



Что нового можно понять про эпигенетику, изучая полифенизм у насекомых

Т.Д. Колесникова

ИМКБ СО РАН



Что нового можно узнать о насекомых, изучая эпигенетику?

Т.Д. Колесникова

ИМКБ СО РАН

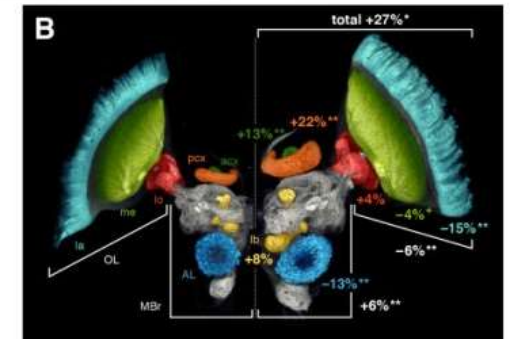
НГУ (курс «Эпигенетические механизмы регуляции экспрессии генов»)



Figure 1. *Biston betularia* caterpillars on birch (left) and willow (right).
doi:10.1371/journal.pone.0003142.g001

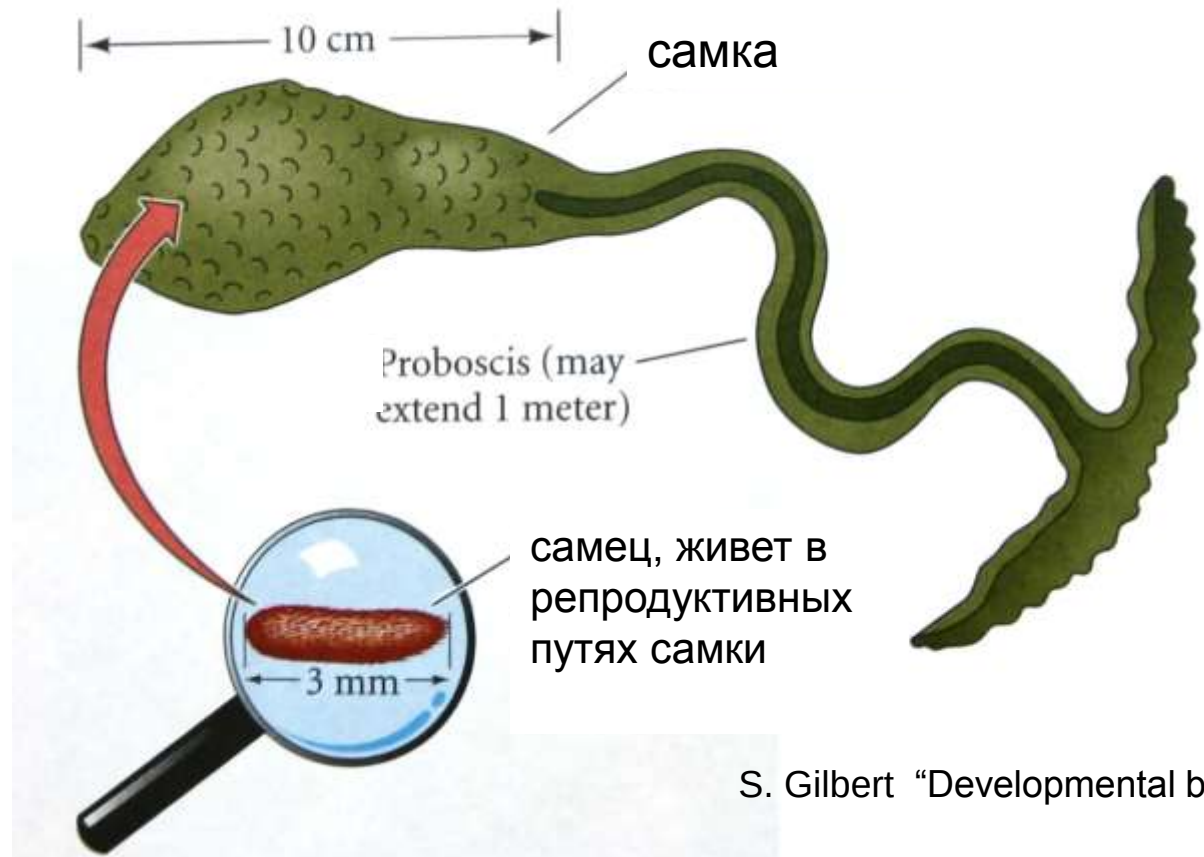
Полифенизм у насекомых

- Полифенизм насекомых как уникальная эпигенетическая модель
- Что нового можно узнать о полифенизме насекомых, используя методологию эпигенетики



Полифенизм - способность одного и того же генотипа обеспечивать развитие двух или более дискретных фенотипов, причем выбор пути развития зависит от внешних условий.

Определение пола у *Bonnellia*



S. Gilbert "Developmental biology"

Способность к полифенизму – одна из важнейших причин эволюционного успеха насекомых.

Метаморфоз – распределение функций между стадиями: личинка питается и растет, имаго размножается и расселяется

Сезонные морфы – набор фенотипов, наиболее оптимально приспособленных к условиям сезона



Acyrtosiphon pisum

solitarious

gregarious



Locusta migratoria



Дискретные фенотипы, позволяющие приспособиться к различным условиям по количеству и типу пищи

Дискретные фенотипы, связанные с различными поведенческими стратегиями

Onthogophagus nigriventris



*Reticulitermes
speratus*

Касты эусоциальных насекомых – разделение труда между морфами

Какие признаки чаще всего варьируют?



Simpson et al., Polyphenism in insects. Curr Biol. 2011

- **Различия по степени проявления морфологических признаков**
- Варьирование длины крыльев (в том числе их полное отсутствие)
- Различия по фертильности или репродуктивной стратегии
- Различия по окраске тела или крыльев

Какие признаки чаще всего варьируют?



Simpson et al., Polyphenism in insects.
Curr Biol. 2011

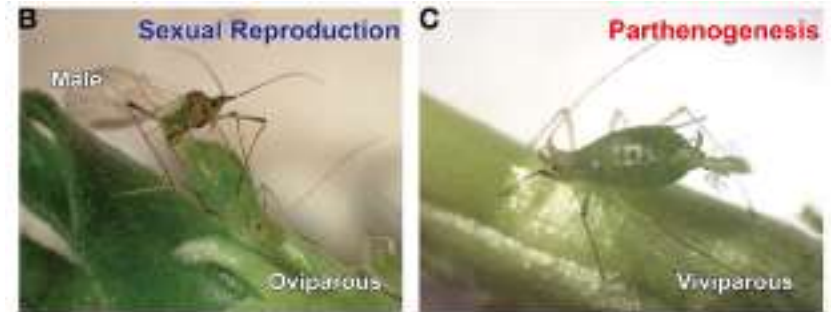


Xu et al., Nature. 2015 Mar 26;519(7544):464-7

- **Различия по степени проявления морфологических признаков**
- **Варьирование длины крыльев (в том числе их полное отсутствие)**
- **Различия по фертильности или репродуктивной стратегии**
- **Различия по окраске тела или крыльев**

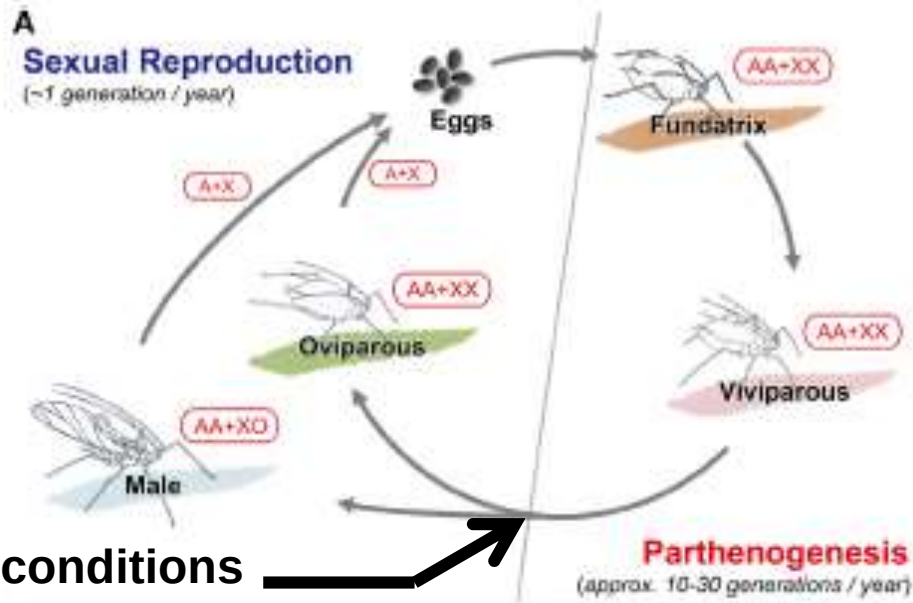


Simpson et al., Polyphenism in insects.
Curr Biol. 2011

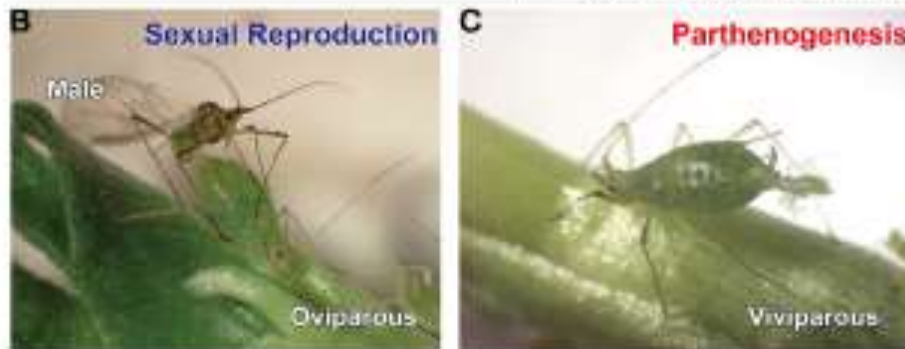


Ogawa, Miura, Aphid polyphenisms: trans-
generational developmental regulation through
viviparity
Front. Physiol., 24 January 2014

- Различия по степени проявления морфологических признаков
- Варьирование длины крыльев (в том числе их полное отсутствие)
- Различия по фертильности или репродуктивной стратегии
- Различия по окраске тела или крыльев



short-day conditions





Wet-season (left) and dry-season (right) *Precis octavia* (fam. Nymphalidae) butterflies



Harlequin bugs, *Murgantia histrionica* (fam. Pentatomidae). Black and yellow individuals were reared at 22 and 30°C, respectively.

[Whitman, Agrawal](#). 2009. What is Phenotypic Plasticity and Why is it Important?

- Различия по степени проявления морфологических признаков
- Варьирование длины крыльев (в том числе их полное отсутствие)
- Различия по фертильности или репродуктивной стратегии
- Различия по окраске тела или крыльев

11 Endocrine Control of Insect Polyphenism

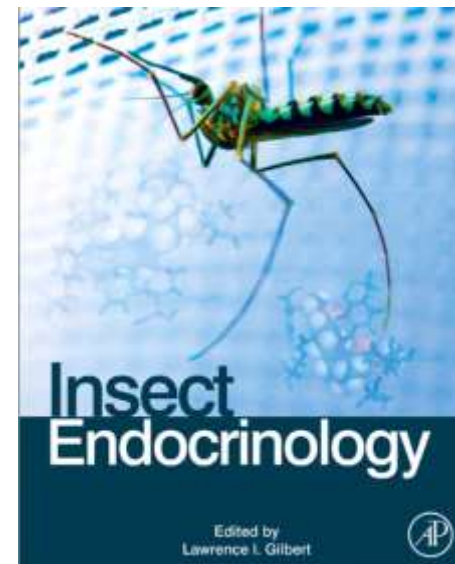
K. Hartfelder

Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto,
São Paulo, Brazil

D.J. Emlen

University of Montana, Missoula, MT, USA

© 2012 Elsevier B.V. All Rights Reserved



- Варьирование длины крыльев (в том числе их полное отсутствие)
- Различия по фертильности или репродуктивной стратегии
- Различия по окраске тела или крыльев
- Различия по степени проявления морфологических признаков

Выбор фенотипа определяется внешними условиями
Главные участники управления выбором направления развития – гормоны

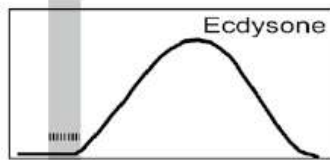
juvenile hormone
ecdysteroids
insulin-signaling pathway

Множество видов бабочек имеют сезонные морфы, различающиеся по цвету (темная-светлая окраска) и рисунку на крыльях

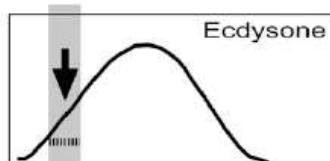
В основе вариаций лежит чувствительность к температуре и фотопериоду на стадии личинки

Junonia (Precis) coenia

(a) Short days, Cool temperatures

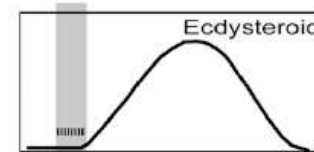


(b) Long days, Warm temperatures

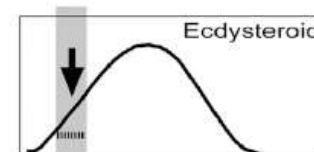


Bicyclus anynana

(a) Dry Season, Cool temperatures



(b) Wet Season, Warm temperatures



Генетически детерминированные дискретные фенотипы или дискретные условия?

Сезонная изменчивость окраски крыльев у *Araschnia levana*

Пестрокрыльница изменчивая



Весеннее поколение



Летнее поколение

Дискретность фенотипов может быть связана с развитием в дискретных условиях

Фенотипическая пластичность у пестрокрыльницы изменчивой *Araschnia levana*. При создании промежуточных условий или при помощи инъекций экдизона можно получить промежуточные фенотипы.



Development and evolution of adaptive polyphenisms

H. Frederik Nijhout

Department of Biology, Duke University, Durham, NC 27708, USA

Correspondence (e-mail: hfn@duke.edu)

EVOLUTION & DEVELOPMENT 2003

Development and evolution of adaptive polyphenisms

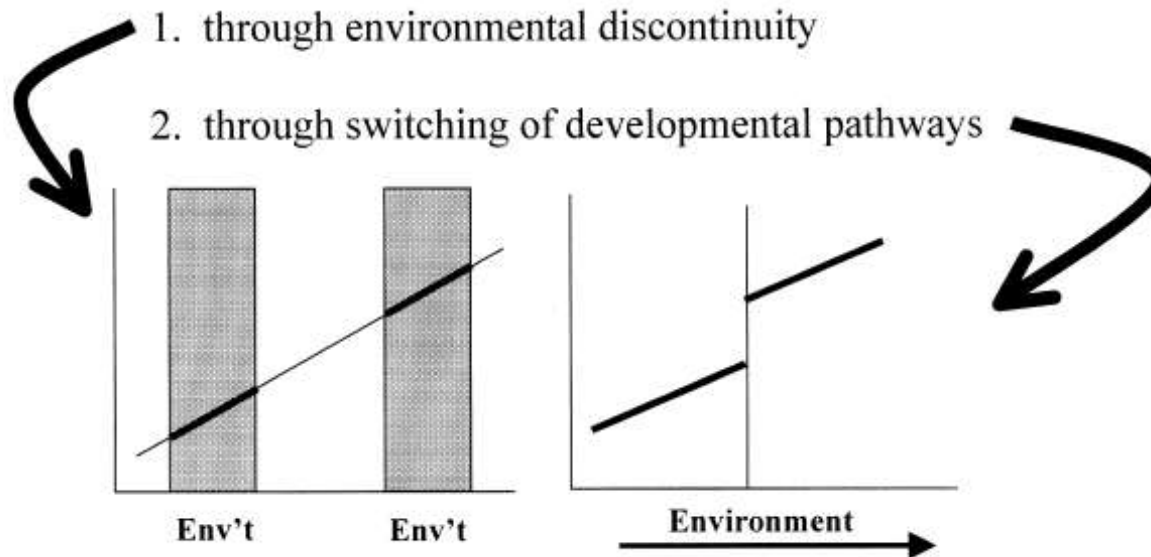
H. Frederik Nijhout

Department of Biology, Duke University, Durham, NC 27708, USA

Correspondence (e-mail: hfn@duke.edu)

EVOLUTION & DEVELOPMENT 2003

Polyphenisms come about in two very different ways:



Полифенизм – частный случай фенотипической пластичности

Другие факторы, определяющие выбор фенотипа

A Reversible Color Polyphenism in American Peppered Moth (*Biston betularia cognataria*) Caterpillars

Mohamed A. F. Noor^{1*}, Robin S. Parnell, Bruce S. Grant

Biology Department, College of William & Mary in Virginia, Williamsburg, Virginia, United States of America

Abstract

Insect body color polyphenisms enhance survival by producing crypsis in diverse backgrounds. While color polyphenisms are often indirectly induced by temperature, rearing density, or diet, insects can benefit from immediate crypsis if they evolve polyphenisms directly induced by exposure to the background color, hence immediately deriving protection from predation. Here, we examine such a directly induced color polyphenism in caterpillars of the geometrid peppered moth (*Biston betularia*). This larval color polyphenism is unrelated to the genetic polymorphism for melanic phenotypes in adult moths. *B. betularia* caterpillars are generalist feeders and develop body colors that closely match the brown or green twigs of their host plant. We expand on previous studies examining the proximal cues that stimulate color development. Under controlled rearing conditions, we manipulated diets and background reflectance, using both natural and artificial twigs, and show that visual experience has a much stronger effect than does diet in promoting precise color matching. Their induced body color was not a simple response to reflectance or light intensity but instead specifically matched the wavelength of light to which they were exposed. We also show that the potential to change color is retained until the final (sixth) larval instar. Given their broad host range, this directly induced color polyphenism likely provides the caterpillars with strong protection from bird predation.



Figure 1. *Biston betularia* caterpillars on birch (left) and willow (right).
doi:10.1371/journal.pone.0003142.g001

visual experience has a much stronger effect than does diet in promoting precise color matching

specifically matched the wavelength of light to which they were exposed.

the potential to change color is retained until the final (sixth) larval instar.

Выбор фенотипа определяется типом пищи

Две морфы у *Nemoria arizonaria*



Весенняя морфа

развивается по умолчанию



Летняя морфа

таннин в
листьях?

Science

AAAS

A Diet-Induced Developmental Polymorphism in a Caterpillar

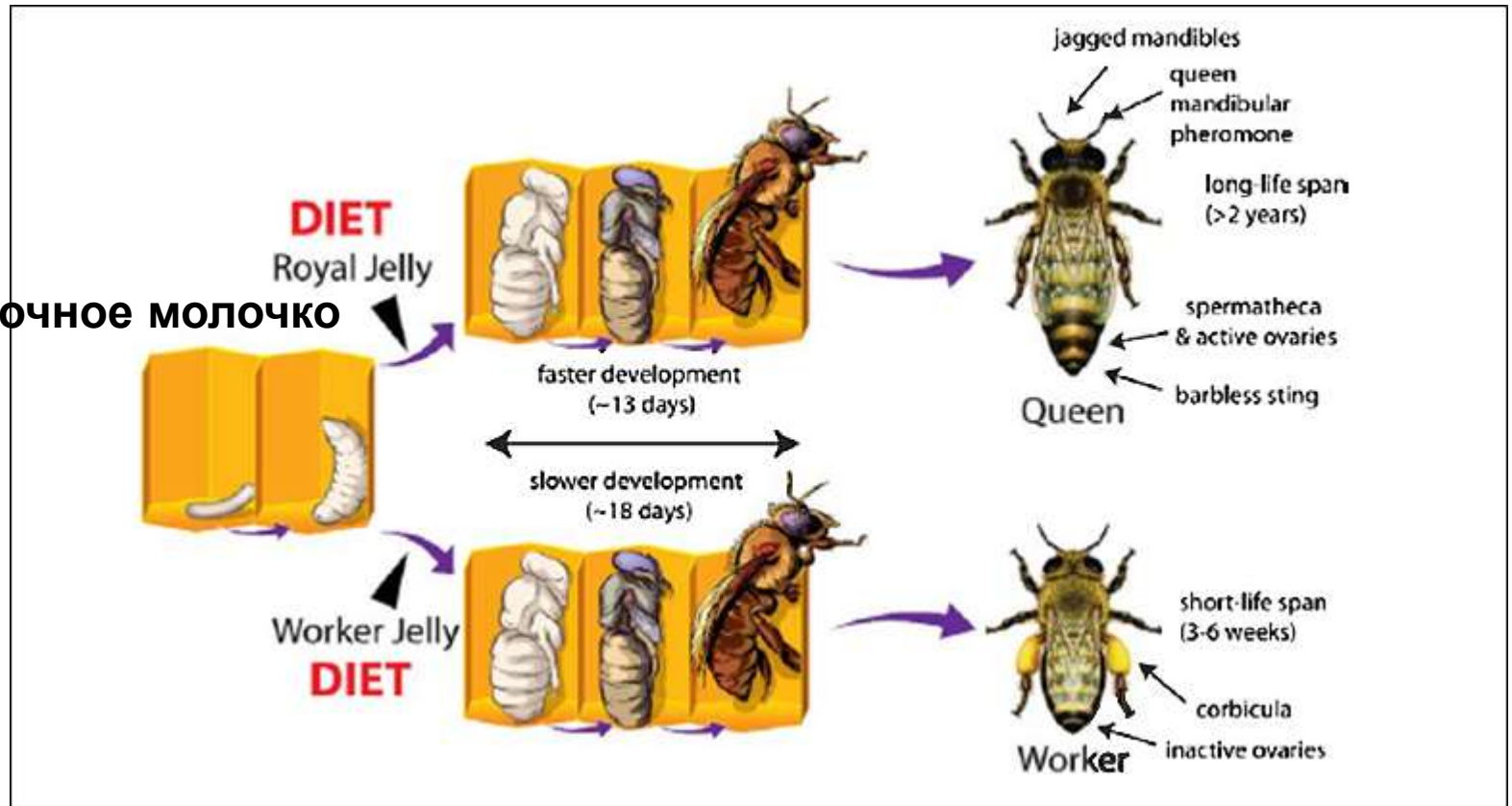
Author(s): Erick Greene

Source: *Science*, New Series, Vol. 243, No. 4891 (Feb. 3, 1989), pp. 643-646

S. Gilbert “Developmental biology”

Медоносная пчела

Маточное молочко



Nutrients **2015**, *7*, 1787–1797; doi:10.3390/nu7031787

OPEN ACCESS

nutrients

ISSN 2072-6643

www.mdpi.com/journal/nutrients

Review

What Do Studies of Insect Polyphenisms Tell Us about Nutritionally-Triggered Epigenomic Changes and Their Consequences?

Andrew G. Cridge [†], Megan P. Leask [†], Elizabeth J. Duncan [†] and Peter K. Dearden ^{*}

Plant microRNAs in larval food regulate honeybee caste development

Kegan Zhu , Minghui Liu , Zheng Fu , Zhen Zhou, Yan Kong, Hongwei Liang, Zheguang Lin, Jun Luo, Huoqing Zheng, Ping Wan, Junfeng Zhang, Ke Zen, Jiong Chen , [...], Xi Chen  [[view all](#)]

Published: August 31, 2017 • <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006946>

28
Save

0
Citation

11,223
View

80
Share

Article

Authors

Metrics

Comments

Related Content



Download PDF

Print

Share

Abstract

Author summary

Introduction

Results

Discussion

Materials and methods

Supporting information

References

Reader Comments (1)

Media Coverage (2)

Figures

Abstract

The major environmental determinants of honeybee caste development come from larval nutrients: royal jelly stimulates the differentiation of larvae into queens, whereas bee bread leads to worker bee fate. However, these determinants are not fully characterized. Here we report that plant RNAs, particularly miRNAs, which are more enriched in bee bread than in royal jelly, delay development and decrease body and ovary size in honeybees, thereby preventing larval differentiation into queens and inducing development into worker bees. Mechanistic studies reveal that *amTOR*, a stimulatory gene in caste differentiation, is the direct target of miR162a. Interestingly, the same effect also exists in non-social *Drosophila*. When such plant RNAs and miRNAs are fed to *Drosophila* larvae, they cause extended developmental times and reductions in body weight and length, ovary size and fecundity. This study identifies an uncharacterized function of plant miRNAs that fine-tunes honeybee caste development, offering hints for understanding cross-kingdom interaction and co-evolution.

 Check for updates

ADVERTISEMENT

 PLOS

Submit
Your
Plant
Science
Research

**Выбор фенотипа определяется
количеством пищи**

Nutrition strongly influences insect body size

Инсулиновый каскад — древняя сигнальная система, которая у многих животных, включая насекомых и млекопитающих, отвечает за адаптацию организма к колебаниям количества доступной пищи.

insulin/insulin-like growth factor (IIS) каскад
Target of Rapamycin (TOR) signaling каскад

IIS/TOR каскад влияют на размеры и форму тела, регулируя продукцию гормонов (ecdysone, juvenile hormone) и непосредственно управляя ростом и делением клеток.



IIS/TOR каскад может влиять на рост и развитие разных органов непропорционально

Onthophagus taurus

Размер крыльев пропорционален размеру тела

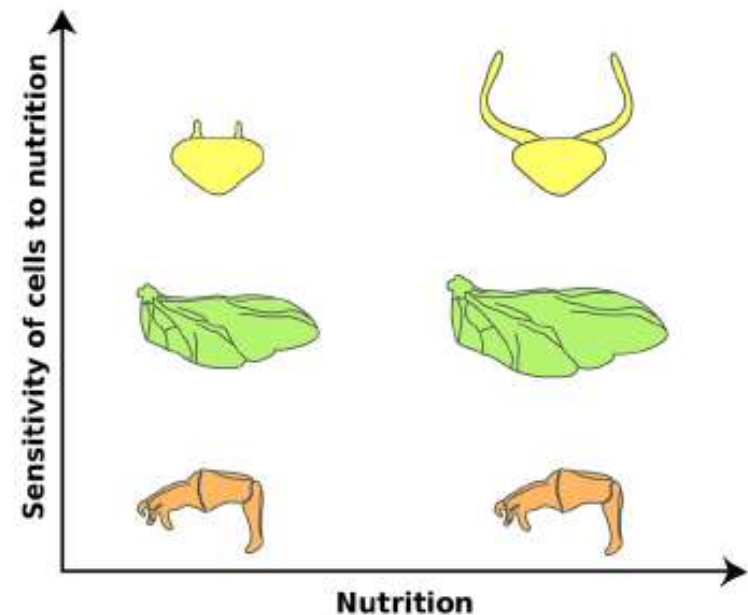
Размер гениталий почти не зависит от размера тела (достигается постоянным поддержанием высокого уровня активности IIS/TOR каскада независимо от внешних условий)

Крупные самцы имеют непропорционально большие рога (достигается повышенной чувствительностью зачатков органа к компонентам IIS/TOR каскада, пороговым эффектом)



Hartfelder, Emlen 2012

Onthophagus taurus



Пороговый эффект – дискретность фенотипов

frontiers in
PHYSIOLOGY

REVIEW ARTICLE
published: 26 September 2013
doi: 10.3389/fphys.2013.00263



Mechanisms regulating nutrition-dependent developmental plasticity through organ-specific effects in insects

Takashi Koyama, Claudia C. Mendes and Christen K. Mirth *

Development, Evolution and the Environment Laboratory, Instituto Gulbenkian de Ciência, Oeiras, Portugal

Длина крыльев у рисовой цикадки регулируется инсулиновым сигнальным каскадом



Короткокрылая и длиннокрылая мигрирующая формы бурой рисовой цикадки *Nilaparvata lugens*.

на вероятность развития длиннокрылых и короткокрылых форм влияет плотность популяции и качество пищи.

[Two insulin receptors determine alternative wing morphs in planthoppers.](#)

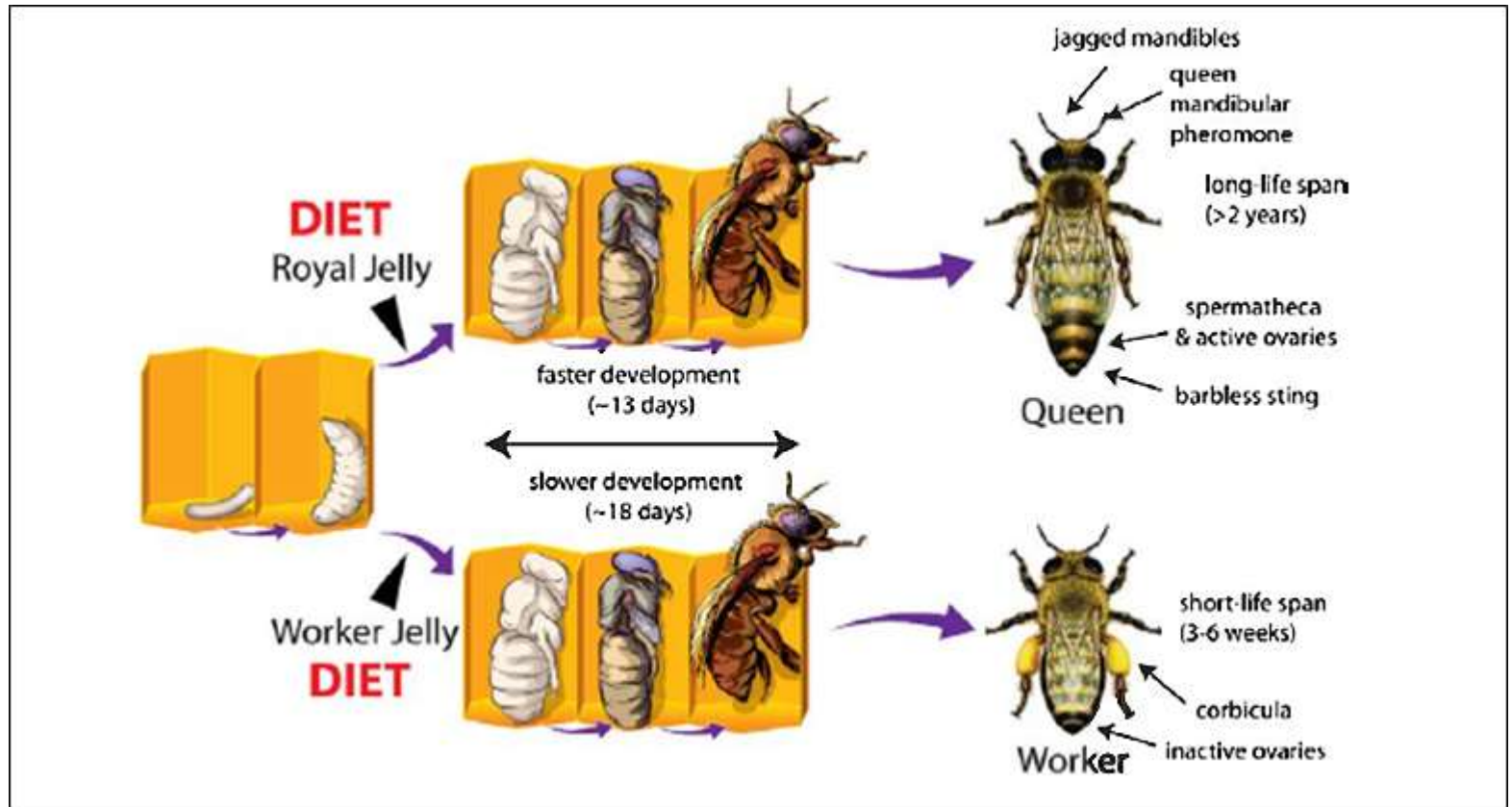
Xu et al., Nature. 2015 Mar 26;519(7544):464-7

[Insulin receptors and wing dimorphism in rice planthoppers.](#)

Xu HJ, Zhang CX. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2017 Feb 5;372(1713). pii: 20150489. Review.

http://elementy.ru/novosti_nauki/432441/Novoe_primenenie_dlya_drevney_regulyatornoy_sistemy_dlina_krylev_u_risovoy_tsikadki_reguliruetsya_insulinovym_signalnym_kaskadom

Медоносная пчела



Nutrients 2015, 7, 1787-1797; doi:10.3390/nu7031787

OPEN ACCESS

nutrients

ISSN 2072-6643

www.mdpi.com/journal/nutrients

Review

What Do Studies of Insect Polyphenisms Tell Us about Nutritionally-Triggered Epigenomic Changes and Their Consequences?

Andrew G. Cridge [†], Megan P. Leask [†], Elizabeth J. Duncan [†] and Peter K. Dearden ^{*}

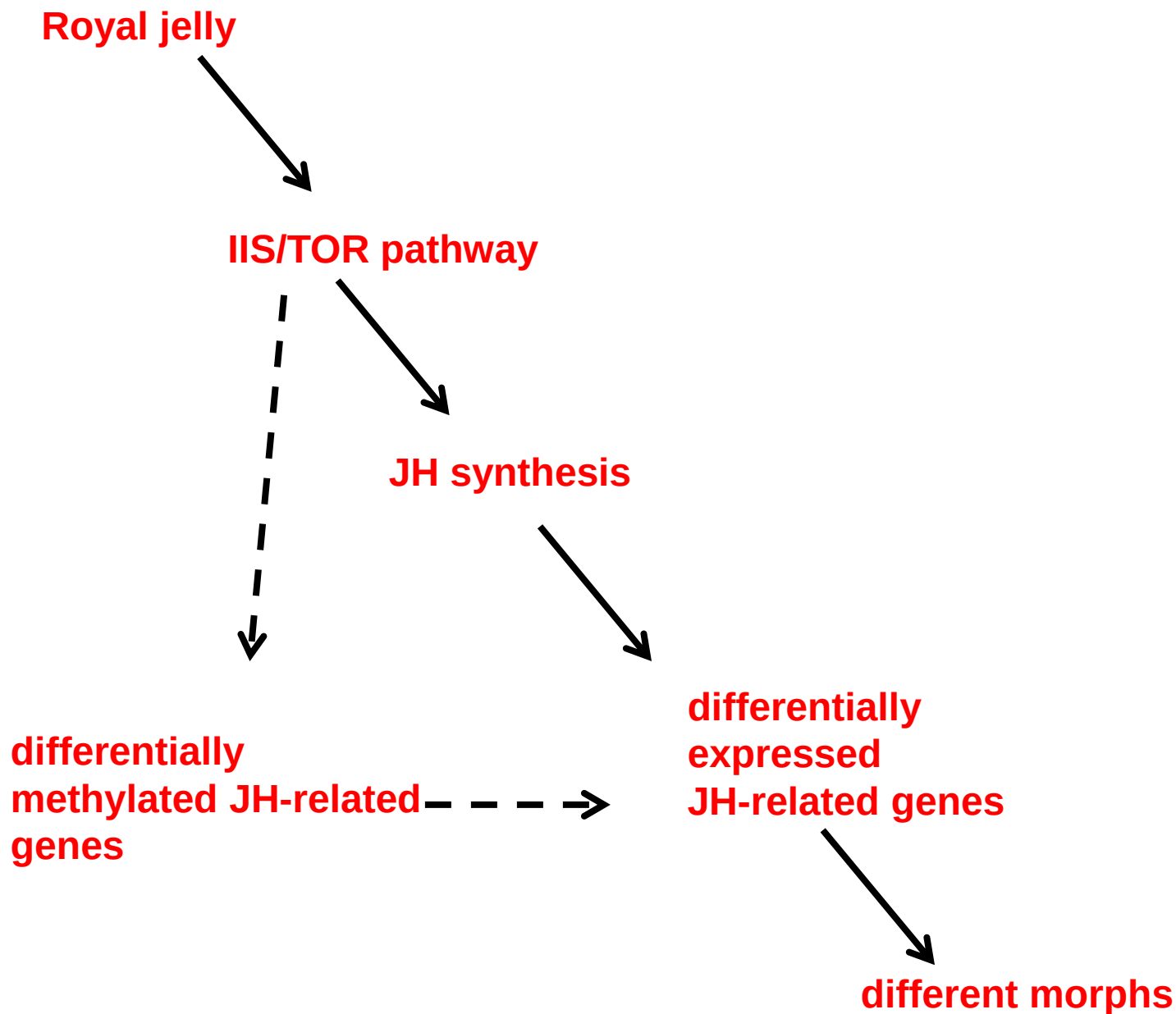
Маточное молочко



Ювенильный гормон

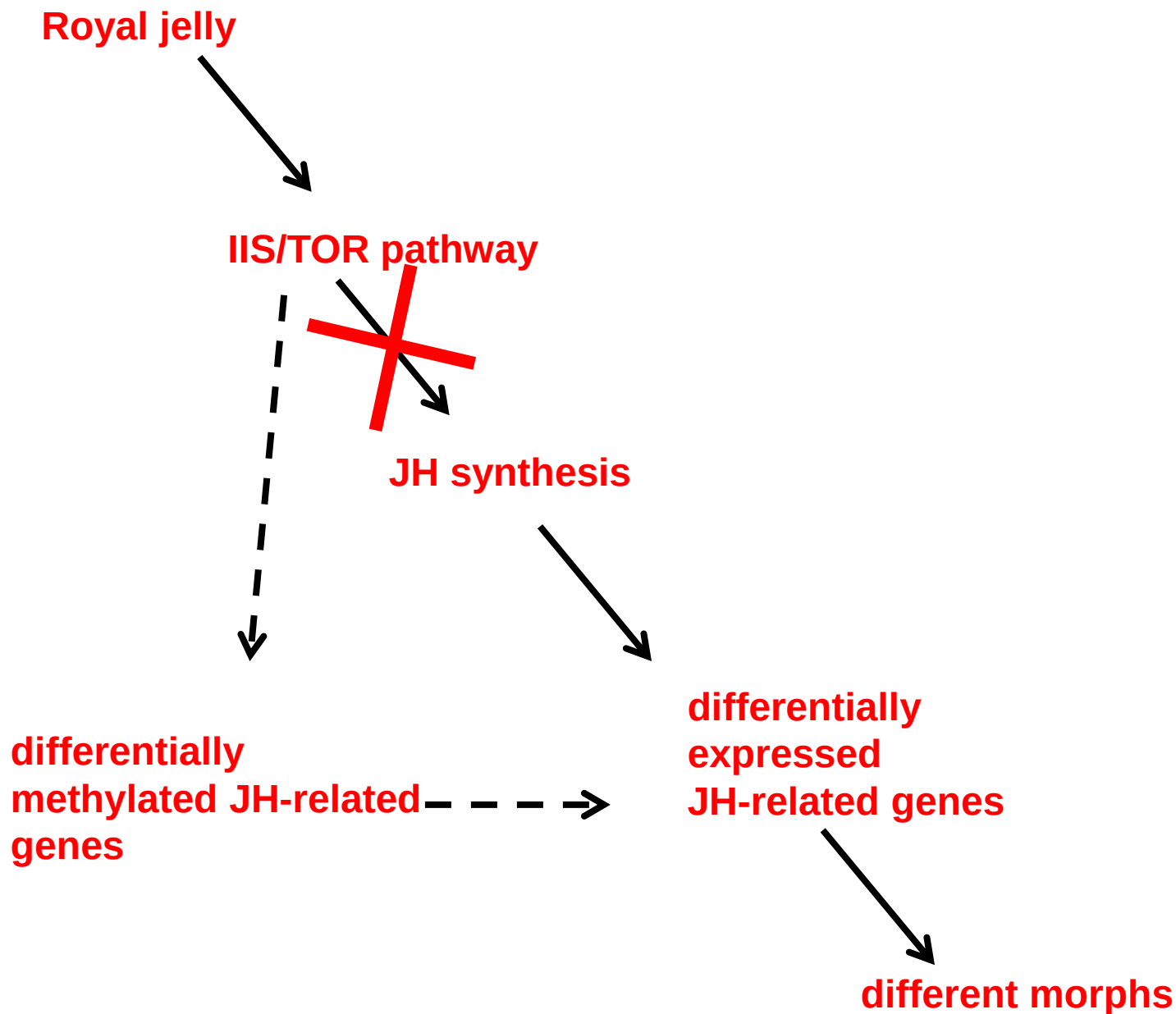


Инсулиновый каскад



[Front Physiol.](#) 2013; 4: 263.

Mechanisms regulating nutrition-dependent developmental plasticity through organ-specific effects in insects

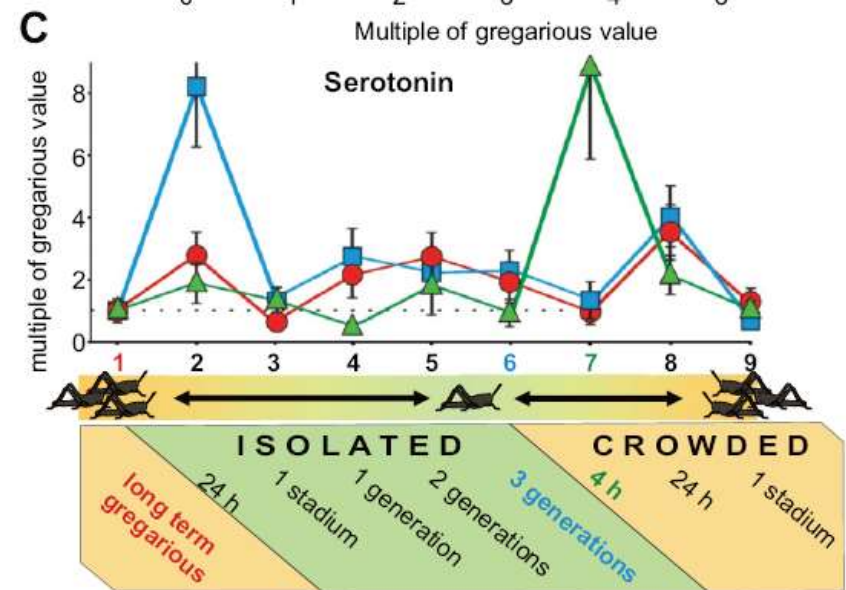
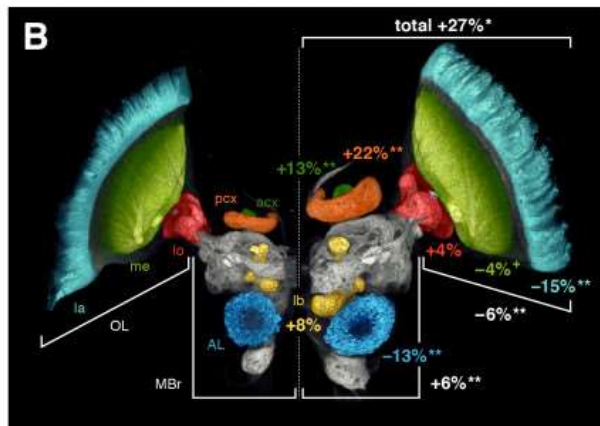
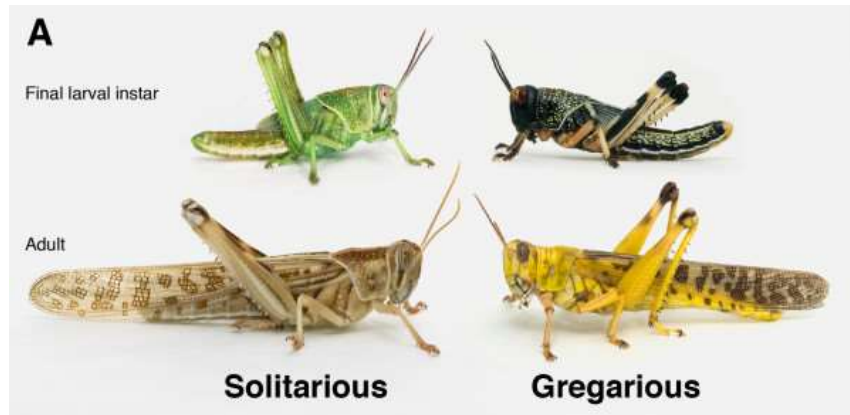


Фазовая изменчивость у саранчи

Впервые на это явление у саранчовых, в частности у азиатской саранчи, обратил внимание в 1911 г. Б.П. Уваров.

migratory locust (*Locusta migratoria*)
desert locust (*Schistocerca gregaria*)

Выбор фенотипа определяется плотностью скопления особей

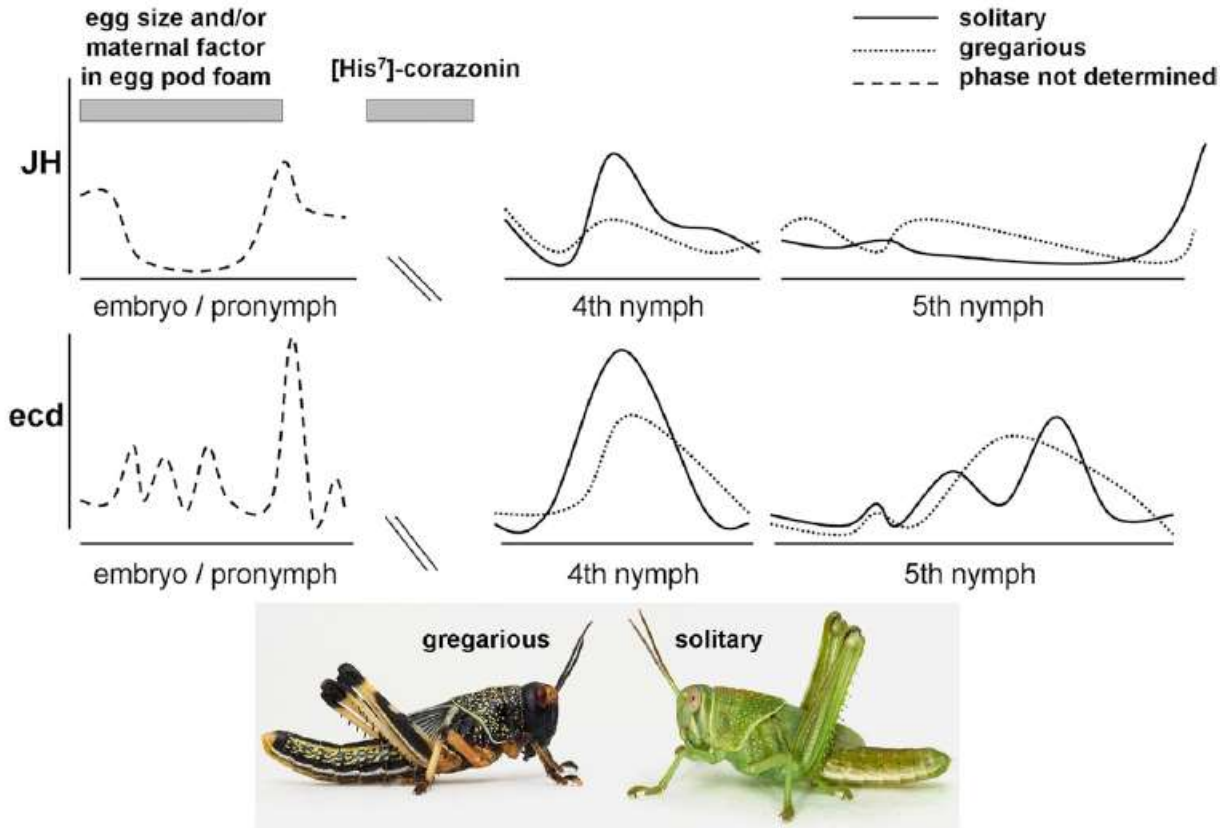


Переход от одной фазы к другой можно запустить:

- Тактильными контактами
- Визуальными стимулами
- Химическими веществами (гормоны, alkylated L-DOPA analogue from egg foam, ...)

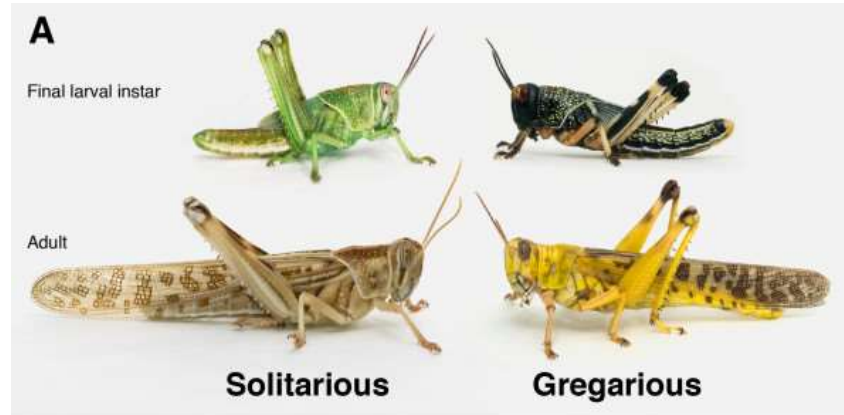
Burrows et al., Epigenetic remodelling of brain, body and behaviour during phase change in locusts. Neural Syst Circuits. 2011 Jul 26;1(1):11.

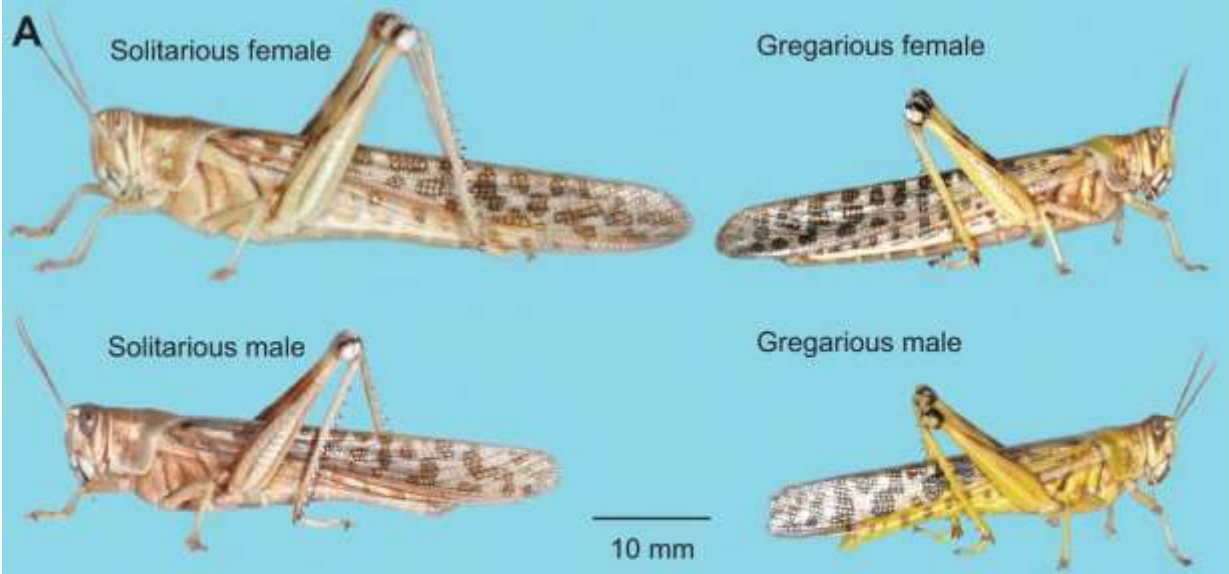
Juvenile hormone and ecdysteroid titers during embryonic and post-embryonic development of solitary and gregarious morphs of migratory locusts (*Locusta migratoria* and *Schistocerca gregaria*).



S. gregaria

desert locust (*Schistocerca gregaria*)



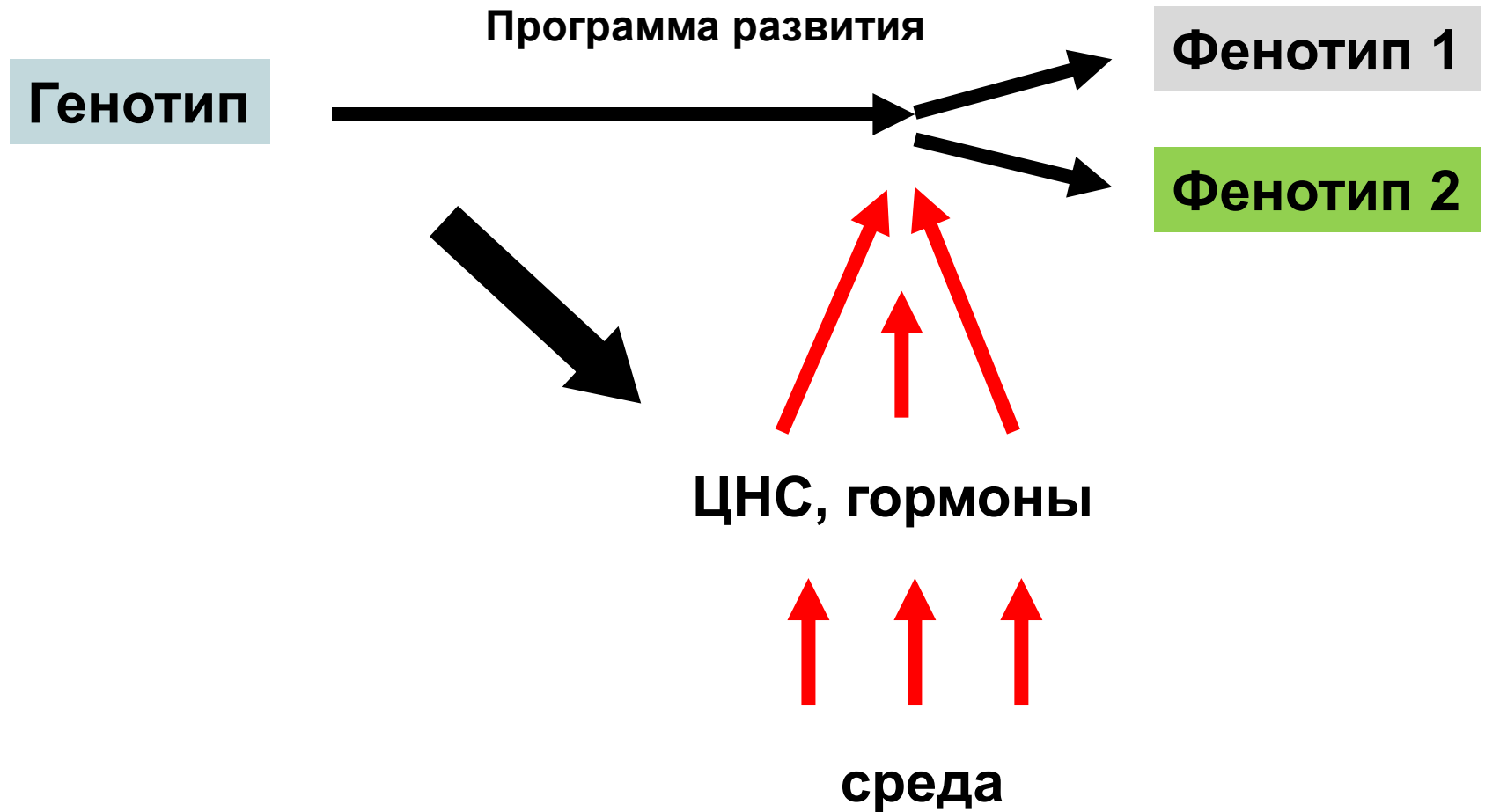


RESEARCH ARTICLE

Increased muscular volume and cuticular specialisations enhance jump velocity in solitary compared with gregarious desert locusts, *Schistocerca gregaria*

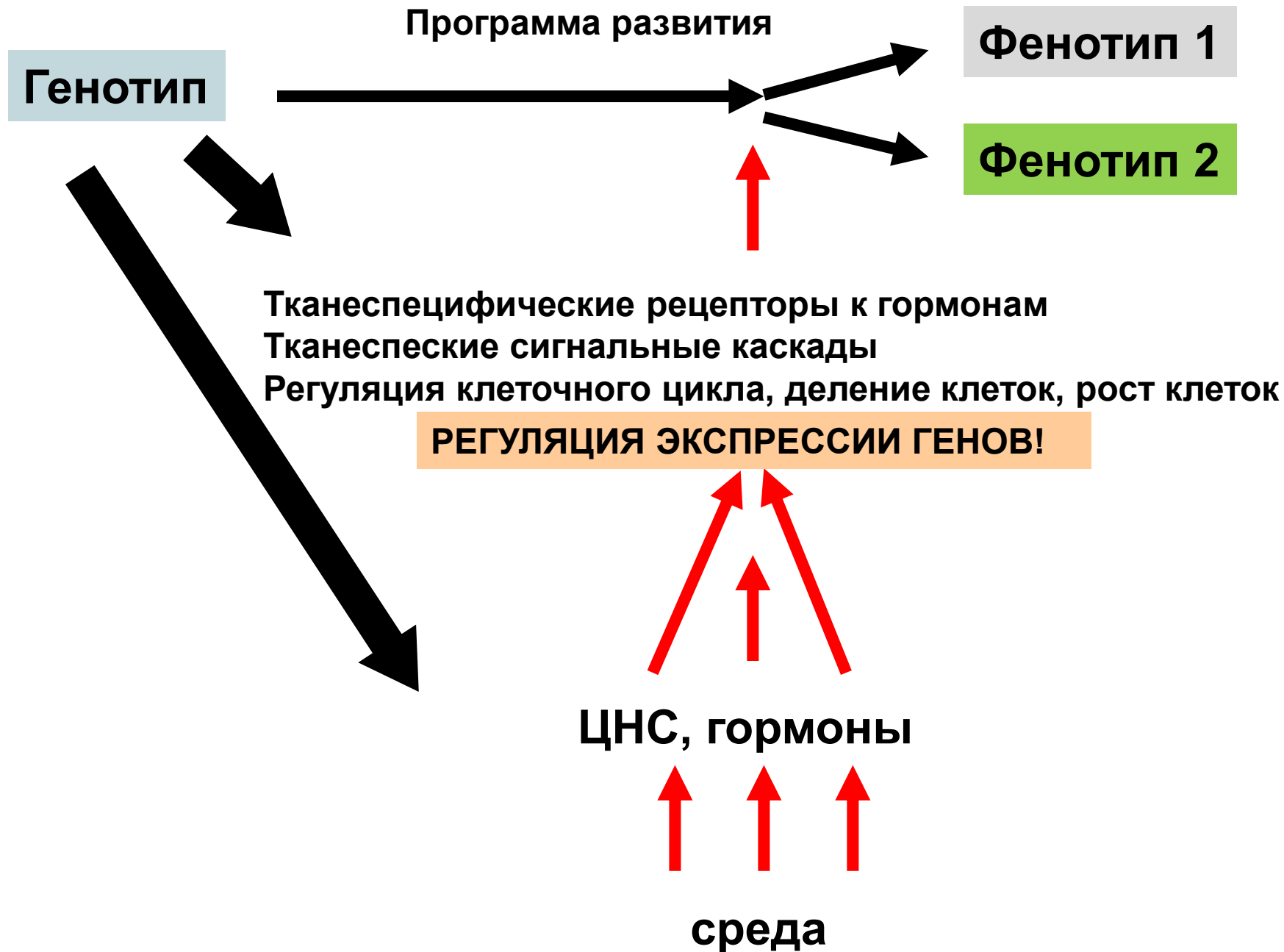
Stephen M. Rogers, Joanna Riley, Caroline Brighton, Gregory P. Sutton, Damon A. Cullen, Malcolm Burrows
Journal of Experimental Biology 2018 219: 850–848. doi: 10.1242/jeb.134448





Гормоны – кратковременно действующие факторы!

Как кратковременно действующие факторы приводят к формированию стабильных дискретных фенотипов?



И тут на сцену выходит эпигенетика!

Что такое ЭПИГЕНЕТИКА?

В более общем смысле предметом эпигенетики являются явления, связанные с развитием различных фенотипов клеток или организмов на основе одного генотипа

В более узком смысле эпигенетика - раздел генетики, который изучает наследуемые изменения активности генов во время развития организма или деления клеток.

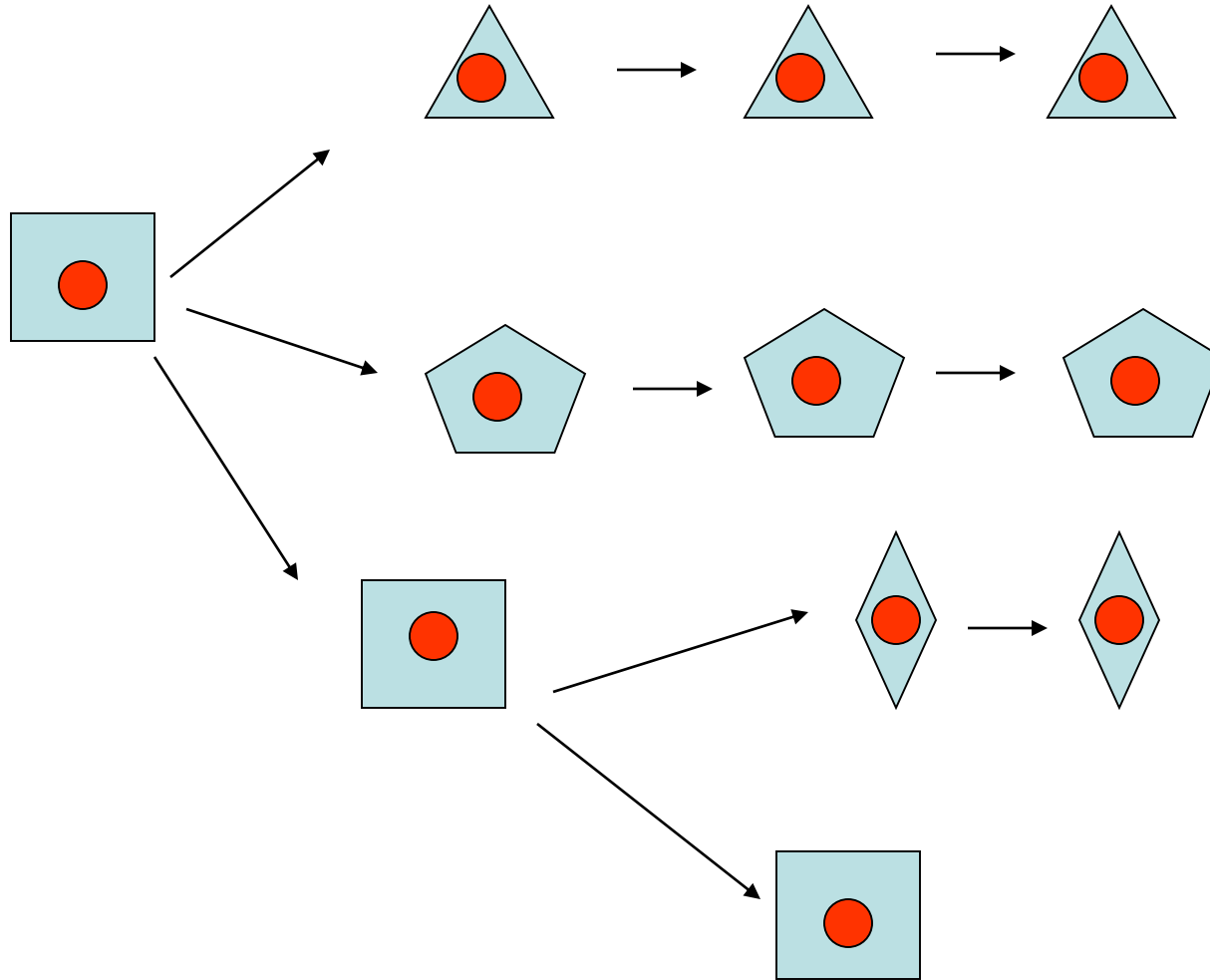
Эпигенетическое наследование – наследование паттерна экспрессии генов

(архитектуры ядра, центромеры, времени репликации...)

Множество явлений, объединяемых по сходству молекулярных механизмов

Одинаковый генотип – разные клеточные фенотипы

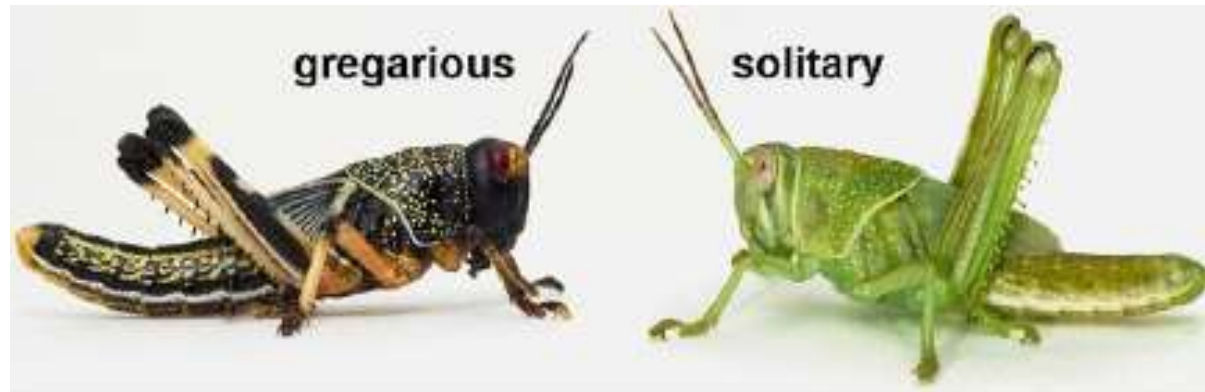
Клеточный фенотип может эпигенетически наследоваться

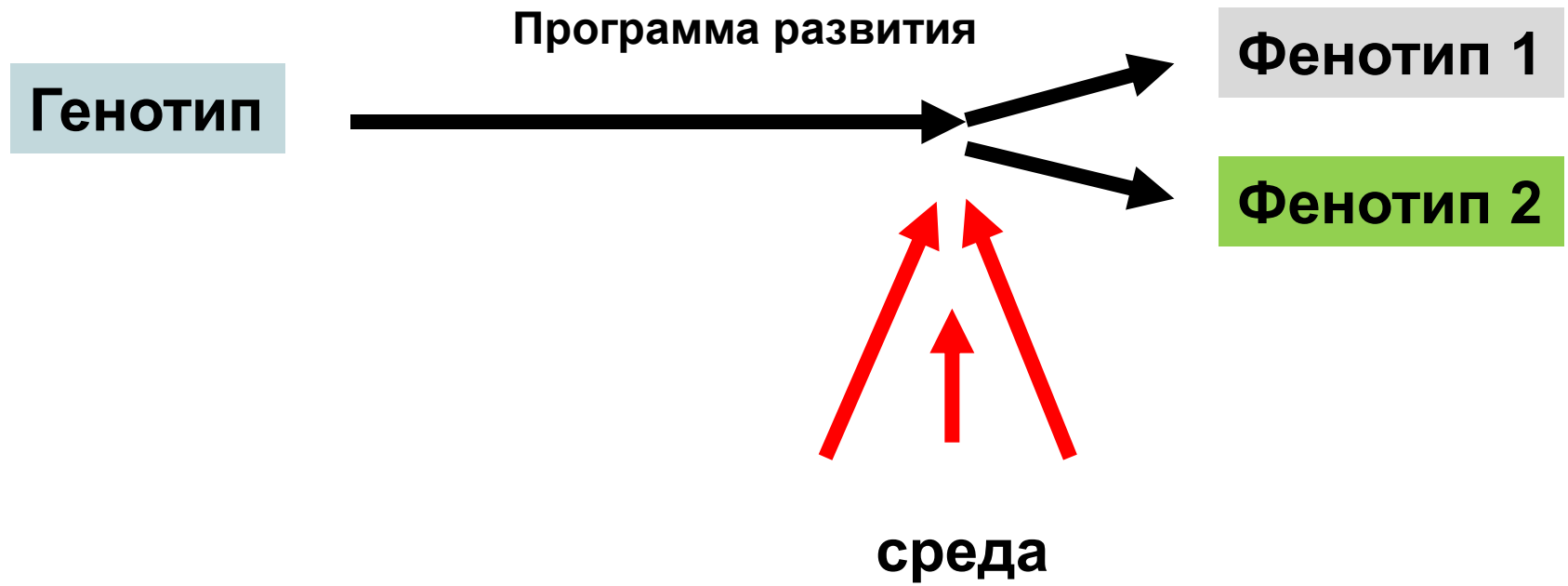


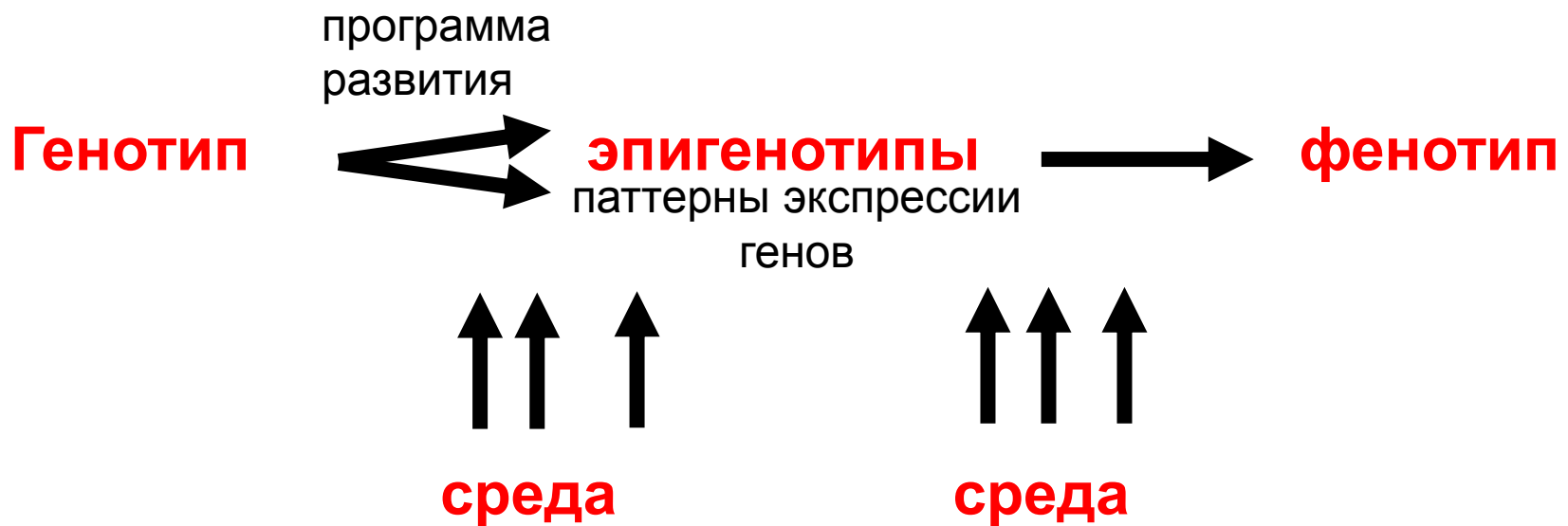
Одинаковый генотип – разные фенотипы

Наследование фенотипа через поколение на уровне организма

Schistocerca gregaria

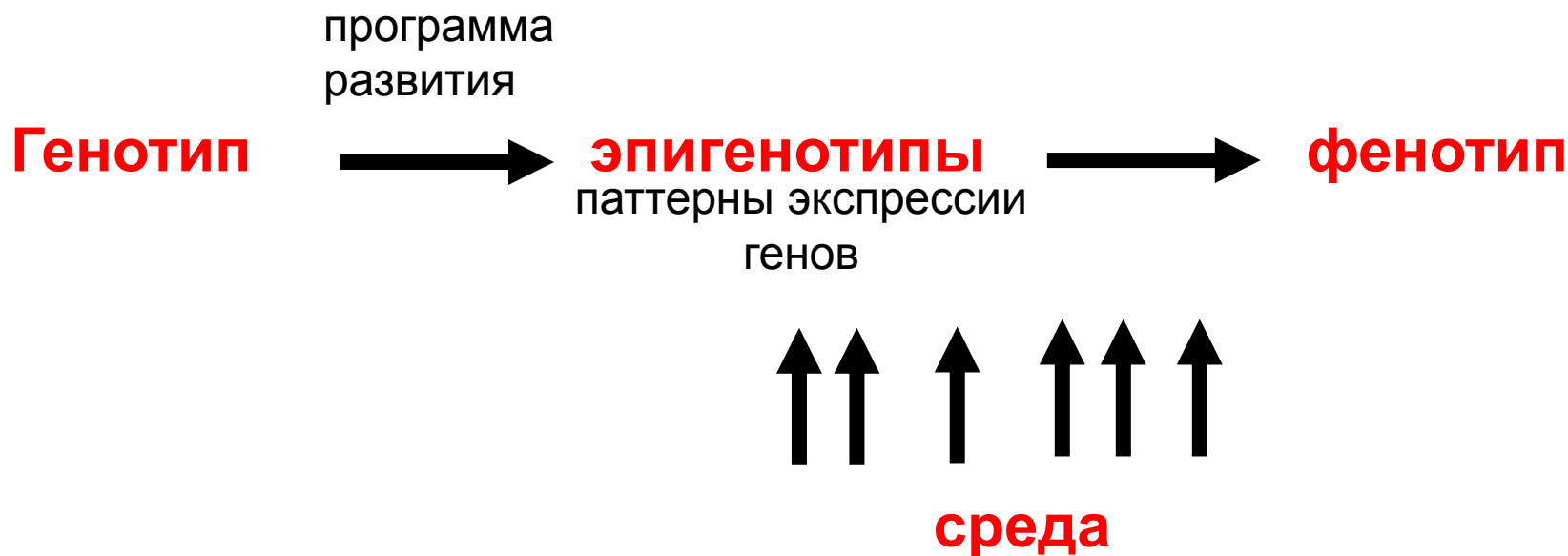






«Память» на разных уровнях

- Клеточный уровень** наследование состояния дифференцировки
- Организменный уровень** наследование особенностей метаболизма, память
- Трансгенерационное наследование



«Память» на разных уровнях

Клеточный уровень

Внутриклеточный уровень

Организменный уровень

Трансгенерационное наследование

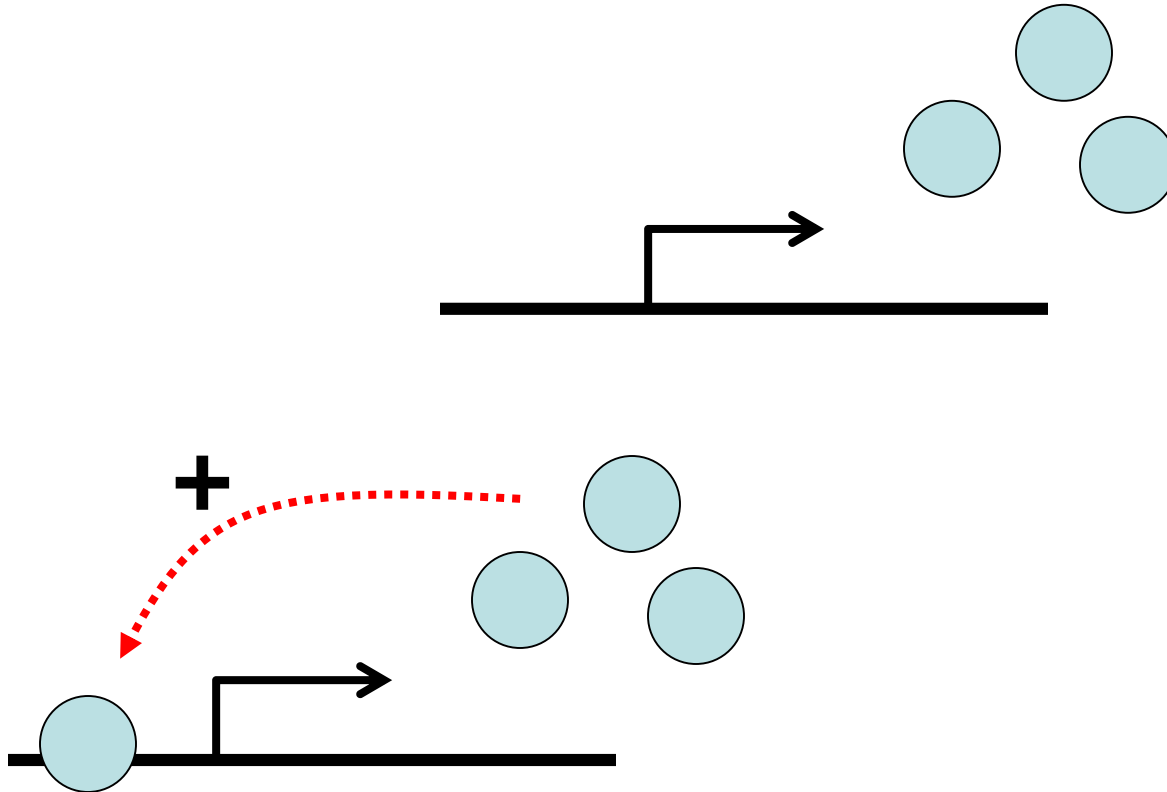
Эпигенетические
механизмы регуляции
экспрессии генов!

Как записана информация о дифференциальной экспрессии генов?

Как записана информация о дифференциальной экспрессии генов?

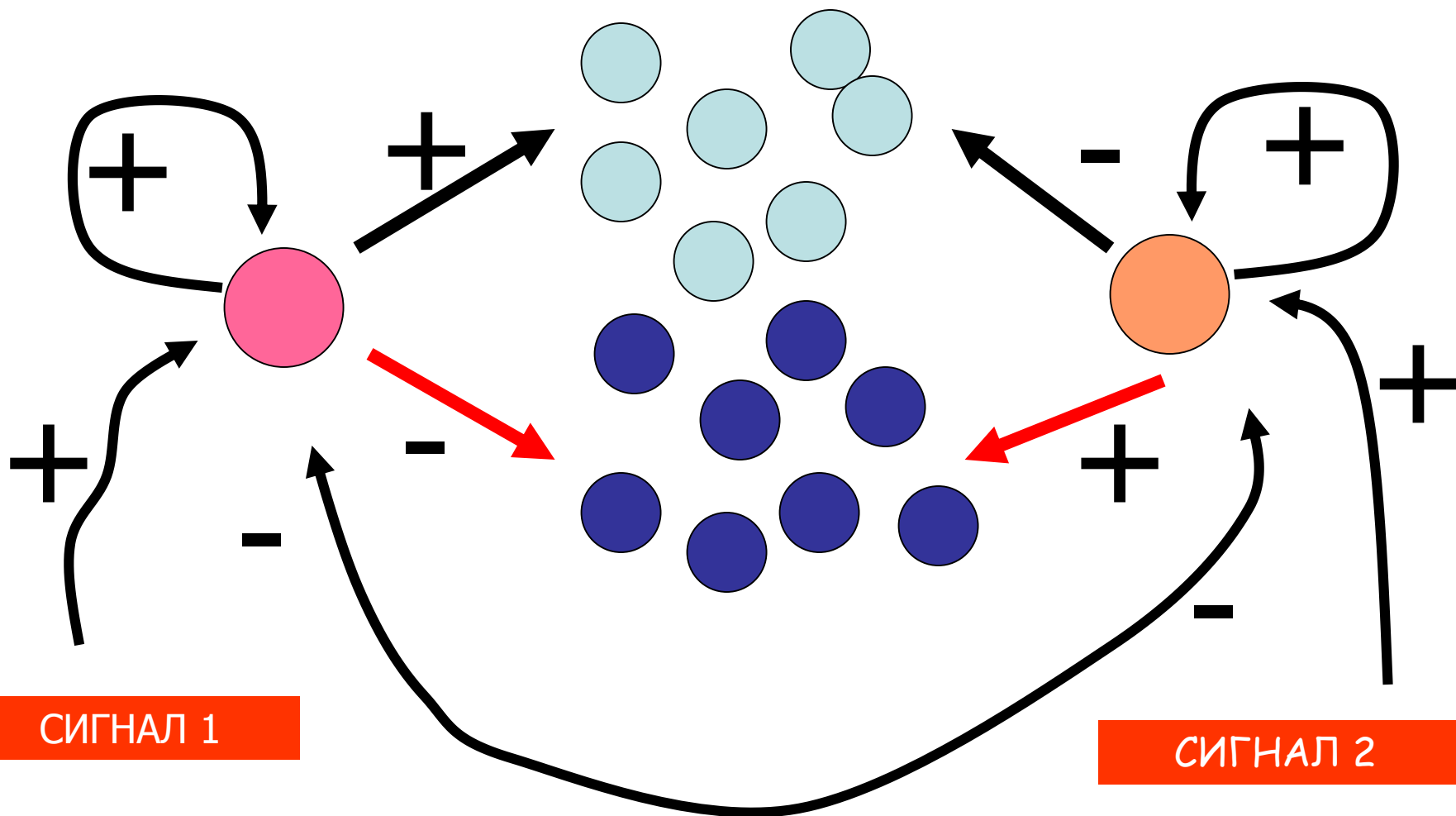
- -В ДНК закодированы белки – регуляторы, узнающие метки, записанные в последовательности ДНК, модификациях структуры хроматина
- - Метки в последовательности ДНК для узнавания специфическими факторами транскрипции и др. белками, метки для позиционирования нуклеосом

Петля положительной обратной связи позволяет поддерживать ген в активном состоянии



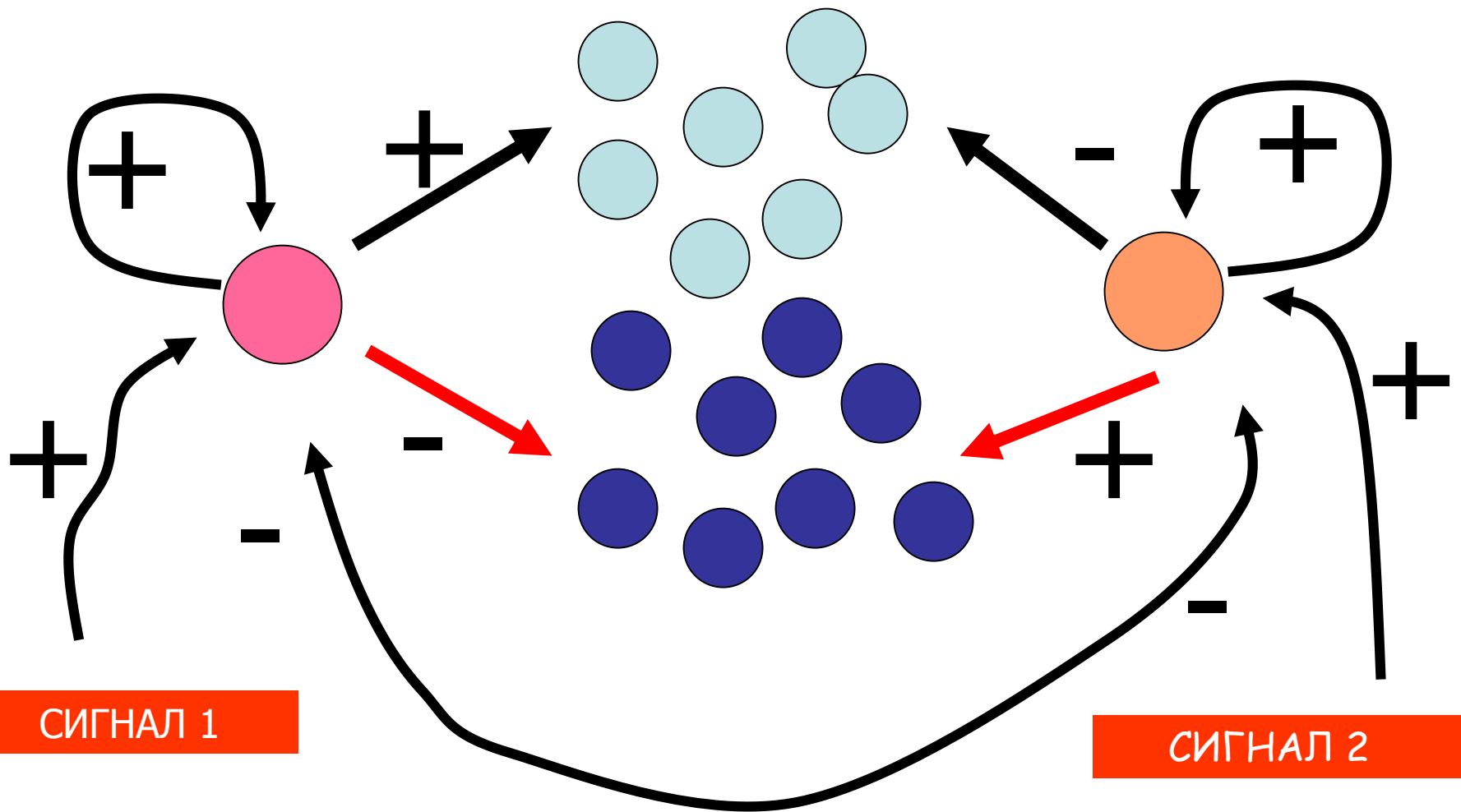
Положительная обратная связь

Генные сети. Контуры + и – обратных связей



Два дискретных устойчивых состояния системы!

Генные сети. Контуры + и – обратных связей



Сигнал внутренний
Сигнал внешний!

Как записана информация о дифференциальной экспрессии генов?

У эукариот уровень экспрессии гена в значительной степени определяется состоянием хроматина.

Состояние хроматина может наследоваться в клеточных поколениях

Компоненты хроматина, участвующие в регуляции экспрессии генов

(которые принято связывать с эпигенетикой)

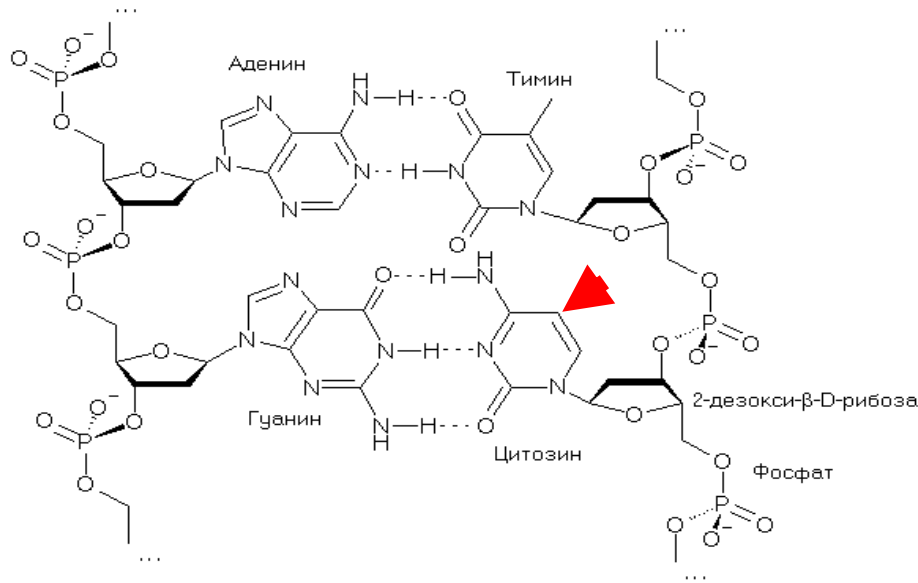
- Метилирование ДНК
- Ковалентные модификации гистонов
- Варианты гистонов

МОГУТ НАСЛЕДОВАТЬСЯ ПРИ РЕПЛИКАЦИИ ДНК И МИТОЗЕ!

- -Некодирующие РНК

Малые некодирующие РНК (siRNA, miRNA, piRNA)
Длинные некодирующие РНК (lncDNA)

Метилирование ДНК



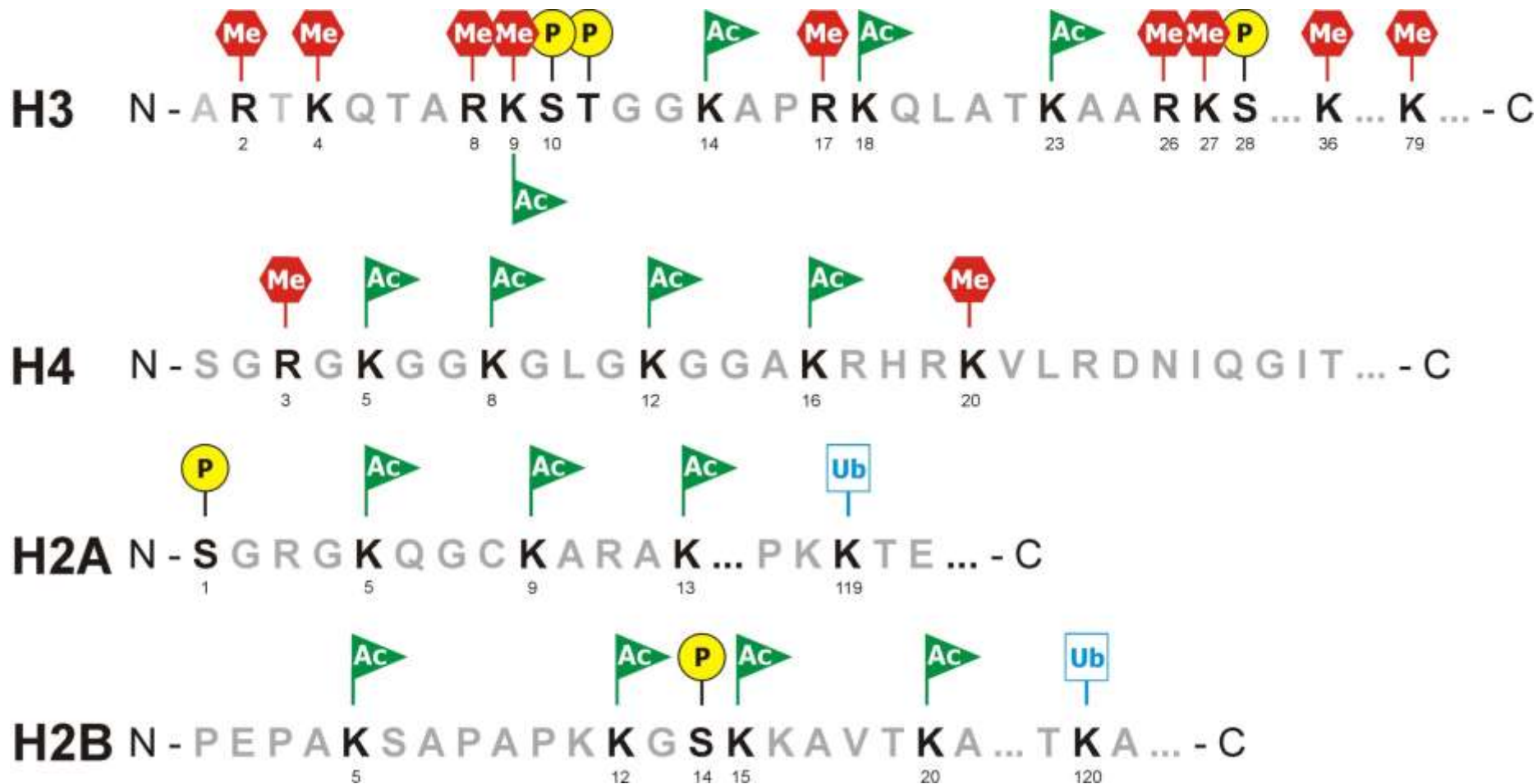
- Управление экспрессией генов
- Управление альтернативным сплайсингом
- Может частично передаваться в следующие поколения
- Может использоваться для направленного программирования молчащего состояния генов в следующее поколение (геномный импринтинг)
- Консервативная система, но множество вариаций

D. melanogaster – DNMT1 и DNMT3 отсутствуют

Шелкопряд, хрущ *Tribolium castaneum* DNMT3 отсутствует

У эусоциальных насекомых и у саранчи присутствует обе ДНК-метилтрансферазы

Пост-трансляционные модификации гистонов



Компоненты хроматина, участвующие в регуляции экспрессии генов

(которые принято связывать с эпигенетикой)

● Метилирование ДНК

● Варианты гистонов

● Ковалентные модификации гистонов

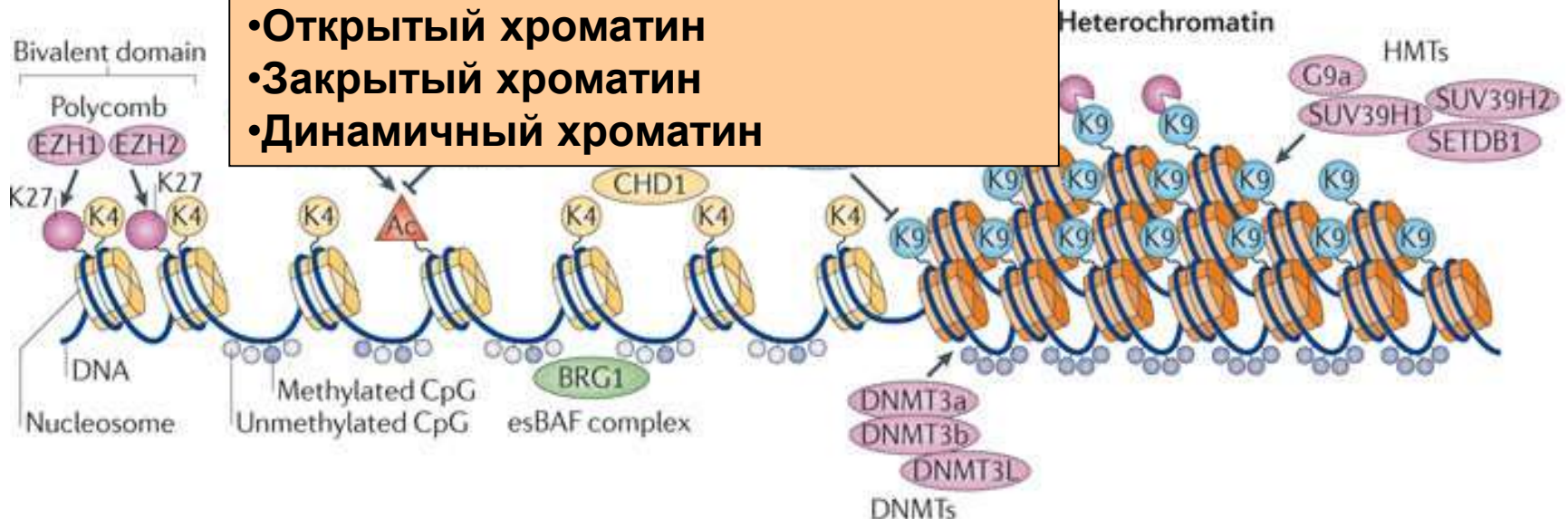
Стабильность двойной
спирали ДНК

Стабильность
связывания нуклеосом

Молекулярные
метки

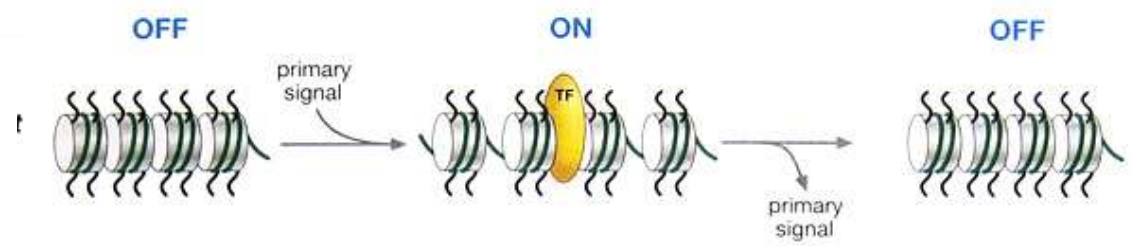
Набор дискретных типов хроматина

- Открытый хроматин
- Закрытый хроматин
- Динамичный хроматин

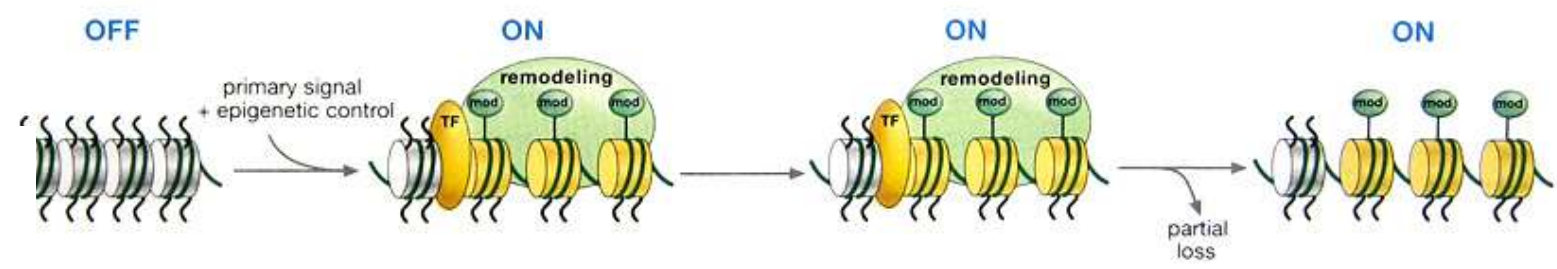


Как происходит эпигенетически наследуемая стабилизация транскрипции

Временный сигнал

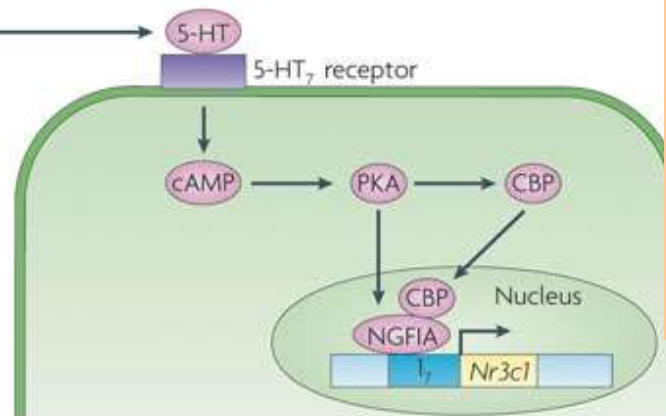


Эпигенетическая программа



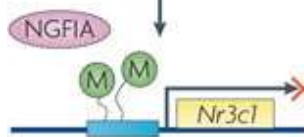
Сигнал (TF) больше не требуется, состояние активности наследуется

a Tactile stimulation
(maternal licking and grooming)



**Гормон действует
кратковременно,
паттерн экспрессии
гена рецептора
кортизола меняется на
всю жизнь!**

b Low maternal licking
and grooming



↓ GR expression

High corticosterone levels
High anxiety
Low licking or grooming

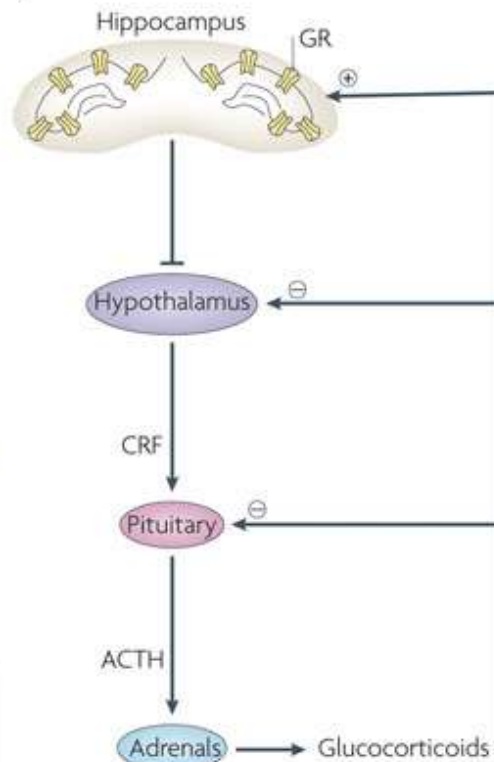
High licking maternal
and grooming



↑ GR expression

Low corticosterone levels
Low anxiety
High licking or grooming

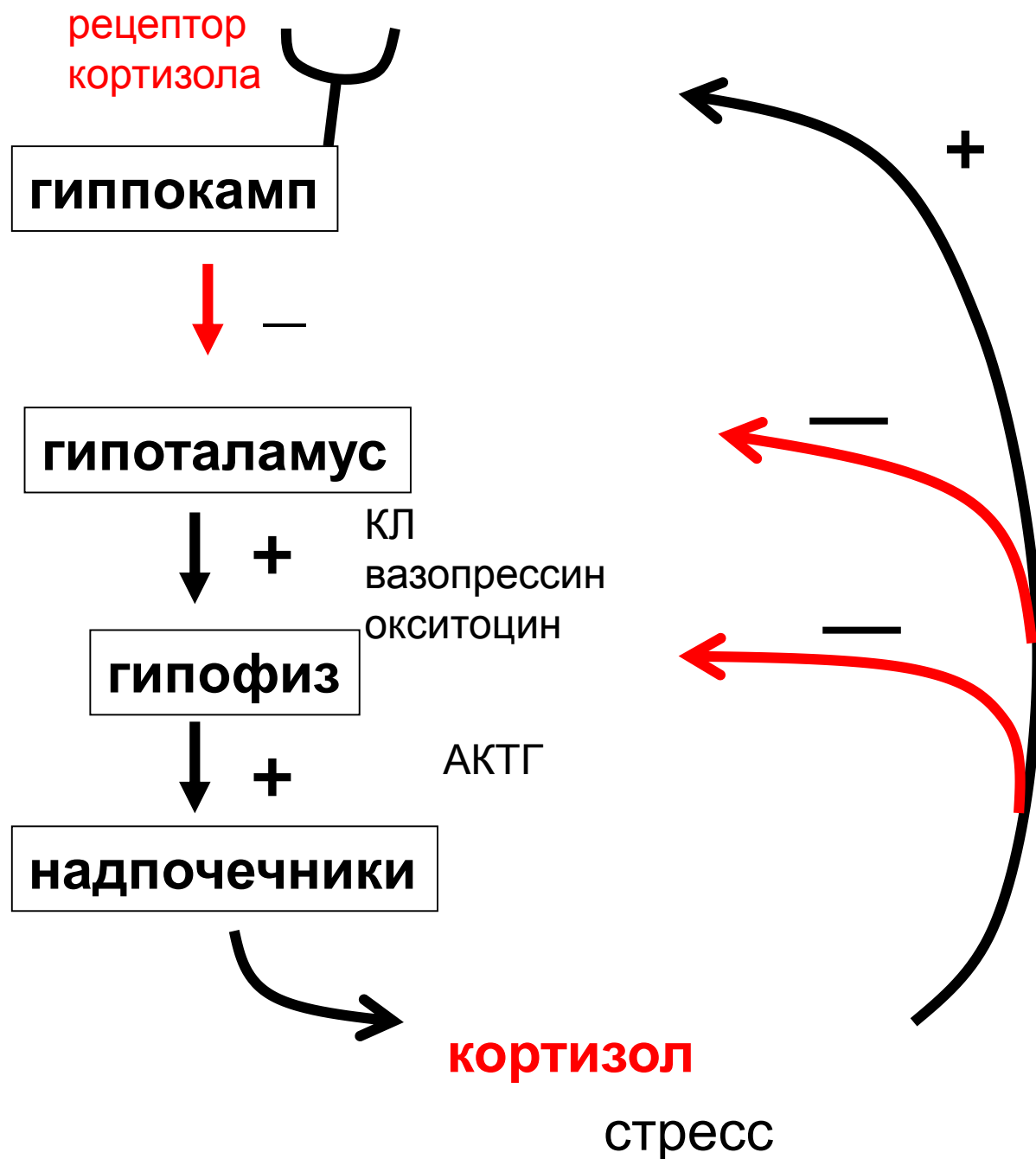
c



Socioeconomic status and the brain: mechanistic insights from human and animal research

Daniel A. Hackman, Martha J. Farah & Michael J. Meaney

Nature Reviews Neuroscience **11**, 651-659 (September 2010)



Гормон действует
кратковременно,
паттерн экспрессии
гена рецептора
кортизола меняется на
всю жизнь!

Важнейшие вопросы в рамках эпигенетики – как события, происходящие на ранних этапах развития влияют на здоровье, поведение... (ФЕНОТИП!) в более поздние периоды

Полифенизм насекомых – прекрасная модель!

**Что нового уже узнали о полифенизме
насекомых, применяя эпигенетическую
методологию**

Что нового уже узнали о полифенизме насекомых, применяя эпигенетическую методологию

Эпигеномные подходы:

Анализ транскриптомов, метиломов, распределения модификаций гистонов...

Что происходит при отключении эпигенетических механизмов или их компонентов

Для анализа паттернов экспрессии генов нужно отсеквенировать геном

Геномы эусоциальных насекомых

2006 г. Доступна лишь чероновая сборка генома *A. mellifera*

Honeybee Genome Sequencing, C. Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*. *Nature* **443**, 931–949 (2006).

Революция в технологиях секвенирования, секвенирование нового поколения (next-generation sequencing technologies)

Bonasio, R. *et al.* Genomic comparison of the ants *Camponotus floridanus* and *Harpegnathos saltator*. *Science* **329**, 1068–1071 (2010).

Gadau, J. *et al.* The genomic impact of 100 million years of social evolution in seven ant species. *Trends Genet.* **28**, 14–21 (2012).

Oxley, P. R. *et al.* The genome of the clonal raider ant *Cerapachys biroi*. *Curr. Biol.* **24**, 451–458 (2014).

Kocher, S. D. *et al.* The draft genome of a socially polymorphic halictid bee, *Lasioglossum albipes*. *Genome Biol.* **14**, R142 (2013).

Genome

Genome

[Create alert](#) [Limits](#) [Advanced](#)

[See also 40 organelle- and plasmid-only records matching your search](#)

Display Settings: 20 per page

Send to:

Search results

Items: 21 to 40 of 51

[<< First](#) [< Prev](#) Page of 3 [Next >](#) [Last >>](#)

- ☐ [Monomorium pharaonis](#)
- 21. [Monomorium pharaonis RefSeq Other](#)
Kingdom: Eukaryota; Subgroup: Insects
Sequence data: genome assemblies:1
Date: 2015/02/06
ID: 37124
- ☐ [Wasmannia auropunctata](#)
- 22. [Wasmannia auropunctata overview](#)
Kingdom: Eukaryota; Subgroup: Insects
Sequence data: genome assemblies:1
Date: 2015/02/05
ID: 36651
- ☐ [Vollenhovia emeryi](#)
- 23. [Vollenhovia emeryi overview](#)
Kingdom: Eukaryota; Subgroup: Insects
Sequence data: genome assemblies:1
Date: 2015/03/03
ID: 36511
- ☐ [Fopius arisanus](#)
- 24. [Fopius arisanus overview](#)
Kingdom: Eukaryota; Subgroup: Insects
Sequence data: genome assemblies:1
Date: 2014/12/19
ID: 35518

Genome

Genome

[Limits](#) [Advanced](#)

Apis mellifera (honey bee)

Representative genome: [Apis mellifera \(assembly Amel_4.5\)](#)

Download sequences in FASTA format for [genome](#), [transcript](#), [protein](#)

Download genome annotation in [GFF](#), [GenBank](#) or [tabular](#) format

BLAST against [Apis mellifera genome](#)

All 2 genomes for species:

Browse the [list](#)

Download sequence and annotation from [RefSeq](#) or [GenBank](#)

Display Settings:

Send to:

Organism Overview ; [Genome Assembly and Annotation report \[2\]](#) ; [Organelle Annotation Report \[1\]](#)

ID: 48



Apis mellifera (honey bee)

The honey bee is a social insect, important for agricultural and biomedical research studies

Lineage: [Eukaryota\[2425\]](#); [Metazoa\[812\]](#); [Ecdysozoa\[377\]](#); [Arthropoda\[289\]](#); [Hexapoda\[253\]](#); [Insecta\[250\]](#); [Pterygota\[250\]](#); [Neoptera\[246\]](#); [Holometabola\[213\]](#); [Hymenoptera\[51\]](#); [Apocrita\[47\]](#); [Aculeata\[35\]](#); [Apoidea\[14\]](#); [Apidae\[11\]](#); [Apis\[4\]](#); [Apis mellifera\[1\]](#)

The honey bee (*Apis mellifera*) is a valuable organism for study due to its unique behavioral traits and social instincts. *A. mellifera* is important to the agricultural community as a pollinator and to researchers as a model for studies in immunity and diseases of the X chromosome. These characteristics of the honey bee were instrumental in its assignment as a high priority organism for genome sequencing by the National Human Genome Research Institute ([NHGRI](#)). [Less...](#)

ARTICLE

Received 6 Aug 2013 | Accepted 19 Nov 2013 | Published 14 Jan 2014

DOI: 10.1038/ncomms3957

OPEN

The locust genome provides insight into swarm formation and long-distance flight

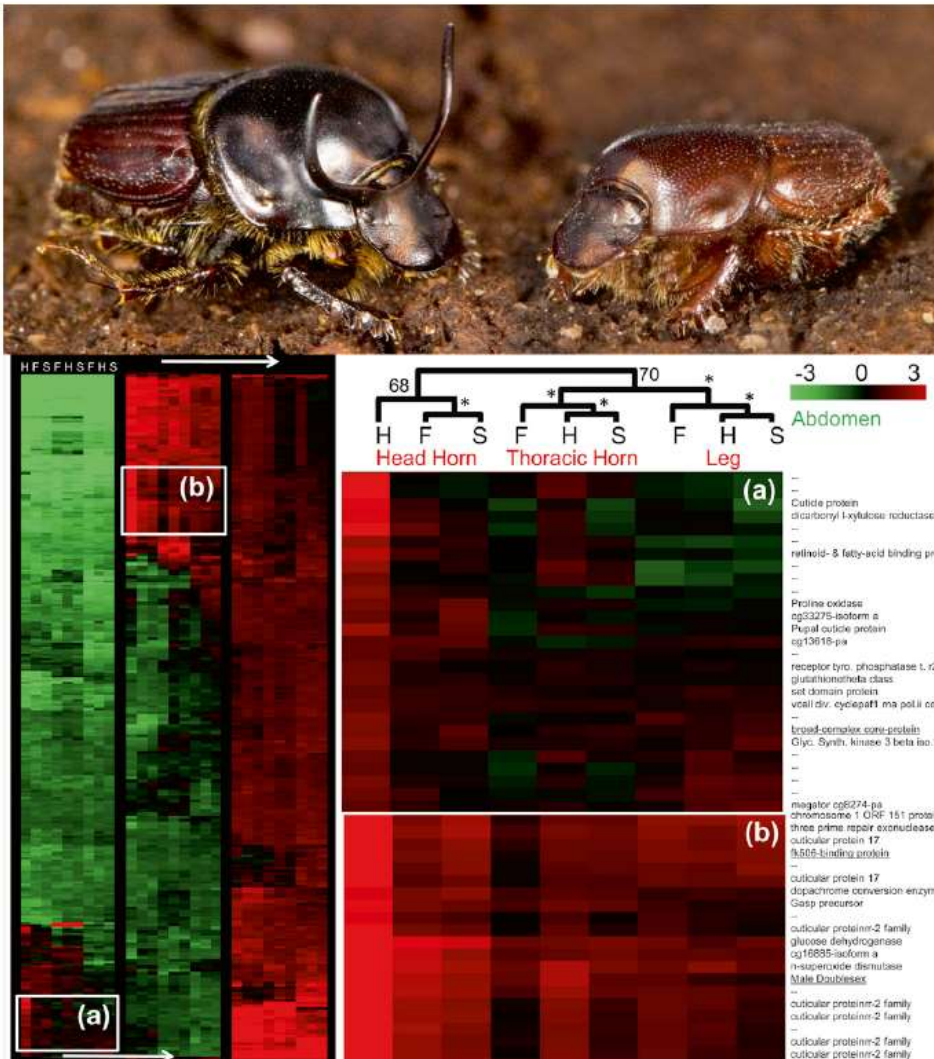
Xianhui Wang¹, Xiaodong Fang², Pengcheng Yang^{1,3}, Xuanting Jiang², Feng Jiang^{1,3}, Dejian Zhao¹, Bolei Li¹, Feng Cui¹, Jianing Wei¹, Chuan Ma^{1,3}, Yundan Wang^{1,3}, Jing He¹, Yuan Luo¹, Zhifeng Wang¹, Xiaojiao Guo¹, Wei Guo¹, Xuesong Wang^{1,3}, Yi Zhang¹, Meiling Yang¹, Shuguang Hao¹, Bing Chen¹, Zongyuan Ma^{1,3}, Dan Yu¹, Zhiqiang Xiong², Yabing Zhu², Dingding Fan², Lijuan Han², Bo Wang², Yuanxin Chen², Junwen Wang², Lan Yang², Wei Zhao², Yue Feng², Guanxing Chen², Jinmin Lian², Qiye Li², Zhiyong Huang², Xiaoming Yao², Na Lv⁴, Guojie Zhang², Yingrui Li², Jian Wang², Jun Wang², Baoli Zhu⁴ & Le Kang^{1,3}

Locusts are one of the world's most destructive agricultural pests and represent a useful model system in entomology. Here we present a draft 6.5Gb genome sequence of *Locusta migratoria*, which is the largest animal genome sequenced so far. Our findings indicate that the large genome size of *L. migratoria* is likely to be because of transposable element proliferation combined with slow rates of loss for these elements. Methylome and transcriptome analyses reveal complex regulatory mechanisms involved in microtubule dynamic-mediated synapse plasticity during phase change. We find significant expansion of gene families associated with energy consumption and detoxification, consistent with long-distance flight capacity and phytophagy. We report hundreds of potential insecticide target genes, including cys-loop ligand-gated ion channels, G-protein-coupled receptors and lethal genes. The *L. migratoria* genome sequence offers new insights into the biology and sustainable management of this pest species, and will promote its wide use as a model system.



We identified a total of 4,893 differentially expressed genes in at least one of the time points during both processes, and this accounted for 28.3% of the gene sets.

Gene ontology (GO) analyses showed these fell into a variety of categories, indicating that phase change induced a broad range of changes in CNS gene expression.



Differences in patterns of horn growth are reflected by differential transcription of genes. Expression profiles for head tissues of small, hornless males (S) more closely resemble comparable tissues of females (F), than they do those of large, horned males (H). Photos D. Emlen; bottom panel reproduced with permission from *Snell-Rood et al. (2010)*.

Comprehensive microarray-based analysis for stage-specific larval camouflage pattern-associated genes in the swallowtail butterfly, *Papilio xuthus*

Futahashi *et al.*



Futahashi *et al. BMC Biology* 2012, **10**:46

<http://www.biomedcentral.com/1741-7007/10/46> (31 May 2012)

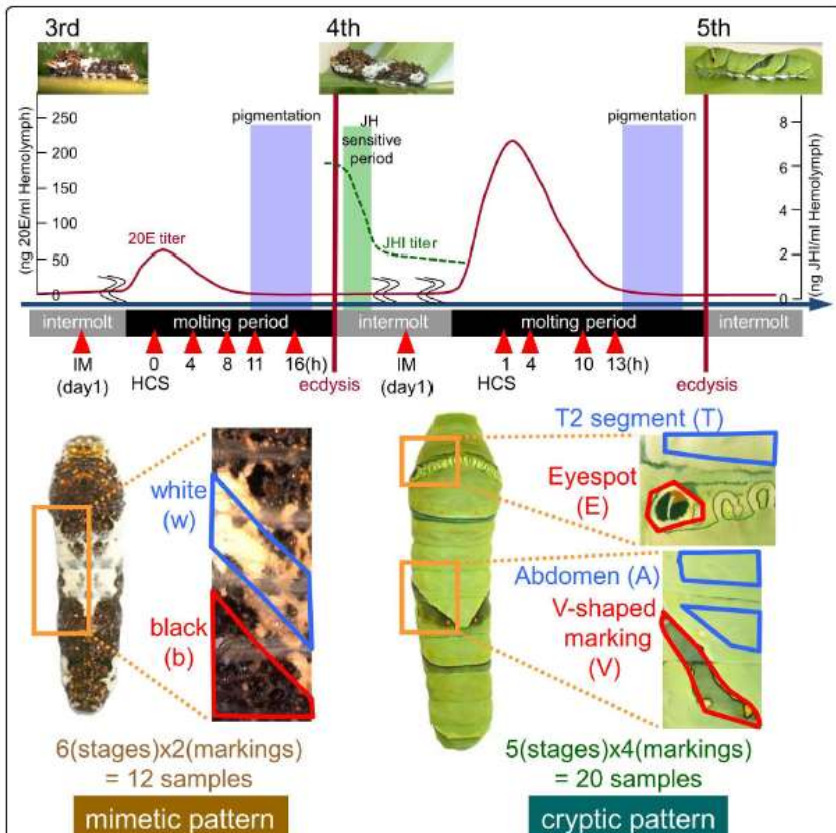
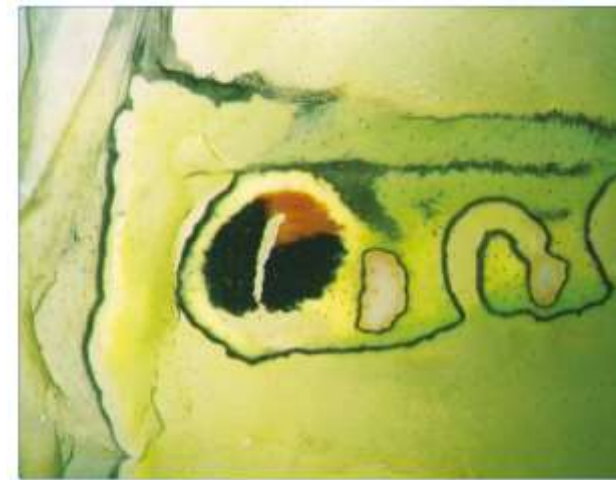


Figure 2 Scheme of microarray analyses. Larval epidermis was dissected at 11 different stages indicated by red arrowheads. The epidermis was separated for each marking as indicated below here: A: abdominal segments with no markings of cryptic pattern; B: black region of mimetic pattern; E: eyespot of cryptic pattern; T: thoracic segments with no markings of cryptic pattern; V: V-shaped markings of cryptic pattern; w: white region of mimetic pattern. Ecdysteroid and juvenile hormone titers in hemolymph are based on the previous reports [10,11]. The cryptic pattern is assumed to be determined in the juvenile hormone sensitive period (green box) [10]. The grey box indicates the cuticular pigmentation stage [12,13]. HCS: head capsule slippage; IM: intermolt.



Обнаружены транскрипционные факторы, участвующие в регуляции развития каст в разных группах эусоциальных насекомых

Simola, D. F. *et al.* Social insect genomes exhibit dramatic evolution in gene composition and regulation while preserving regulatory features linked to sociality. *Genome Res.* **23**, 1235–1247 (2013).

Сравнение около 30 геномов одиночных и эусоциальных видов насекомых выявил особенности эволюции сайтов связывания транскрипционных факторов у эусоциальных насекомых.

В частности, быстро эволюционируют некоторые гены с нейроэндокринной функцией, и именно эти гены показывают сходную дифференциальную экспрессию при сравнении каст у разных видов муравьев и пчел.

Факты в пользу важности дифференциального метилирования ДНК при формировании каст у эусоциальных насекомых

Bombus terrestris



ru.wikipedia.org

Ингибирование ДНК-метилтрансферазы у земляного шмеля приводит к переходу рабочих особей к размножению

Amarasinghe et al., 2014 Methylation and worker reproduction in the bumble-bee (*Bombus terrestris*). *Proc. R. Soc. B* **281**, 20132502 .

Личинки пчелиных маток у медоносной пчелы имеют более низкий общий уровень метилирования генома, чем личинки рабочих пчел. Нокдаун гена, кодирующего DNMT3 у личинок рабочих пчел приводит к развитию фенотипа, близкого к фенотипу пчелиной матки, в частности, развиваются яичники.

Kucharski, R., Maleszka, J., Foret, S. & Maleszka, R. Nutritional control of reproductive status in honeybees via DNA methylation. *Science* **319**, 1827–1830 (2008). **This paper presents the first functional evidence of the regulatory role of DNA methylation in regulating caste fate in eusocial insects.**

Маточное молочко влияет на инсулиновый каскад

Маточное молочко содержит ингибитор деацетилазы гистонов 10HDA.



D. F. Simola, C. Ye, N. S. Mutti, K. Dolezal, R. Bonasio, J. Liebig, D. Reinberg, S. L. Berger. **A chromatin link to caste identity in the carpenter ant *Camponotus floridanus*.** *Genome Research*, 2012;

Robinson et al., *Insect Mol Biol.* 2016
Alternative migratory locust phenotypes are associated with differences in the **expression of genes encoding the methylation machinery.**



Queen pheromones modulate DNA methyltransferase activity in bee and ant workers

Biol. Lett. 2016

Luke Holman¹, Kalevi Trontti^{2,3} and Heikki Helanterä^{3,4}

¹Division of Ecology, Evolution & Genetics, Research School of Biology, Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory 2601, Australia

²Department of Biosciences, Division of Genetics, University of Helsinki, Helsinki 00014, Finland

³Centre of Excellence in Biological Interactions, Department of Biosciences, University of Helsinki, PO Box 65, Helsinki 00014, Finland

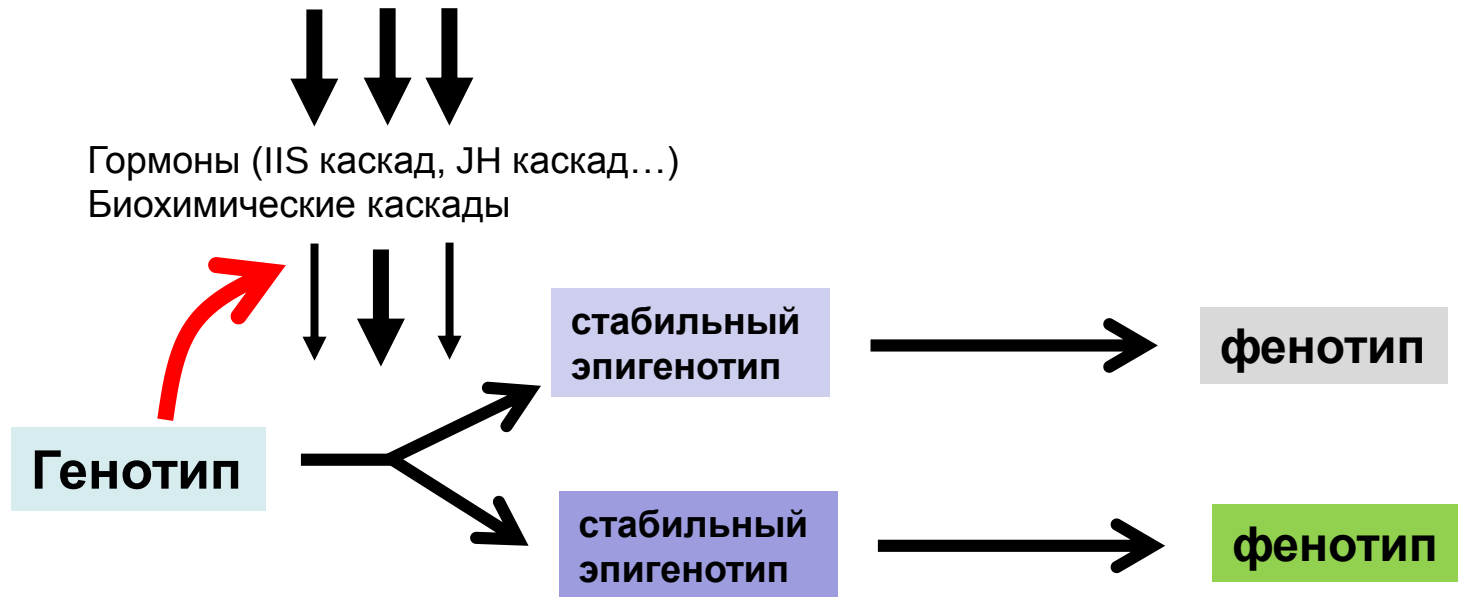
⁴Tvärminne Zoological Station, J. A. Palménin tie 260, Hanko 10900, Finland

DNA methylation is emerging as an important regulator of polyphenism in the social insects. Research has concentrated on differences in methylation between queens and workers, though we hypothesized that methylation is involved in mediating other flexible phenotypes, including pheromone-dependent changes in worker behaviour and physiology. Here, we find that exposure to queen pheromone affects the expression of two DNA methyltransferase genes in *Apis mellifera* honeybees and in two species of *Lasius* ants, but not in *Bombus terrestris* bumblebees. These results suggest that queen pheromones influence the worker methylome, pointing to a novel proximate mechanism for these key social signals.

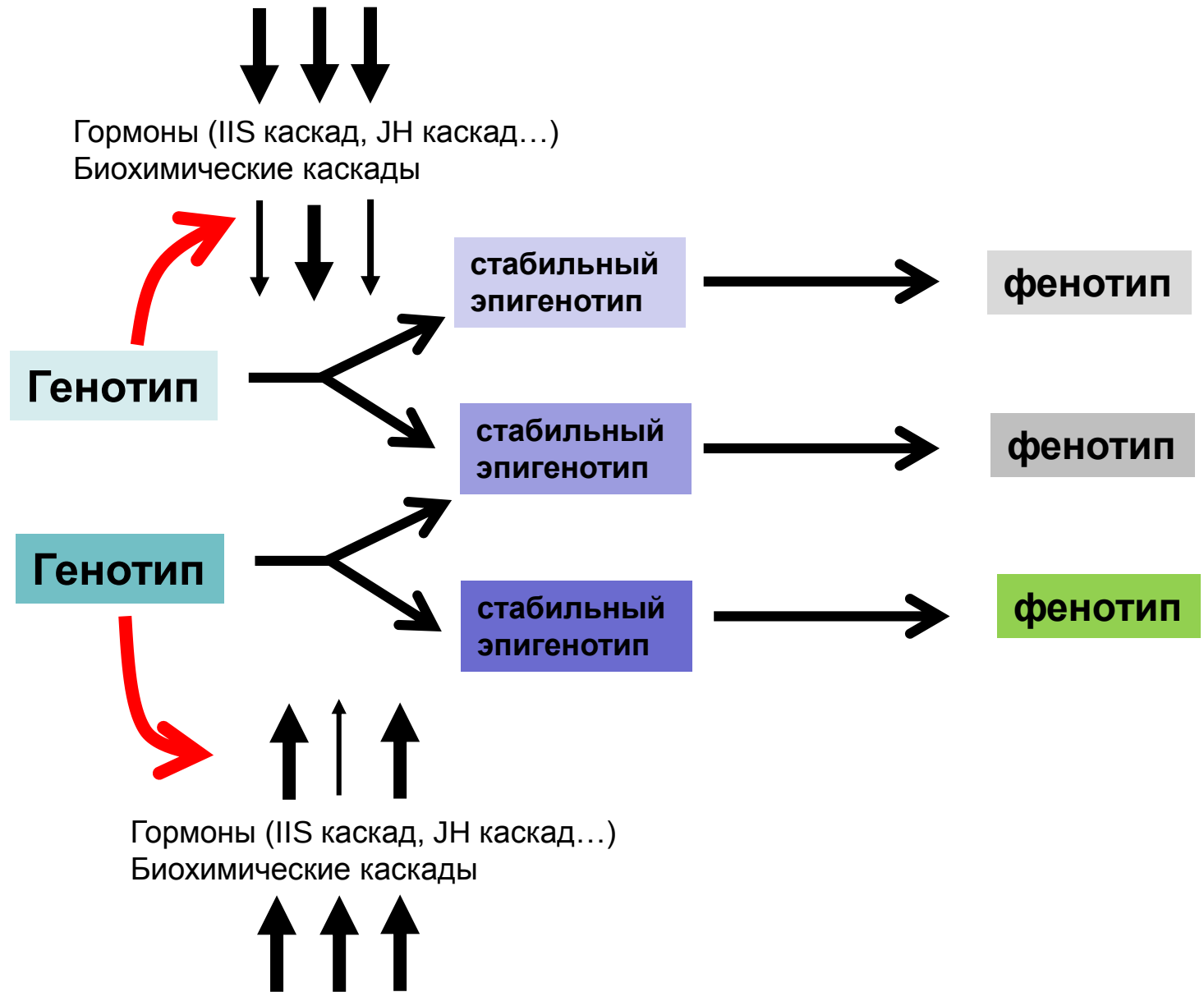
Our data provide evidence that adult *A. mellifera*, *L. niger* and *L. flavus* workers change their DNA methylation profile in response to queen pheromones.

Эпигенетика и полифенизм

Температура, питание, сигналы от органов чувств...

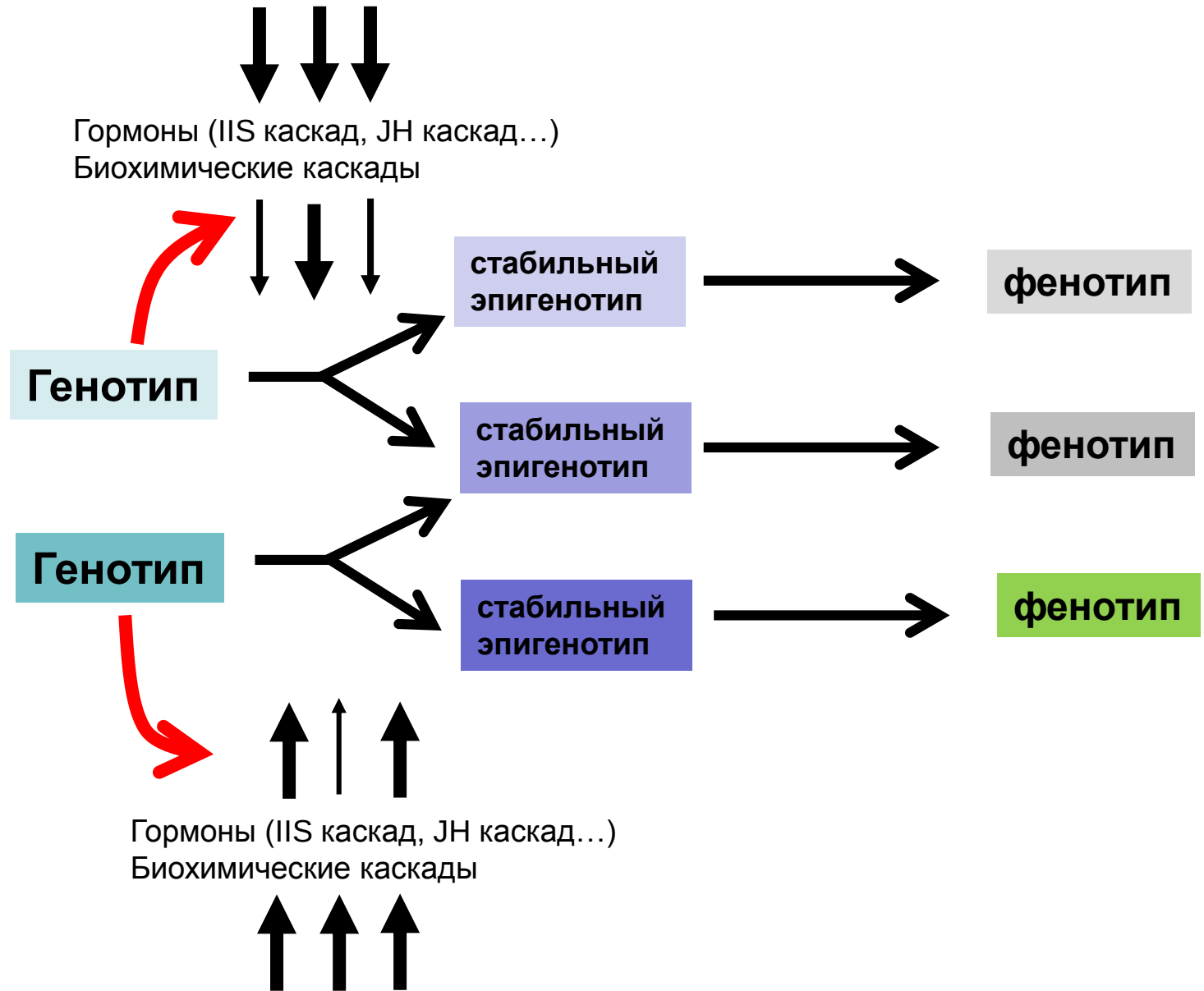


Температура, питание, сигналы от органов чувств...



Температура, питание, сигналы от органов чувств...

Температура, питание, сигналы от органов чувств...



Температура, питание, сигналы от органов чувств...

Nature versus nurture in social insect caste differentiation

Tanja Schwander^{1,4}, Nathan Lo², Madeleine Beekman², Benjamin P. Oldroyd² and Laurent Keller³

¹ Simon Fraser University, Biological Sciences, 8888 University Drive, Burnaby V5A 1S6, Canada

² Behaviour and Genetics of Social Insects Laboratory, School of Biological Sciences A12, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia

³ University of Lausanne, Biophore, 1015 Lausanne, Switzerland

	Species	Data type	References
Environmental factors	<i>Vespula maculifrons</i>	G	[24]
	<i>Formica exsecta</i>	G	[23]
	<i>Mycocepurus smithii</i>	I	[25,26]
	<i>Apis cerana</i>	G	[22]
	<i>A. mellifera</i>	I, E, G	[9–12,15–21]
	<i>F. truncorum</i>	G	[23]
	<i>Cardiocondyla kagutsuchi</i>	E	[31]
	<i>Pogonomyrmex badius</i>	G	[30]
	<i>P. rugosus</i>	E, G	[28]
	<i>Acromyrmex echinator</i>	G	[29]
	<i>Harpagoxenus sublaevis</i>	E	[34,36]
	<i>Leptothorax</i> sp. A	E	[35]
	<i>Reticulitermes speratus</i>	E	[37]
	<i>Melipona</i> ssp	E	[39,40,45]
Genetic factors	<i>Pogonomyrmex</i> lineages	E, G	[50–52]
	<i>Solenopsis xyloni</i> x <i>geminata</i> hybrids	G	[57,58]
	<i>Vollenhovia emeryi</i>	G	[60,61]
	<i>Wasmannia auropunctata</i>	I, G	[59]

Species with strong genetic effects on caste

Many southern US populations of *Pogonomyrmex* contain differentiated genetic lineages, most or all of which derive from historical hybridization between the harvester ants *P. rugosus* and *P. barbatus* [47,48]. These lineages always occur in pairs [49] and queens in each lineage-pair mate multiple times with males of their own as well as with males of the alternate lineage. Interlineage offspring develop into workers, whereas intralinearage offspring develop into queens [47,50–52]. Crossing experiments

Выведена гусеница, меняющая цвет при нагревании

09.02.2006 • АЛЕКСАНДР МАРКОВ • БИОЛОГИЯ • 1 КОММЕНТАРИЙ

Бражник табачный



Гусеницы бабочки *Manduca sexta* в норме имеют зеленую окраску. Ученым удалось вывести новую породу, меняющую цвет в зависимости от температуры (фото с сайта www.gaipm.org)

Американские ученые путем искусственного отбора вывели гусениц, цвет которых дискретно меняется в зависимости от температуры: в тепле развиваются зеленые гусеницы, на холоде — черные. Исследование показало, каким образом на основе случайной мутации отбор может создать новую адаптацию.

Yuichiro Suzuki, H. Frederik Nijhout.

[Evolution of a Polyphenism by Genetic](#)

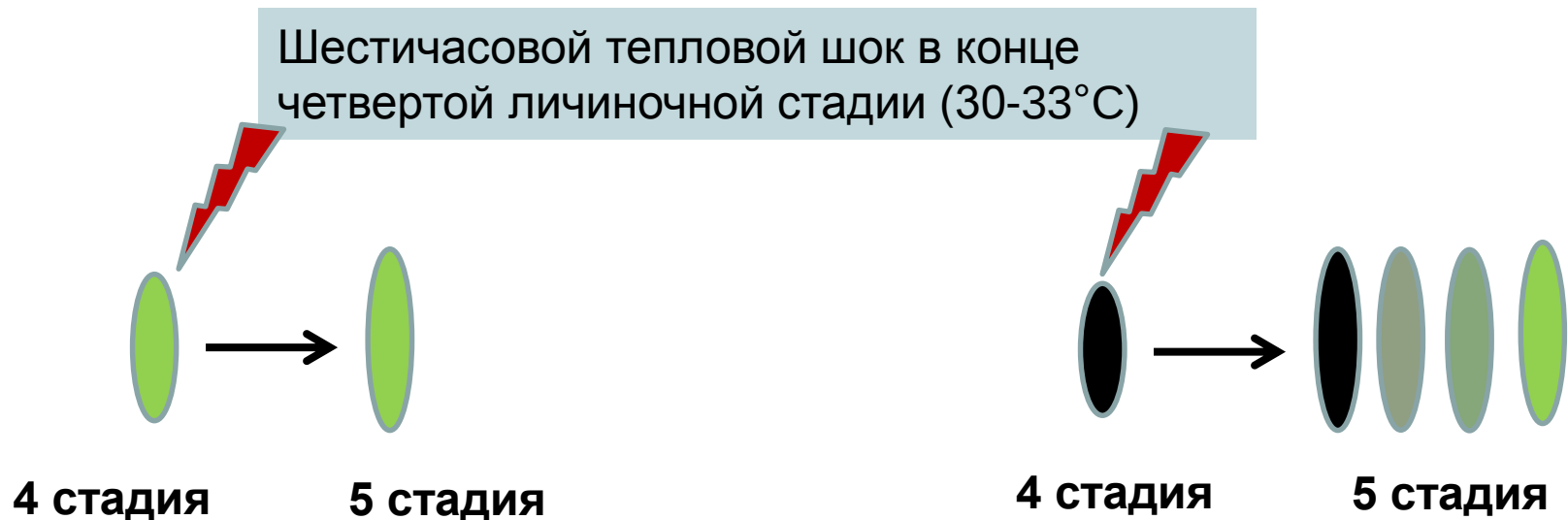
[Accommodation](#) // *Science*. 2006. V. 311. P. 650–652.

Manduca sexta



У этого вида полифенизма нет, однако он есть у близкородственного вида *M. quinquemaculata*, у которого при 20°C развиваются черные гусеницы, а при повышении температуры до 28°C — зеленые.

Мутация *black* у *Manduca sexta* приводит к уменьшению выработки ювенильного гормона, что, в свою очередь, ведет к повышенной меланизации покровов.



Искусственный отбор гусениц.



Контрастные линии:

утрачена способность реагировать на тепловой шок изменением окраски (полный монофенизм).

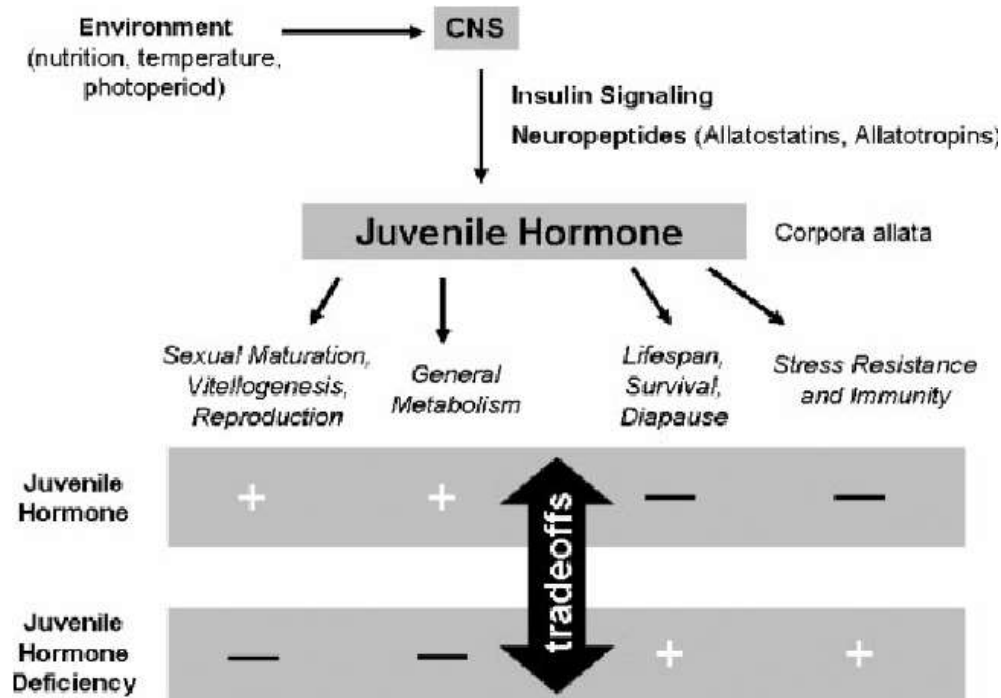
настоящий полифенизм. Все гусеницы ярко зеленые при постоянной температуре 28°C. При более низких температурах гусеницы черные.



Гусеница из полифенной линии, перевязанная поперек брюшка (чтобы гормон, синтезирующийся в голове и груди, не мог попасть в заднюю часть тела), в тепле позеленела спереди и осталась черной сзади (рис. из статьи в *Science*)



Баланс, отбор на оптимальное соотношение параметров



Hormonal pleiotropy and the Juvenile Hormone regulation of *Drosophila* development and life history

BioEssays 27(10):999-1010 · October 2005

Полифенизм насекомых - уникальная эпигенетическая модель

- **Механизмы дифференциальной экспрессии генов**
- **Связь генотипа и фенотипа**
- **Эпигенетика поведения**
- **Связь гормонов и экспрессии генов**
- **Эволюция регуляции экспрессии генов**
- **....**