеграция современных данных и гипотез эволюционной биологии развития, генетики развития и сравнительной геномики с классическими концепциями эволюции онтогенеза дает новые возможности для понимания механизмов преобразований индивидуального развития и различий эволюционной стратегии разных таксонов Metazoa. В монографии рассматриваются такие фундаментальные факторы эволюционных трансформаций индивидуального развития, как контроль пространственно-временной организации развивающегося зародыша генными регуляторными сетями, включающими *Hox*-гены, эпигенетическая регуляция процессов развития, возникновение новых клеточных ресурсов роста и развития, а также, роль гетерохроний и других классических механизмов эволюционных изменений. Обсуждаются геномно-морфогенетические корреляции, способствующие эволюционным преобразованиям онтогенеза Metazoa по типу ароморфоза либо идиоадаптаций.

87 илл.

Ответственный редактор: академик С.В. Рожнов

Рецензент: д.б.н., профессор Л.В. Белоусов

ISBN 978-5-9909296-6-1

© Н.Д. Озернюк, В.В. Исаева, текст, иллюстрации, 2016.

© Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, 2016.

© ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, 2016.

© Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, 2016.

© ООО "КМК", издание, 2016.

Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences
A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution
of the Russian Academy of Science
A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, National Scientific Center
of Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

N.D. OZERNYUK, V.V. ISAEVA

EVOLUTION OF ONTOGENESIS

KMK Scientific Press
Moscow 2016

Ozernyuk N.D., Isaeva V.V. EVOLUTION OF ONTOGENESIS. Moscow: KMK Scientific Press. 2016. 407 p., 87 figs.

The evolution of ontogenesis is considered as the main problem of evolutionary developmental biology, because evolutionary transformations of organisms are due to changes in their ontogeny. Integration of contemporary data and hypotheses of evolutionary developmental biology, developmental genetics and comparative genomics with classical concepts of ontogenetic evolution gives new possibilities for understanding the mechanisms of evolutionary transformations of individual development and evolutionary strategies of different metazoan taxa. The book addresses such fundamental factors of evolutionary transformation of individual development, as a control of space-time organization of a developing embryo by gene regulatory networks, including the Hox-genes, epigenetic regulation of developmental processes, the emergence of new cell resources of growth and development, as well as the role of heterochronies and other classic mechanisms of evolutionary changes. Genome-morphogenetic correlations promoting evolutionary transformations of metazoan ontogenesis (aromorphoses and idioadaptations) are discussed.

Responsible Editor S.V. Rozhnov

Reviewer: L.V. Beloussov

ISBN 978-5-9909296-6-1

© Ozernyuk N.D., Isaeva V.V., text, illustrations, 2016

© Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, 2016.

© A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, 2016.

© A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, 2016.

© KMK Scientific Press, 2016.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ФЕНОМЕНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗМЫ ЭВОЛЮЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ	9
Становление эволюционной биологии развития	9
Механизмы эволюционных преобразований: гетерохронии, гетеротопии, сопряженность гетерохроний, гетеротопий и аллометрии	14
Эволюционные преобразования плана строения в онтогенезе животных	26
Модульный принцип организации Metazoa	33
Морфоцентрический и геноцентрический подходы	37
Глава 2. ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОНТОГЕНЕЗА	41
Некоторые механизмы и ограничения эволюционных преобразований онтогенеза	46
Палеонтологические данные об эволюционных изменениях развития отдельных групп животных	48
Глава 3. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ И ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ	62
Сравнительная геномика	62
Эволюция регуляторных систем: транскрипционные факторы	68
Сходство и различия генетического контроля развития у животных и растений	71
Генетический контроль морфогенеза: роль <i>Hox</i> -генов в развитии билатеральных животных	74
Эволюционные преобразования системы <i>Hox</i> -генов	80
Модификации и нарушения целостности <i>Hox</i> -кластера: транслокации, инверсии и потери <i>Hox</i> -генов	96
Гены, определяющие временный контроль процессов развития	101
Роль микроРНК	102
Сети генных взаимодействий	105
Глава 4. РОЛЬ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ	111
Метилирование ДНК	113
Модификации гистонов	131
Короткие РНК и РНК-интерференция	138
Инактивация X-хромосомы	146
Геномный импринтинг	150
Эффект положения гена	153
Парамутации	156
Супрессия транспозонов	157
Прионизация белков	160

Глава 5. ДУПЛИКАЦИИ ГЕНОВ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПЛАЙСИНГ – ПОСТАВЩИКИ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЭВОЛЮЦИОННЫХ И ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ	163
Дупликации генов	163
Полиплоидия	180
Альтернативный сплайсинг	189
Глава 6. ГОМОЛОГИЯ ГЕНОВ И КОДИРУЕМЫХ ИМИ БЕЛКОВ	193
Гомеобокс-содержащие гены и гомеодомены	194
Гемоглобины	195
Гены, контролирующие развитие отдельных органов и тканей	199
Регуляторные гены миогенеза	199
<i>Pax6</i> и развитие глаза	207
Глава 7. ПОЗИЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ, МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ, ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЙ ЛАНДШАФТ УОДДИНГТОНА	210
Позиционная информация и морфогены	210
Морфогенетические поля зиготы и зародыша	213
Эпигенетический ландшафт Уоддингтона	231
Динамика метаболических процессов в онтогенезе и эпигенетические ландшафты	234
Глава 8. СМЕНА И ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ СТАДИЙ И ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ ..	239
Проморфология яйцеклетки	239
Контакт гамет, оплазматическая сегрегация, осевая симметрия	241
Переключение материнской программы развития на зиготическую	243
Прямое и непрямое развитие	264
Эмбриогенез растений	272
Глава 9. СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ КАК РЕСУРС РАЗВИТИЯ И РАЗМНОЖЕНИЯ ОРГАНИЗМА	277
Системы стволовых клеток многоклеточных организмов	277
Детерминация линии гаметогенных клеток в развитии	280
Гаметогенные и соматические стволовые клетки: сходство и различия	289
Эволюционные преобразования клеточных ресурсов развития	292
Сходство и различия стволовых клеток животных и растений	296
Глава 10. РАЗНООБРАЗИЕ, ПЛАСТИЧНОСТЬ И ЦЕЛОСТНОСТЬ ОНТОГЕНЕЗА	300
Разнообразие жизненных циклов Metazoa	300
Эмбриогенез и бластогенез	307
Регулятивные возможности систем эмбриональных клеток	313
Пластичность онтогенеза и жизненных циклов животных и растений	316
Целостность онтогенеза и эволюционная стратегия	320
Преобразования симметрии и топологии в развитии и эволюции Metazoa	323
ЗАКЛЮЧЕНИЕ: АРОМОРФОЗЫ И ИДИОАДАПТАЦИИ В ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ ОНТОГЕНЕЗА	334
ЛИТЕРАТУРА	338

CONTENTS

INTRODUCTION	5
Chapter 1. PHENOMENOLOGY AND EVOLUTIONARY MECHANISMS OF INDIVIDUAL DEVELOPMENT	9
Evolutionary developmental biology	9
Mechanisms of the evolutionary transformations: heterochrony, heterotopy, allometry	14
The evolutionary transformations of a body pattern in animal ontogenesis	26
The modular organization of Metazoa	33
Morphocentric and genocentric approaches	37
Chapter 2. PALEONTOLOGICAL EVIDENCE OF EVOLUTIONARY CHANGES IN ONTOGENESIS	41
Some mechanisms and constraints of evolutionary transformations of ontogeny ...	46
Paleontological evidence of evolutionary changes in development of certain animal groups	48
Chapter 3: GENETIC CONTROL OF A SPACE-TIME ORGANIZATION OF ONTOGENETIC AND EVOLUTIONARY PROCESSES	62
Comparative genomics	62
The evolution of regulatory systems: transcription factors	68
Similarities and differences in the genetic control of development in animals and plants	71
Genetic control of morphogenesis: the role of <i>Hox</i> -genes in bilaterian development	74
Evolution of <i>Hox</i> -gene system	80
Modifications and disturbances of the <i>Hox</i> -cluster integrity: translocations, inversions and loss of <i>Hox</i> -genes	96
Genes determining time control of developmental processes	
Role of microRNAs	102
Gene regulatory networks	105
Chapter 4. THE ROLE OF EPIGENETIC MECHANISMS IN THE REGULATION OF DEVELOPMENTAL PROCESSES	111
DNA methylation	113
Modifications of histones	131
Short RNAs and RNA-interference	138
X-chromosome inactivation	146
Genomic imprinting	150
The effect of gene position	153
Paramutations	156
Transposon suppression	157
Protein prionization	160

Chapter 5. GENE DUPLICATIONS AND ALTERNATIVE SPLICING AS MATERIAL SUPPLIER FOR EVOLUTIONARY AND ONTOGENETIC TRANSFORMATIONS	163
Gene duplications	163
Polyploidy	180
Alternative splicing	189
Chapter 6. HOMOLOGY OF GENES AND THEIR PROTEIN PRODUCTS	193
Homeobox-containing genes and homeodomains	194
Hemoglobins	195
The genes that control the development of individual organs and tissues	199
Regulatory genes in myogenesis	199
<i>Pax6</i> and the eye development	207
Chapter 7. POSITIONAL INFORMATION, MORPHOGENETIC FIELDS, WADDINGTON' EPIGENETIC LANDSCAPE	210
Positional information and morphogens	210
Morphogenetic fields of a zygote and embryo	213
Waddington' epigenetic landscape	231
The ontogenetic dynamics of metabolic processes and epigenetic landscape	234
Chapter 8. CHANGE OF STAGES AND PROGRAMS IN DEVELOPMENT	239
Egg promorphology	239
Gamete contact, ooplasmic segregation, axial symmetry	241
Maternal-zygotic switch of developmental programs	243
Direct and indirect development	264
Plant embryogenesis	272
Chapter 9. STEM CELLS AS A RESOURCE FOR DEVELOPMENT AND REPRODUCTION OF AN ORGANISM	277
Stem cell systems in multicellular organisms	277
Determination of gametogenic stem cell line in development	280
Gametogenic and somatogenic stem cells: similarities and differences	289
Evolutionary transformations of developmental cell resources	292
The similarities and differences between stem cells in animals and plants	296
Chapter 10. DIVERSITY, PLASTICITY AND INTEGRITY OF ONTOGENESIS ..	300
The diversity of life cycles among Metazoa	300
Embryogenesis and blastogenesis	307
Regulatory capabilities of embryonic cell systems	313
Plasticity of ontogenesis and life cycles in animals and plants	316
The ontogenetic integrity and evolutionary strategy	320
Symmetry and topology transformations in metazoan development and evolution	323
CONCLUSION. Aromorphoses and idioadaptations in evolutionary transformations of ontogenesis	334
REFERENCES	338