

Меристемные регуляторы в развитии опухолей высших растений

Бертова А.Д.

каф. физиологии и биохимии
растений, каф. генетики и
биотехнологии

СФБГУ, 2016

Опухоли растений

индуцированные патогенами

возникают при инфекции патогенными бактериями, вирусами, грибами, нематодами, насекомыми, протистами



Корончатый галл на растении рода *Euonymus*, вызванный инфекцией *Agrobacterium tumefaciens*

спонтанные

(генетические)

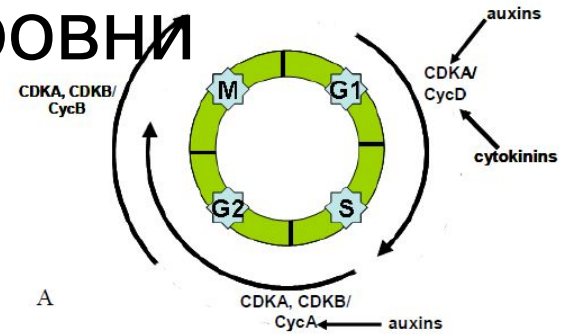
возникают на растениях определенного генотипа: межвидовых гибридах, растениях инбредных линий, опухолевых мутантах, трансгенных растениях



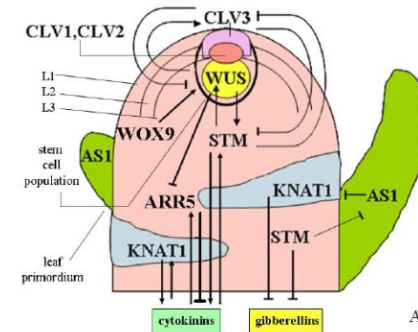
Спонтанная опухоль на корне редиса (*Raphanus sativus*)

Системный контроль клеточной пролиферации:

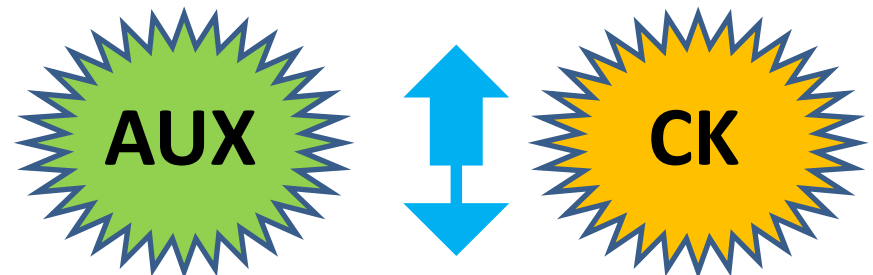
- регуляция клеточного цикла **основные уровни**



- меристематическая регуляция

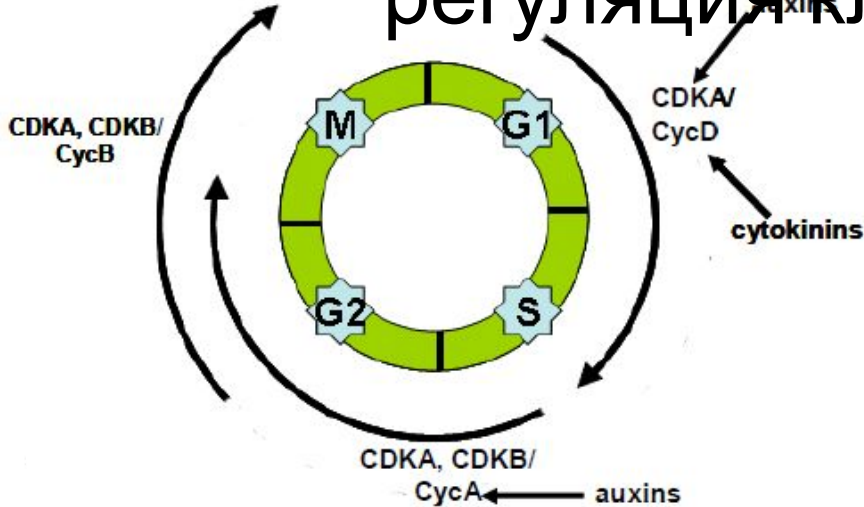


- гормональная регуляция



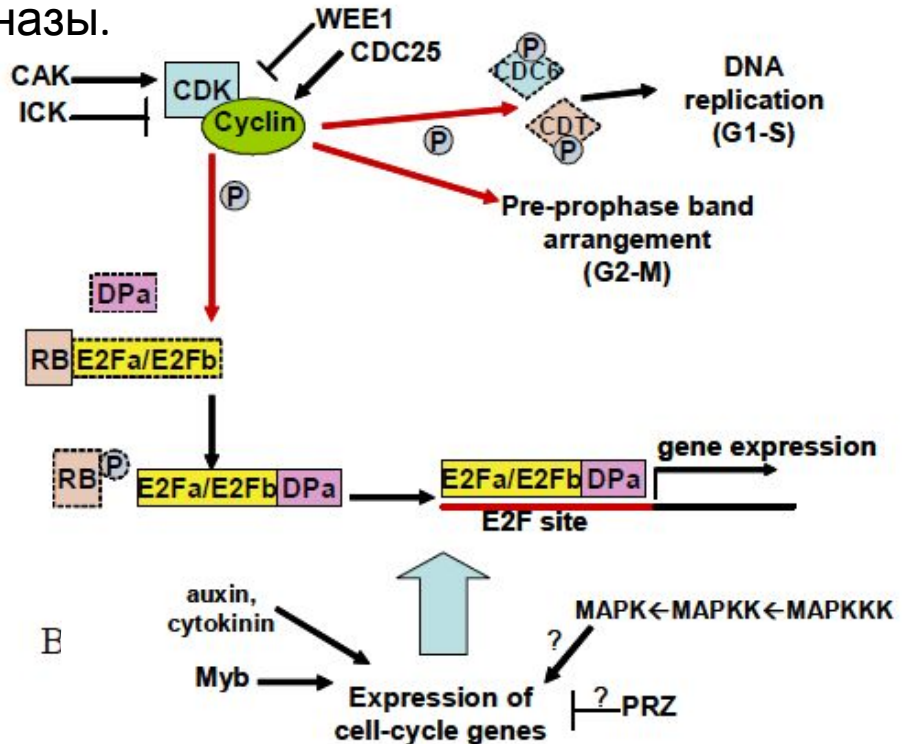
Системный контроль клеточной пролиферации:

регуляция клеточного цикла



Переходы из одной стадии клеточного цикла в другую регулируются комплексами циклин-зависимых киназ (CDK) и их каталитических субъединиц – циклинов (CYC).

Основные циклин-зависимые киназы растений: **CDKA**; CDKB (специфичная для растений); CDKD, CDKF – CDK-активирующие киназы.

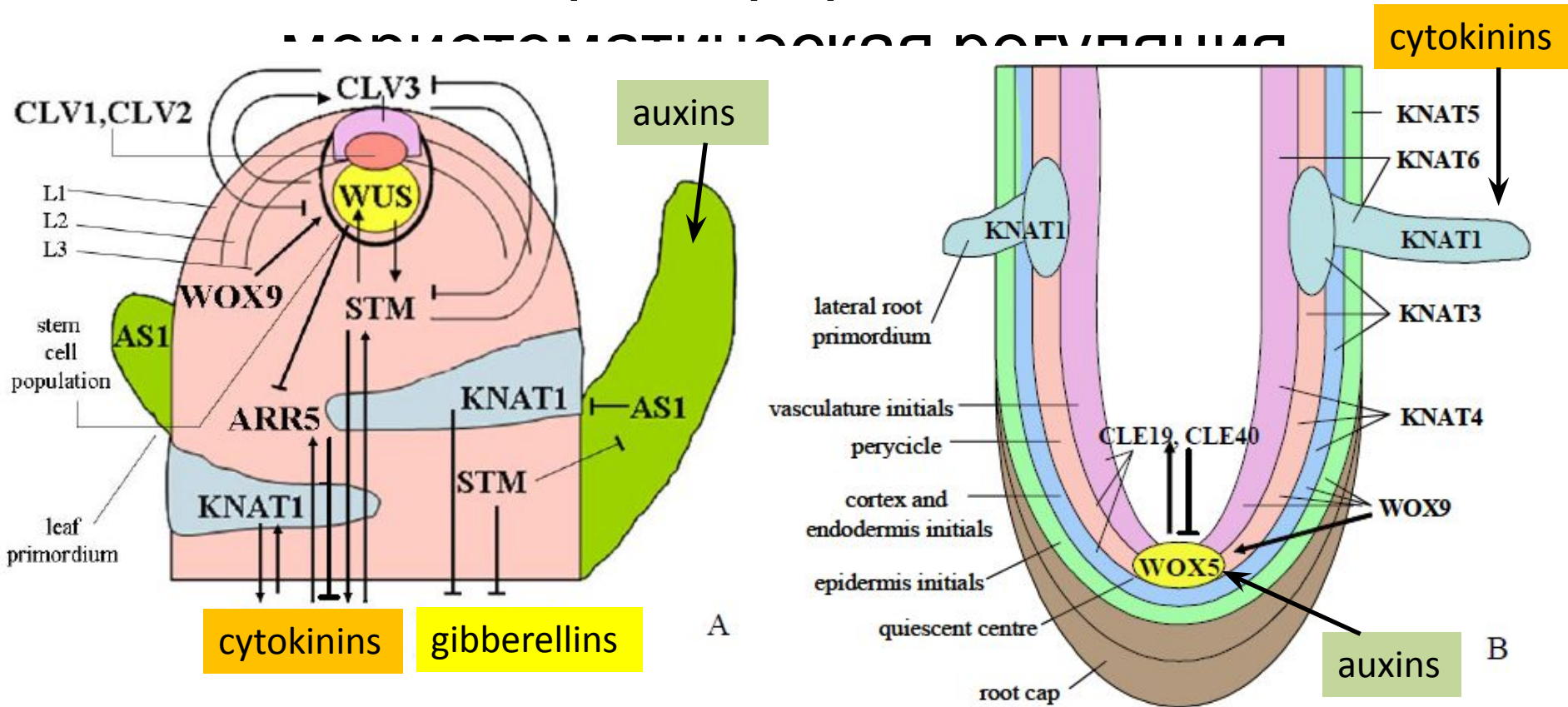


Белок ретинобластомы **RB** ингибирует переход G1-S, запрещая активные деления дифференцирующихся клеток и покоящихся клеток организующего центра. Онковирусы растений рода *Geminiviridae* связывают RB с помощью **REP-белков**, активируя ДНК-репликацию хозяйских клеток, необходимую для репродукции вирусов.

Во многих растительных опухолях наблюдаются нарушения экспрессии генов, напрямую контролирующих клеточный цикл.

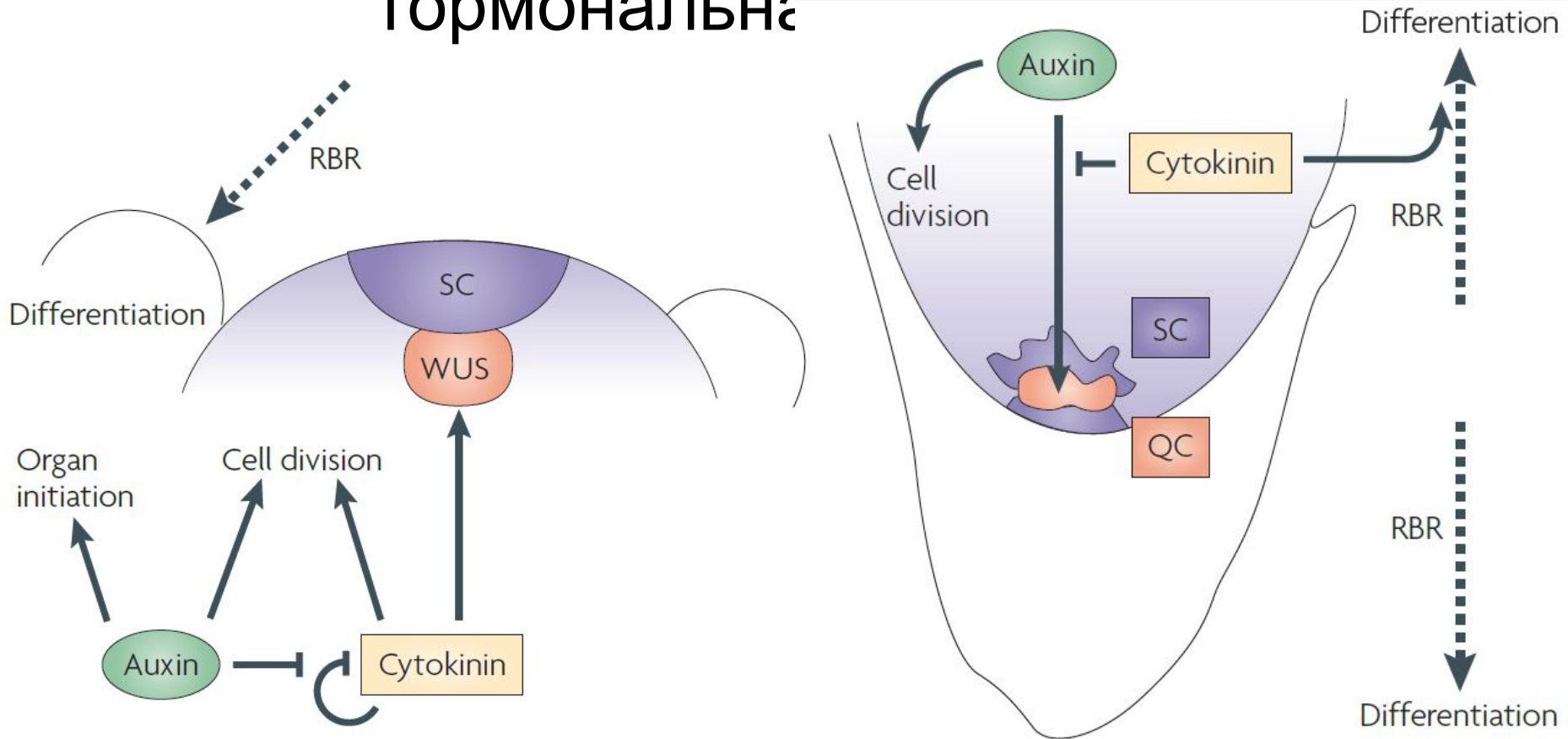
Системный контроль клеточной пролиферации:

МЕРИСТЕМАТИЧЕСКОЕ РОСЛОВАНИЕ



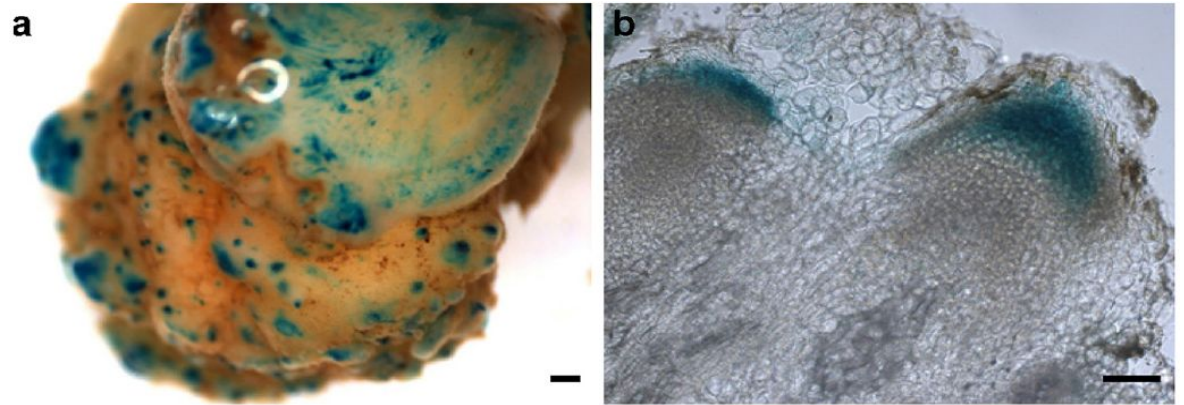
Одни из основных регуляторов меристематической активности: гомеодомен-содержащие транскрипционные факторы семейств **KNOX** (STM, KNAT), **WOX** (WUSCHEL, WOX9, WOX5); **MYB**-домен содержащие факторы (AS), компоненты системы **CLAVATA**. Нарушения экспрессии генов ключевых меристемных регуляторов может приводить к бесконтрольным делениям и опухолеобразованию.

Системный контроль клеточной пролиферации: гормональный баланс

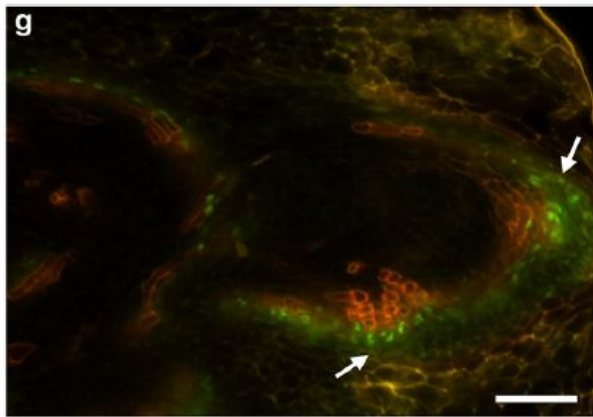
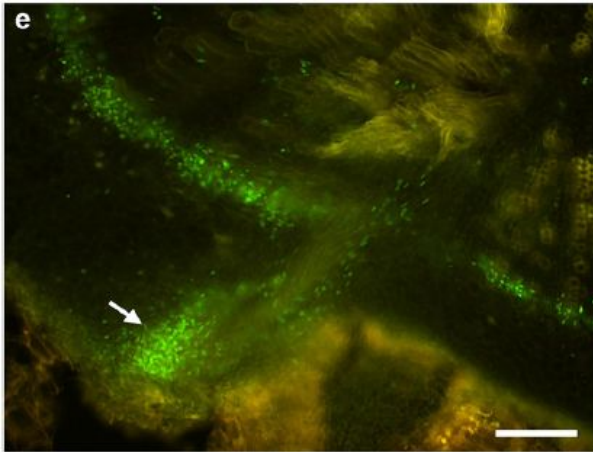


Большинство патогенов, вызывающих опухоли растений, изменяют баланс ауксинов и цитокининов в растительных тканях, зачастую повышая экспрессию генов их биосинтеза (триптофан-монооксигеназ, индолацетамид-гидролаз для ауксинов; изопентенил-трансферазы для цитокининов).

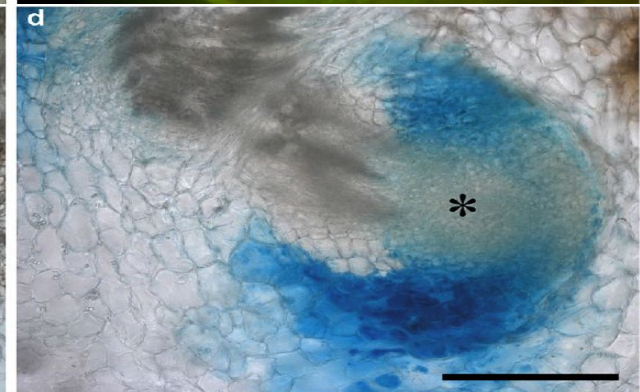
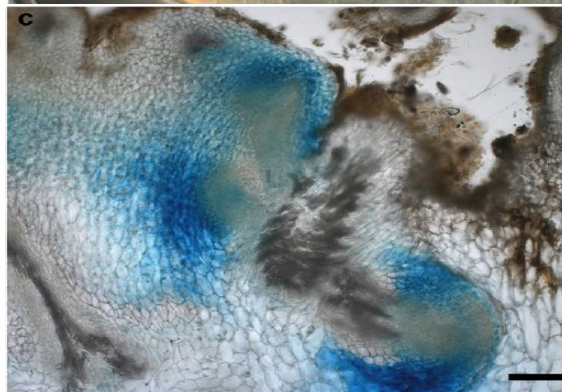
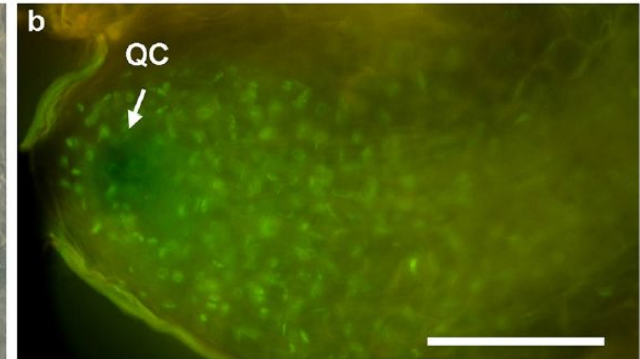
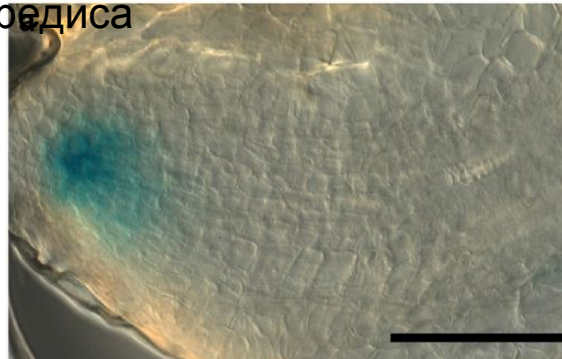
Меристематические центры опухолей корня



Активность ауксин-регулируемого промотора *DR5* в опухолях редиса

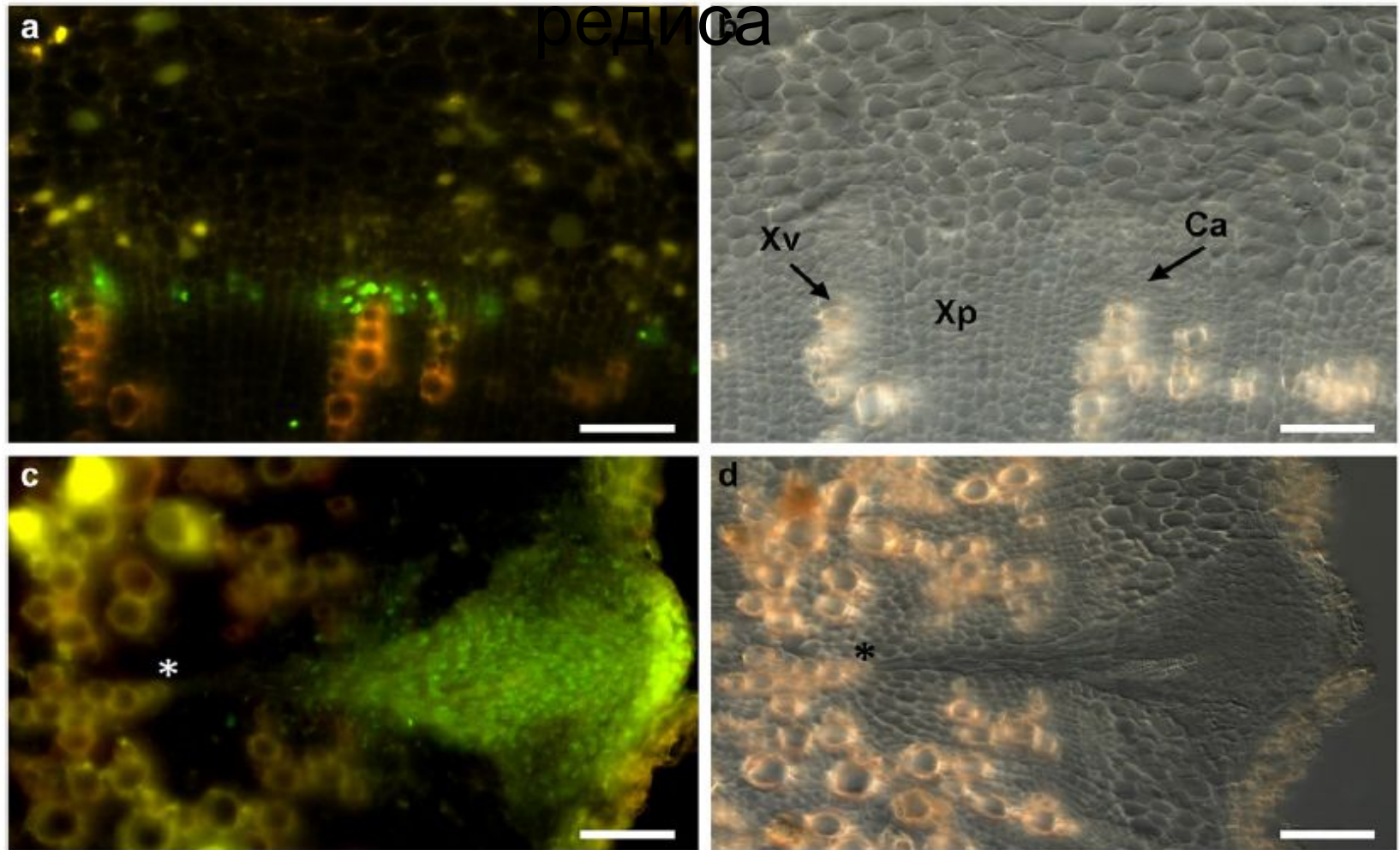


Меристематические центры (фокусы) в опухолях редиса, состоящие из активно делящихся камбиальных



Экспрессия *pAtWOX5::GUS* в АМ корня(a,b) и опухолях(c,d) редиса

Инициация опухолеобразования в корне

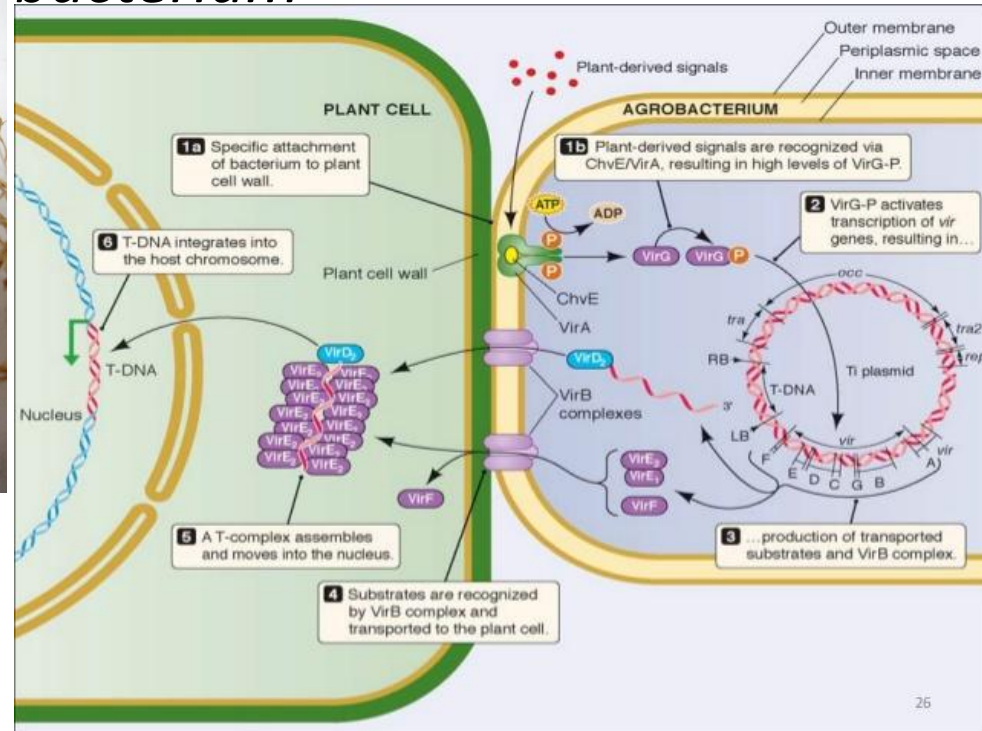


Спонтанные опухоли редиса берут начало от камбиальных клеток напротив ксилемных полюсов, где клетки имеют перциклическое происхождение. Корончатые галлы на горохе, вызываемые *A. tumefaciens*, имеют сходную организацию меристематических центров.

Опухоли растений индуцированные бактериями:



Agrobacterium



Корончатый галл на растении рода *Euonymus*, вызванный инфекцией *Agrobacterium tumefaciens*

Бородатый корень на растении рода *Nicotiana*, вызванный инфекцией *Agrobacterium rhizogenes*

- индукция опухолей с неограниченным ростом
- внедрение части бактериальной ДНК в геном растения (T-DNA region), содержащей гены биосинтеза ауксинов, цитокининов и опинов, и другие гены (*rol*, *ORF*, *plast*) с не до конца выясненной функцией
- инициация опухолей в камбиальной ткани
- корончатые галлы сначала представляют собой недифференцированную массу клеток, позже начиная дифференцироваться во флоэму и ксилему
- бородатые корни представляют собой многочисленные придаточные корни, характеризующиеся аэравитропическим ростом
- бактерии *Agrobacterium* изменяют нормальный баланс ауксинов и цитокининов в растительных тканях, что приводит к аномальной пролиферации клеток

Опухоли растений индуцированные другими бактериями



Опухоли, индуцированные *Pseudomonas savastanoi*



Листовые галлы, вызванные *Rhodococcus fascians*

- опухоли с ограниченным ростом
- бактерии *Pseudomonas savastanoi*, *Pantoea agglomerata* несут гены биосинтеза фитогормонов, гомологичные генам *Agrobacterium*
- бактериальной трансформации не происходит, требуется постоянное присутствие бактерии в очаге опухоли

Опухоли растений индуцированные различными патогенами



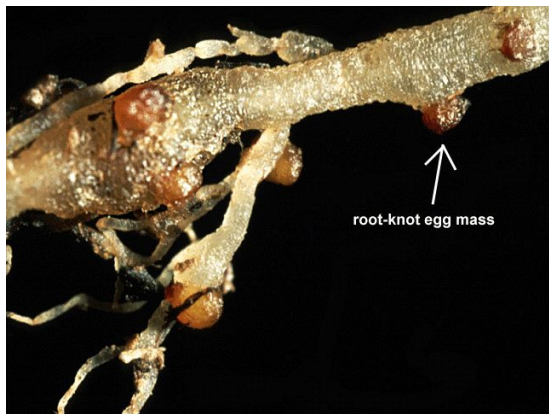
Кила крестоцветных, вызванная патогенным протистом *Plasmodiophora brassica*



Опухолевый рост на листьях хлопка при инфекции вирусами рода *Geminiviridae*



Опухолевый рост при инфекции головнёвыми грибами рода *Ustilago*



Корневые наросты при инфекции нематодами *Meloidogyne*



Инфекция картофеля цистообразующими нематодами *Globodera*



Опухоли растений спонтанные

- Встречаются у межвидовых гибридов родов *Nicotiana*, *Datura*, *Bryophyllum*, *Lilium*, *Triticum* и др. Многие виды рода *Nicotiana* содержат участок генома, гомологичный T-ДНК участку *Agrobacterium*, что может указывать на горизонтальный перенос генов от бактерий к растению. По-видимому системный контроль приобретенных бактериальных генов еще не до конца установлен в растениях, что проявляется в спонтанном образовании опухолей у межвидовых гибридов.
- Также отмечаются у самоопылённых линий перекрестно опыляемых растений видов *Melilotus alba* и *Raphanus sativus*. Инбридинг вызывает гомозиготизацию многих рецессивных мутаций, в том числе, в генах, контролирующей клеточные деления и дифференциацию.
- Кроме того встречаются у мутантов по онкогенам и у трансгенных растений.



Спонтанная опухоль
на корне редиса (*Raphanus sativus*)

Спасибо за внимание!