



Среда, 18 декабря, 16-00,
Конференц-зал ИЦиГ СО РАН

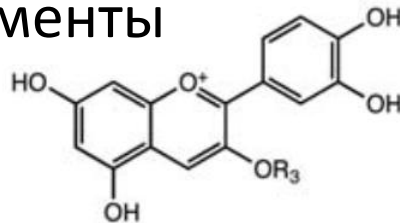
ПУБЛИЧНАЯ ЛЕКЦИЯ
Шоевой Олеси

Пигменты растений

Нефотосинтетические пигменты растений

Флавоноидные пигменты

Антоцианы

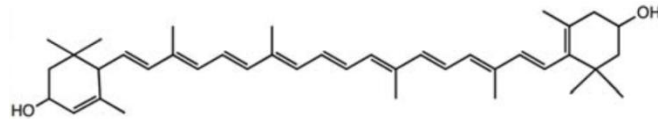


Petunia hybrida



Brassica oleracea

Каротиноиды

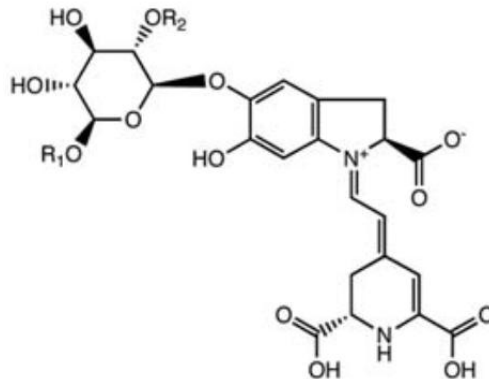


Tagetes patula



Daucus carota

Беталаины



Portulaca grandiflora



Beta vulgaris

План лекции

- **Чем определяется окраска растений: биохимические аспекты**
- **Генетический контроль биосинтеза флавоноидных пигментов**
- **Возникновение флавоноидных пигментов в ходе эволюции**
- **Функциональная роль пигментов растений**

Где могут присутствовать пигменты

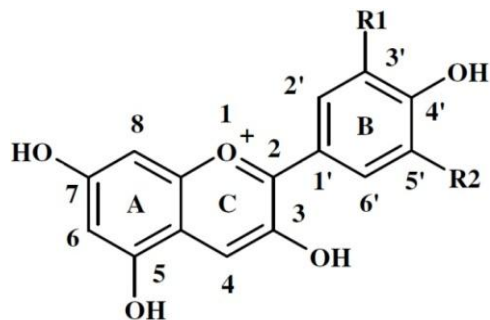


Первые упоминания о химической природе пигментов



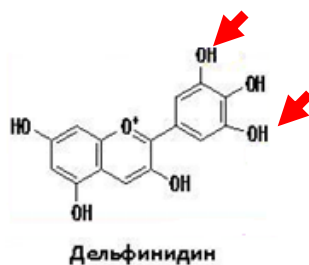
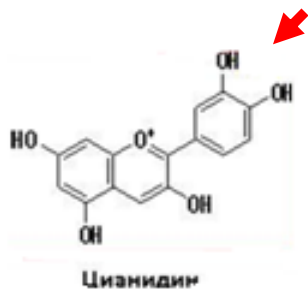
Роберт Бойль (англ. Robert Boyle, 25 января 1627 года — 30 декабря 1691 года) — британский естествоиспытатель

Разгадка химической структуры антоциановых пигментов



**Рихард Мартин
Вильштеттер**
(1872-1942)

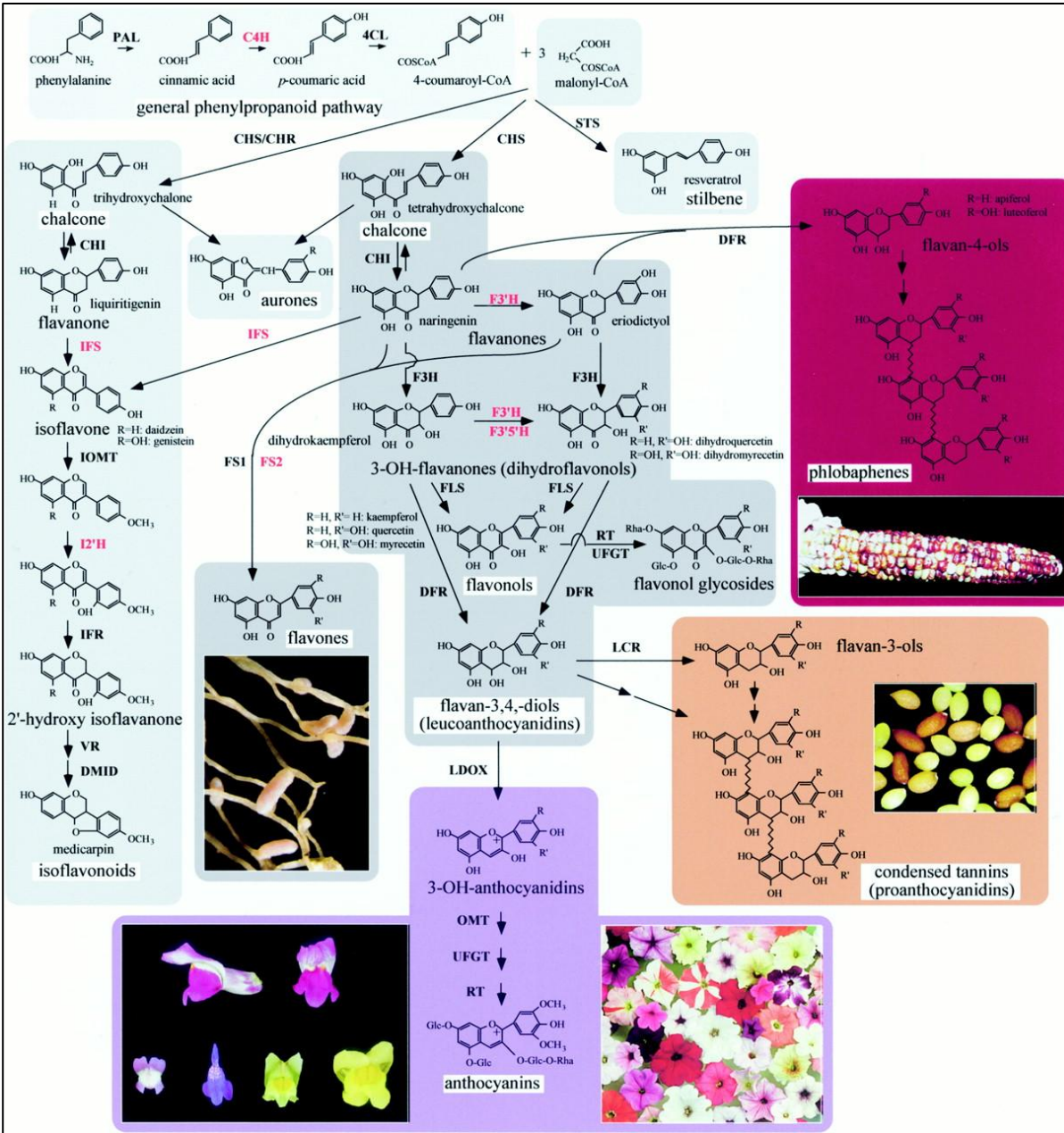
немецкий химик-органик,
лауреат Нобелевской
премии по химии в **1915**
году «за исследования
красящих веществ
растительного мира,
особенно хлорофилла»





Синий пеонидин (производное цианидина)
Зеленый остатки кофейной кислоты
Черный остатки глюкозы

Общая схема биосинтеза флавоноидных соединений



PAL - Phe ammonia-lyase

C4H - cinnamate-4-hydroxylase

4CL - 4-coumaroyl:CoA-ligase

CHS - chalcone synthase

CHR – chalcone reductase

STS - stilbene synthase

CHI - chalcone isomerase

F3H - flavanone 3-hydroxylase

F3'H - flavonoid 3' hydroxylase

F3'5'H - flavonoid 3'5' hyd

FSI /FSII - flavone synthase

FLS - flavonol synthase

DFR - dihydroflavonol 4-reductase

LDOX - leucoanthocyanidin dioxygenase

LCR - leucoanthocyanidin reductase

OMT – O-methyltransferase

UFGT – UDPG-flavonoid glucosyl transferase

RT - rhamnosyl transferase

IFS – isoflavone synthase

IOMT - isoflavone O-methyltransferase

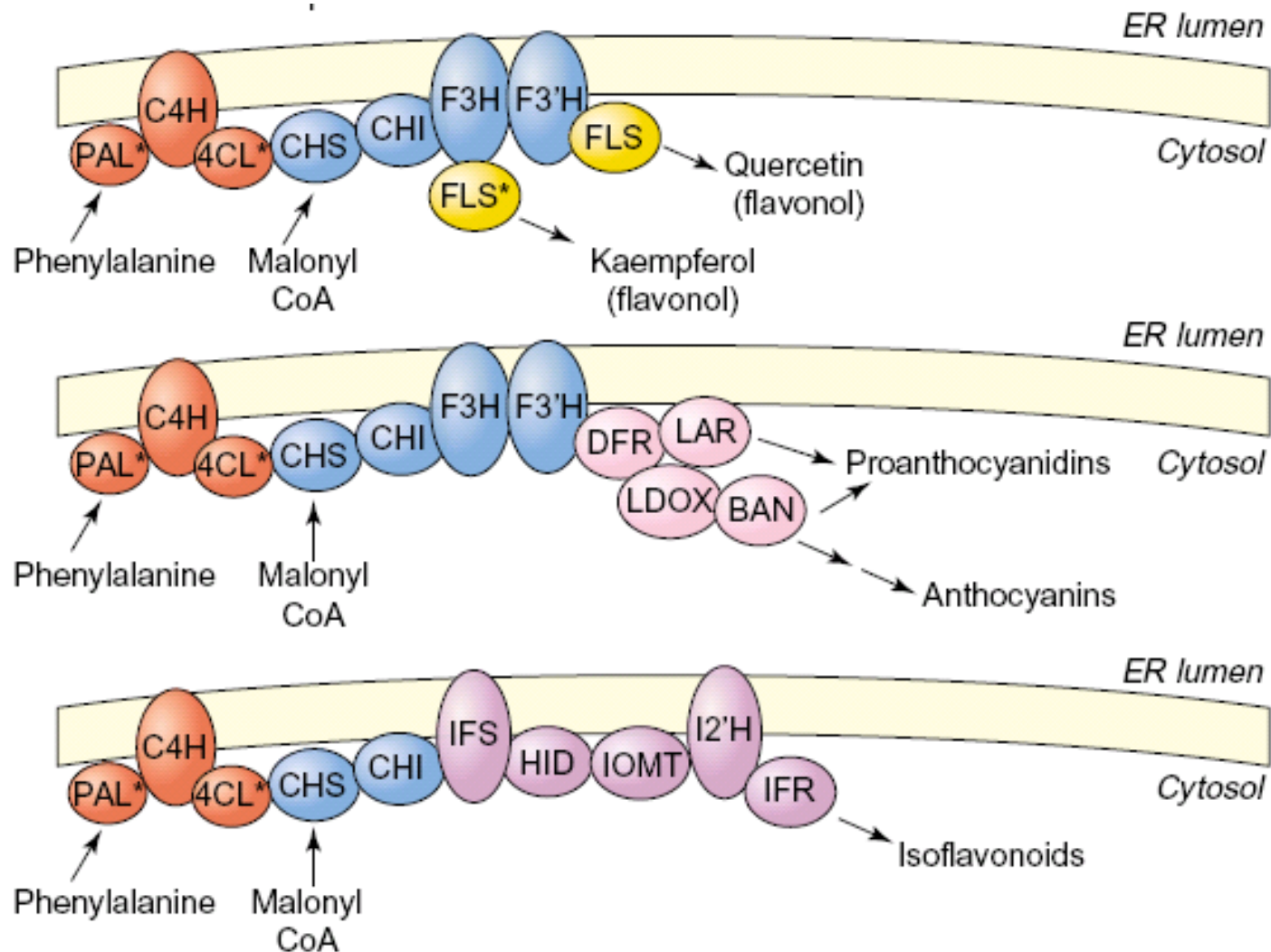
I2'H - isoflavone 2'-hydroxylase

IFR - isoflavone reductase

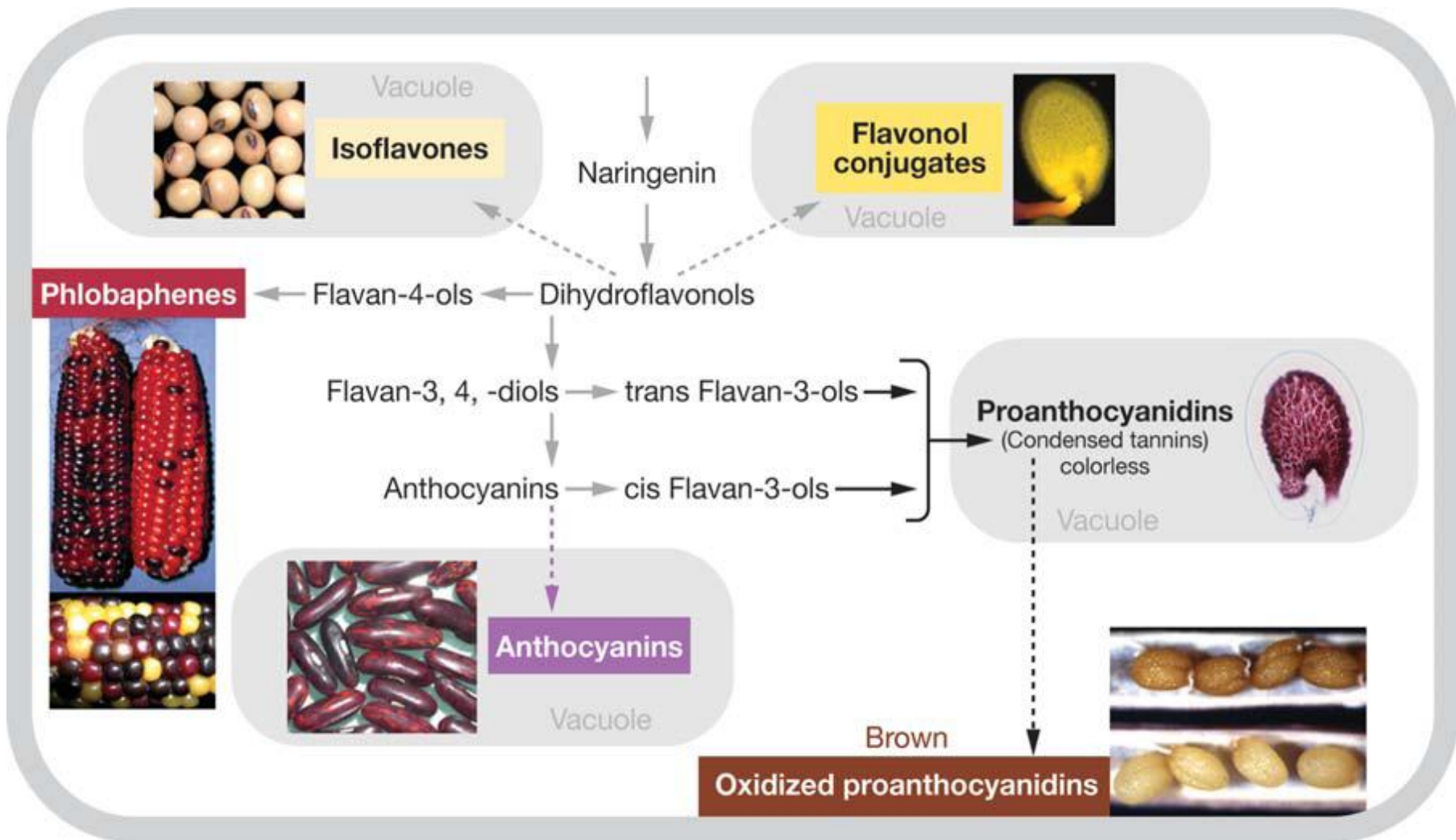
VR - vestitone reductase

DMID - 7,2'-dihydroxy, 4'-methoxyisoflavanol
dehydratase

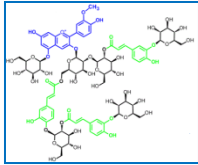
Метаболон – организация биосинтеза флавоноидных соединений



Место накопления флавоноидных соединений в клетке



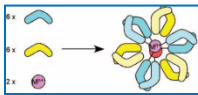
От чего зависит окраска тканей растений?



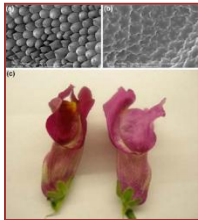
Химическая структура антоциана



pH среды

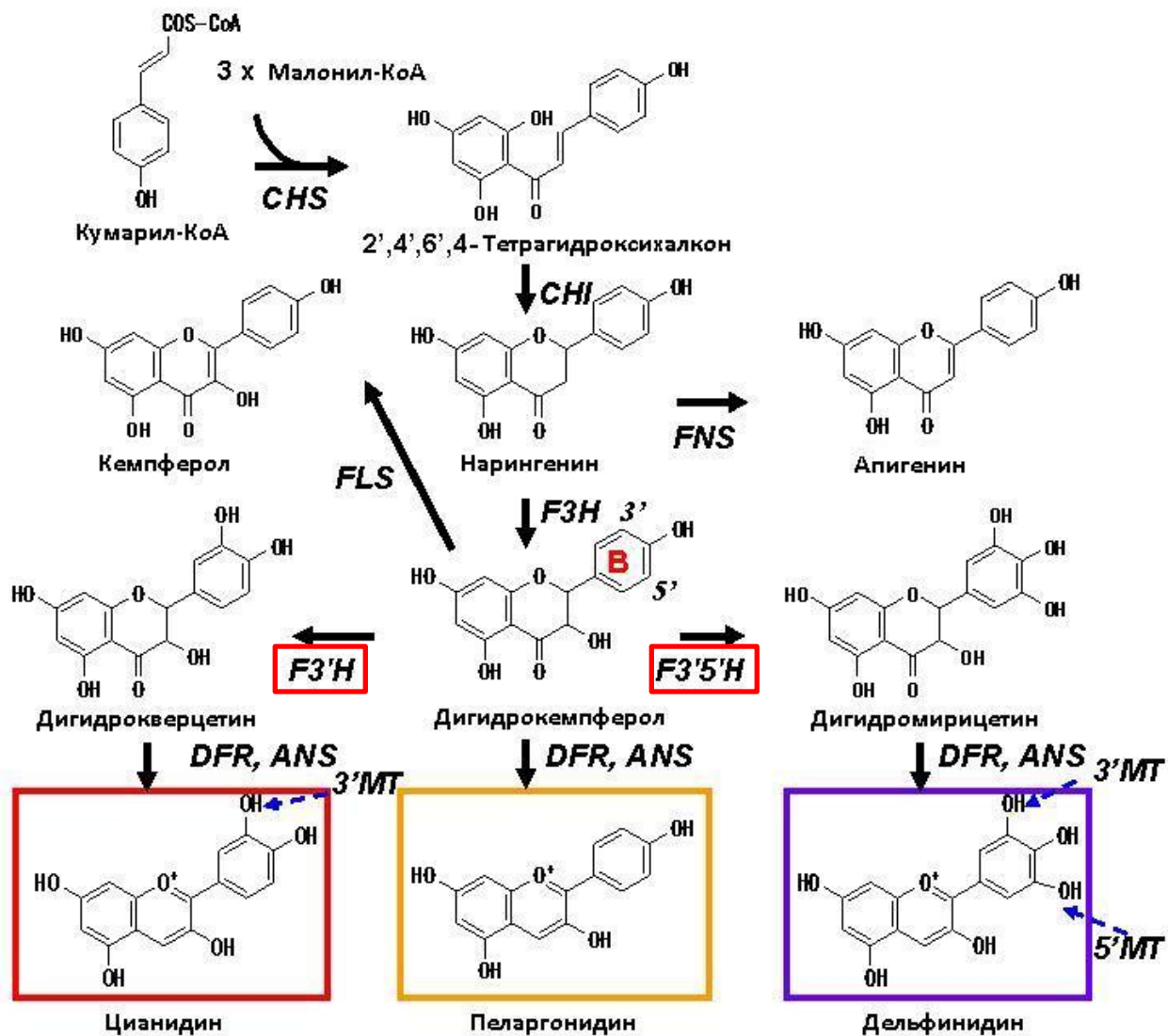


Наличие ко-пигментов, ионов металлов

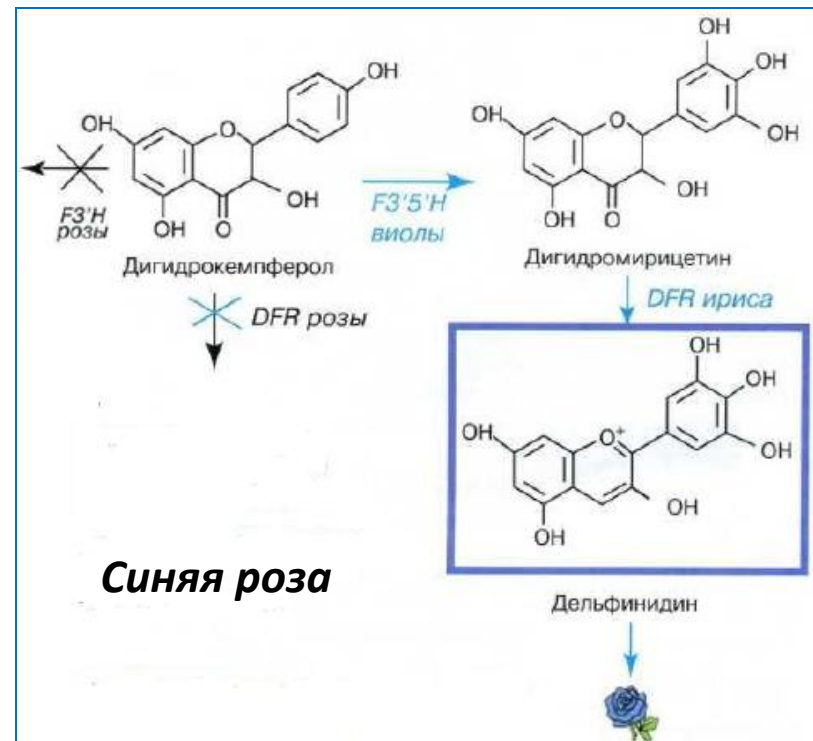
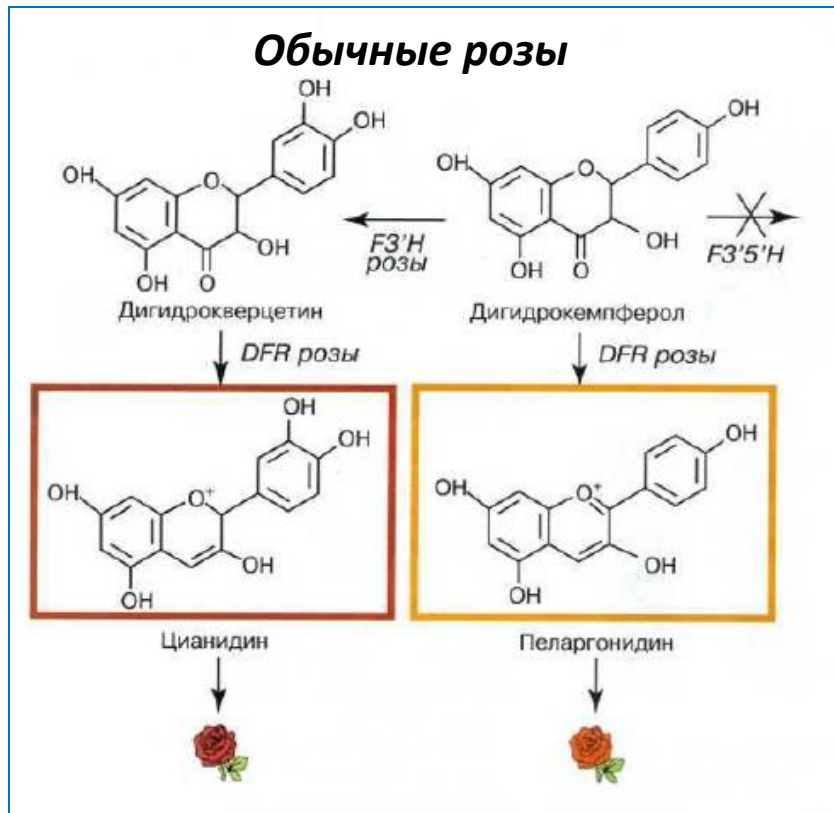


Форма клеток эпидермиса

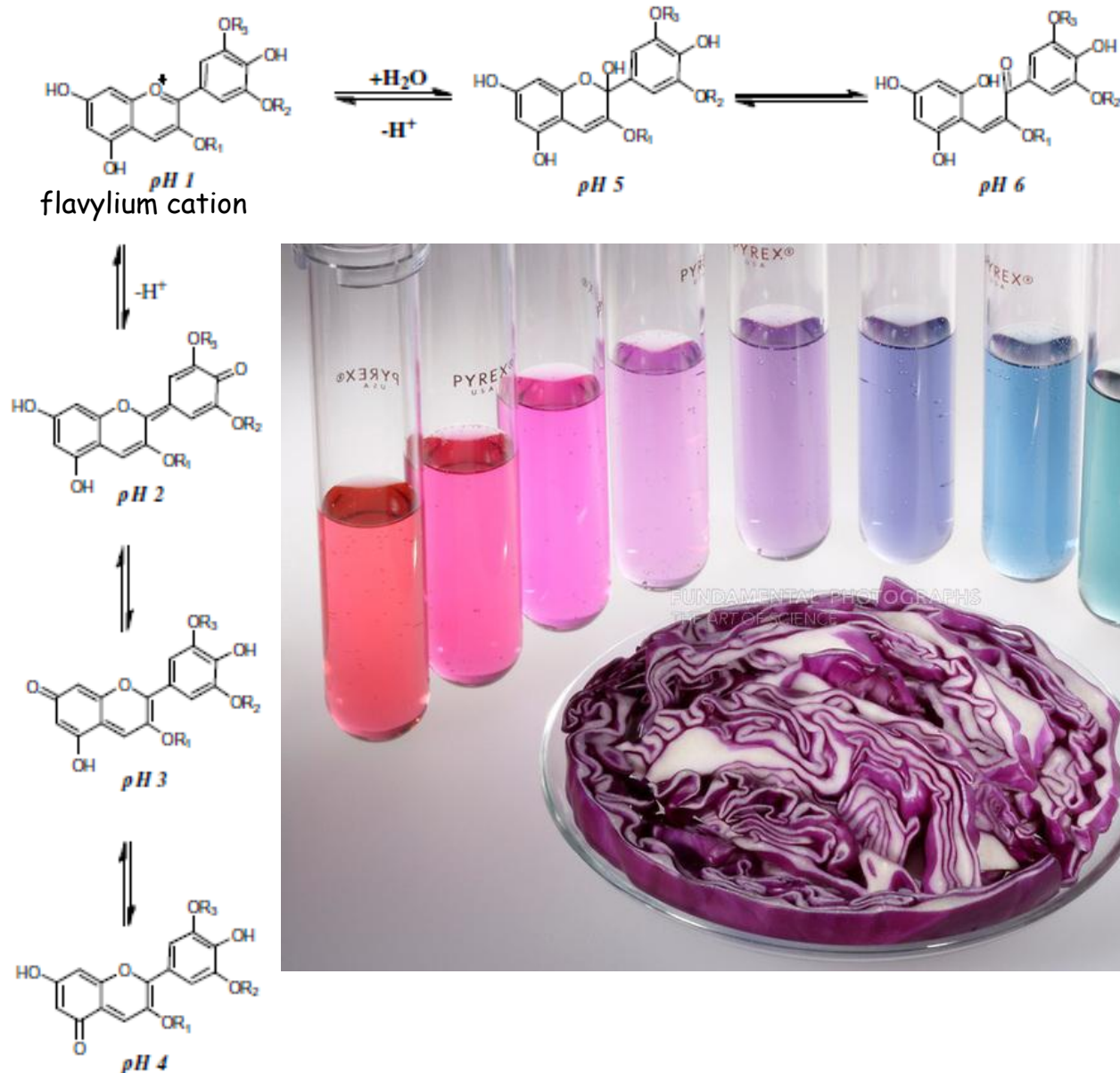
Структура антоцианидинов определяет окраску



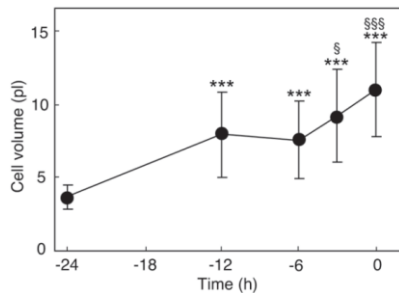
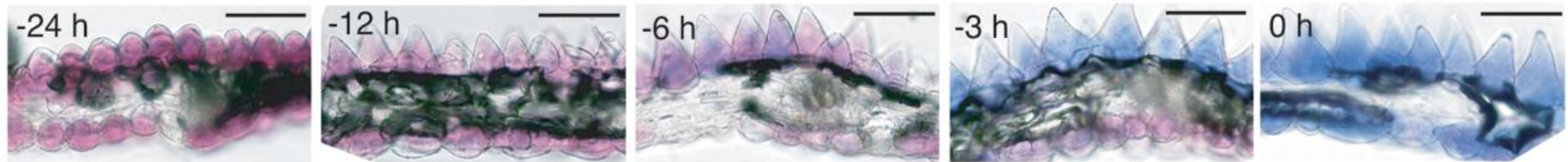
Не все растения могут синтезировать три базовых антоцианидина



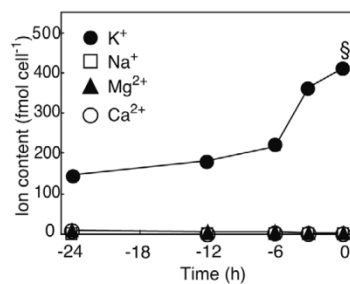
pH среды влияет на цвет



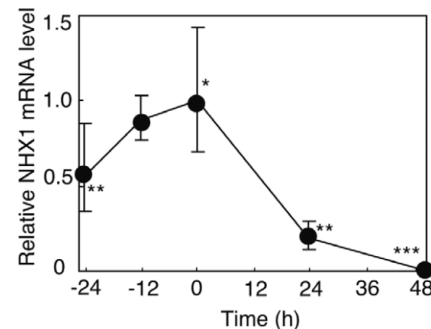
У ипомеи при распускании бутонов изменяется окраска



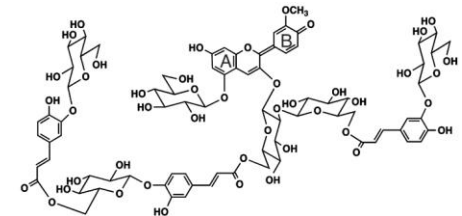
**Изменение объема
клеток лепестков**



**Изменение
концентрации ионов**



**Уровень экспрессии гена
NHX1 (натриевого канала)**



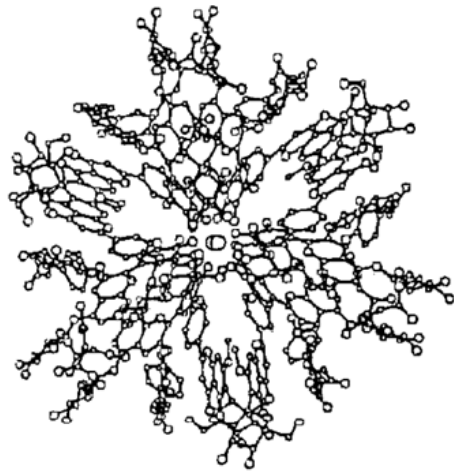
**Heavenly Blue
Anthocyanin**



Коммелинин – комплекс антоцианов с ионами Mg^{2+}

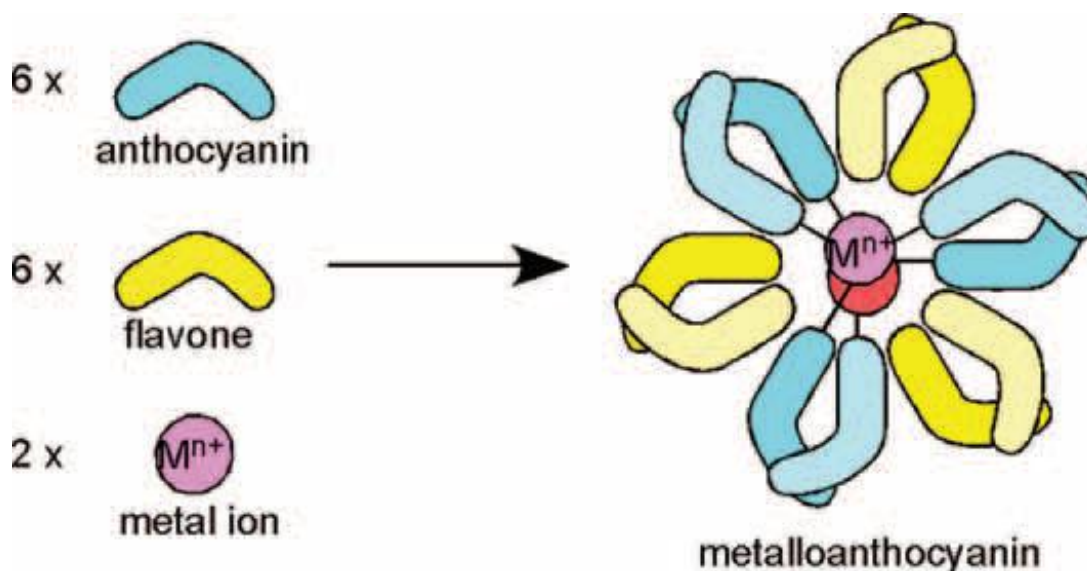


Commelina communis



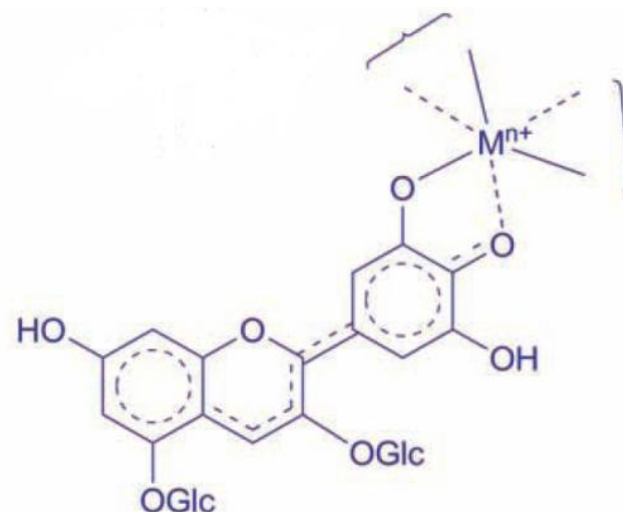
Yuzen dyeing is used to print the beautiful designs onto kimonos. It was created by Miyazaki Yuzen-sai in the middle of the Edo era (around 1700).

Металлоантоцианины



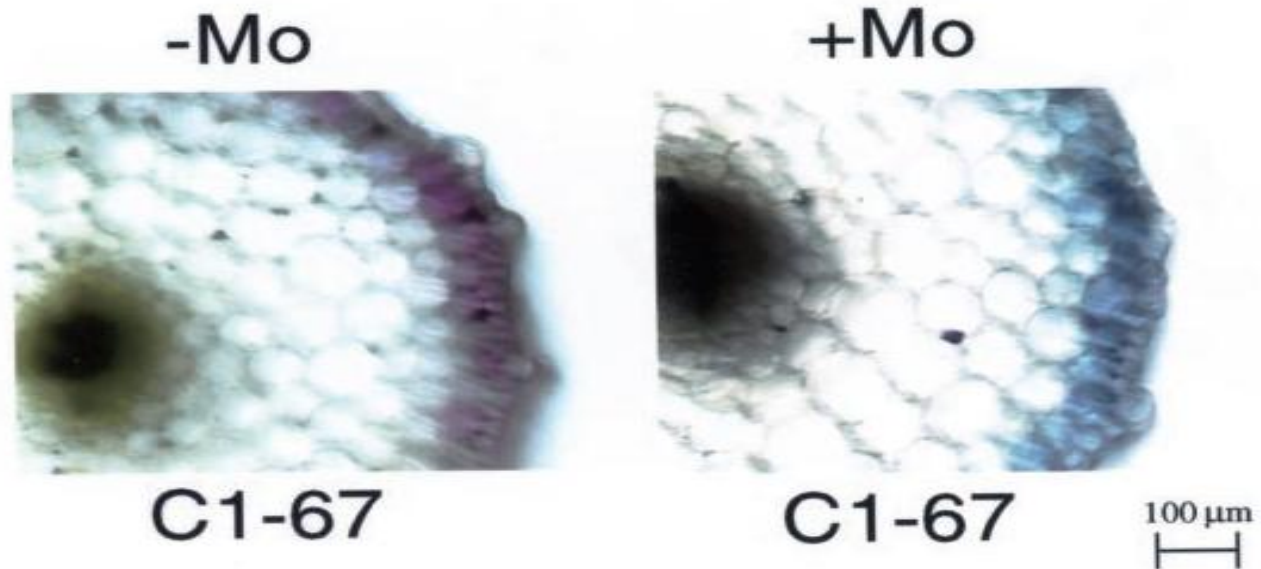
Yoshida et al /Nat. Prod. Rep., 26, 884–915 (2009)

Mg (Hayashi et al. 1958)
Al (Bayer et al., 1958)
Fe (Bayer et al., 1958)
Mn (Brouillard, 1982)
Cd (Harborne and Williams, 1998)
Mo (Hale et al., 2001)
Zn (Harborne and Williams, 2001)
W (Hale et al., 2002)
Co (Williams and Grayer, 2004)
Ni (Nigel and Grayer, 2008)



Образование комплексов с ионами металлов

Накопление ионов молибдена в корнях *Brassica juncea* L.

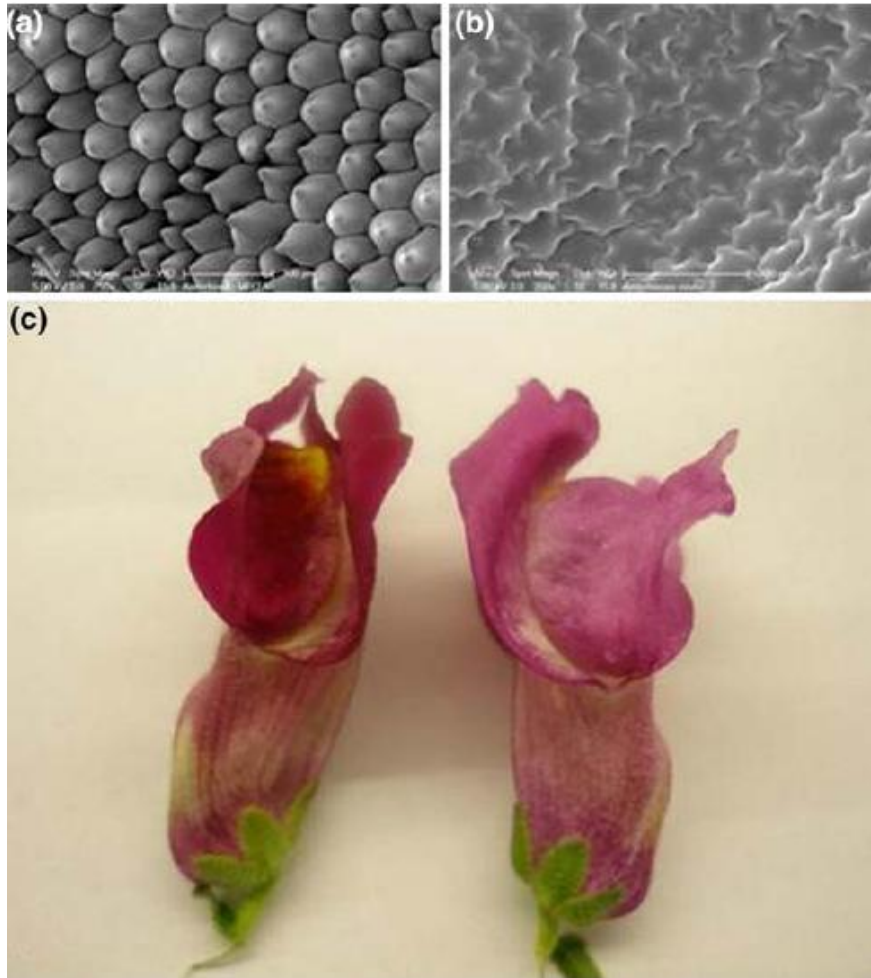


Hale et al., 2001

Форма клеток влияет на окраску

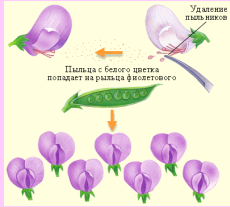
WT

mixta



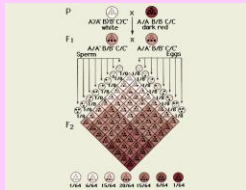
H.M. Whitney & B.J. Glover / Arthropod-Plant Interactions 1 (2007) 147–158

Изучение наследования признаков пигментации растений внесло неоценимый вклад в развитие биологии



Законы наследственности

Г. Мендель 1856



Принцип полимерии

Г. Нильссон-Эле 1909



Парамутации

Р.А. Бринк 1956



Мобильные элементы

Б. МакКлинток 1956



Сайленсинг генов

С. Napoli et al. 1990

A. van der Krol et al. 1990

С любезного разрешения д.б.н. Хлесткиной Е.К.

Наблюдение мутаций, затрагивающих окраску цветков у петунии



Кукуруза



Glass Gem



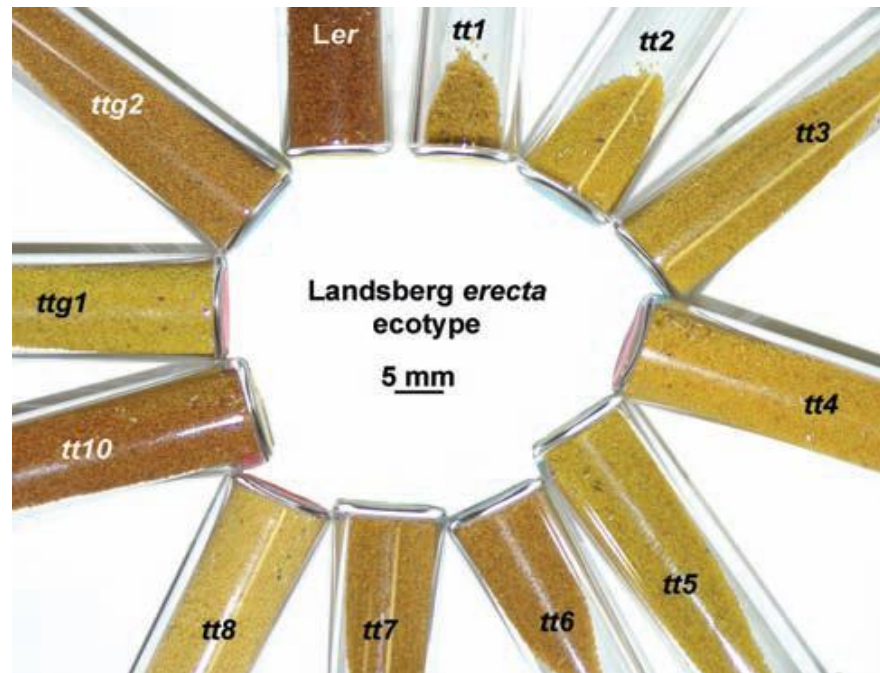
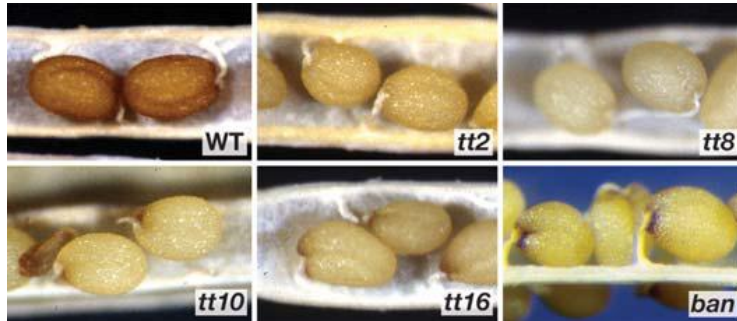
700 мутантов по биосинтезу антоцианов/проантоцианидинов было получено в Carlsberg Laboratory с 1977 года. Мутации затрагивали 10 независимых *ant* локусов

Jende-Strid/Hereditas 119; 187-204 (1993)



Наблюдение мутаций, затрагивающих окраску зерна у арабидопсиса

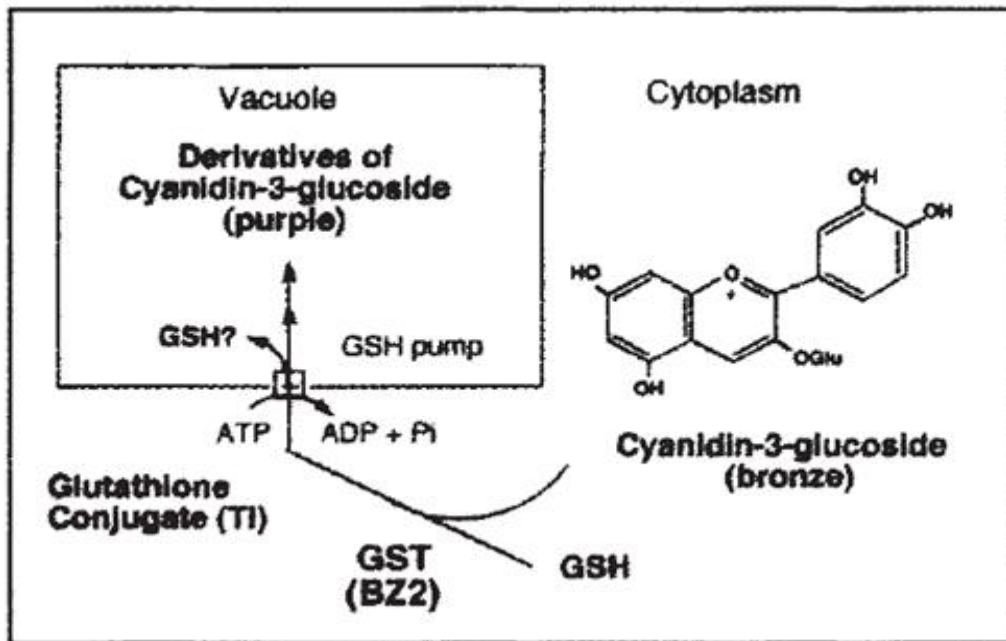
transparent testa (tt) mutants



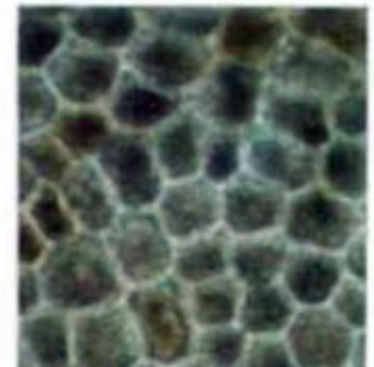
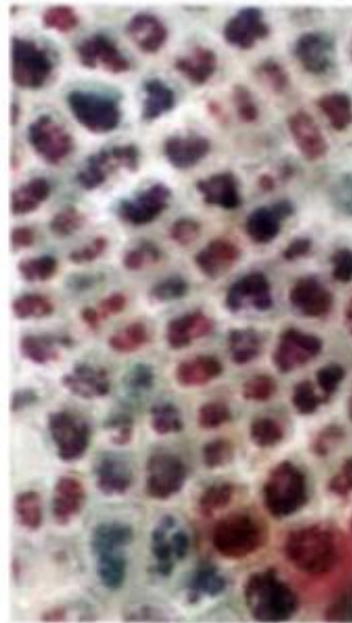
Локусы, вовлеченные в биосинтез проантоцианидинов у арабидопсиса

Locus	Seed coat color ^a	Gene product	Branch ^b
Structural genes			
<i>tt3</i>	Yellow	Dihydroflavonol reductase (DFR)	P, A
<i>tt4</i>	Yellow	Chalcone synthase (CHS)	P, F, A
<i>tt5</i>	Yellow	Chalcone isomerase (CHI)	P, F, A
<i>tt6</i>	Pale brown spotted	Flavanone-3-hydroxylase (F3H)	P, F, A
<i>tt7</i>	Pale brown spotted	Flavanone-3'-hydroxylase (F3'H)	P, F, A
<i>tt10</i>	Dark yellow/brown C ^c	Polyphenol oxydase (PPO)	P, F
<i>tt12</i>	Pale brown	MATE secondary transporter	P
<i>tt15</i>	Pale brown/brown CM	Glycosyltransferase (GT)	P
<i>tt18/ tds4/ tt11</i>	Yellow	Leucocyanidin dioxygenase (LDOX) ^d	P, A
<i>tt19/tt14</i>	Dark yellow ³	Glutathione S-transferase (GST)	P, A
<i>ban</i>	Pale gray/gray CM	Anthocyanidin reductase (ANR)	P
<i>aba10</i>	Pale brown	Autoinhibited H ⁺ -ATPase isoform 10	P
Regulatory genes			
<i>tt1</i>	Yellow/brown CM	Transcription factor WIP-type Zn-Finger	P
<i>tt2</i>	Yellow	Transcription factor AtMYB123	P
<i>tt8</i>	Yellow	Transcription factor AtbHLH042	P, A
<i>tt16 /abs</i>	Yellow/brown CM	Transcription factor MADS AtAGL32	P
<i>ttg1</i>	Yellow	Regulatory protein ("WD40" or "WDR")	P, A
<i>ttg2</i>	Yellow	Transcription factor AtWRKY44	P
Other loci			
<i>tt9</i>	Pale gray/dark CM	Unknown	?
<i>tt13</i>	Pale brown	Unknown	?
<i>tt17</i>	Pale brown	Unknown	?
<i>tds1,3, 5, 6</i>	Pale brown	Unknown	P
<i>tds2</i>	Pale brown	Unknown	P, A

Мутации в генах, кодирующих транспортёры пигментов



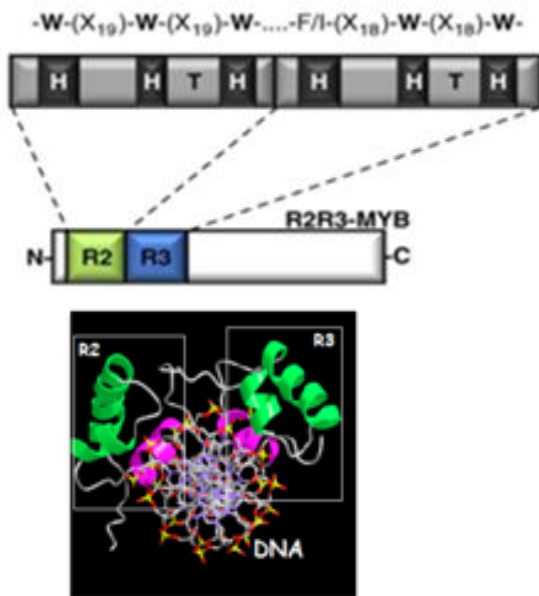
bronze-2



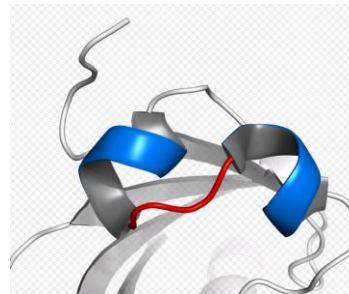
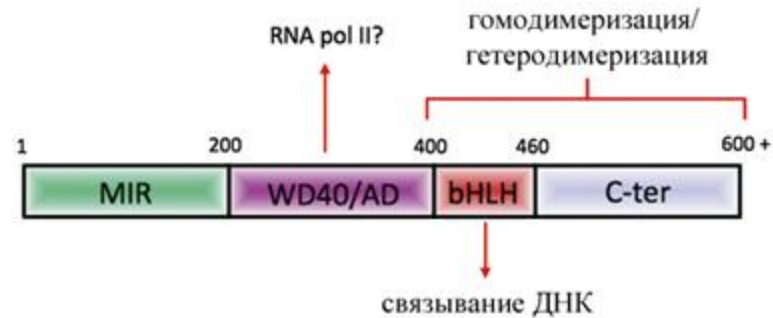
Marrs et al / Nature, 375 (1995)

Транскрипционные факторы

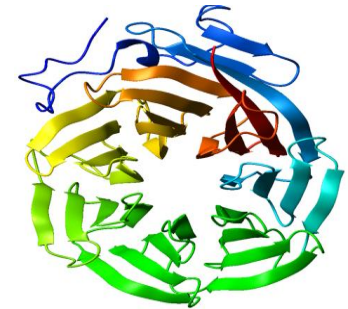
MYB регуляторные факторы



MYC (bHLH) регуляторные факторы



регуляторные факторы с WD40 повторами



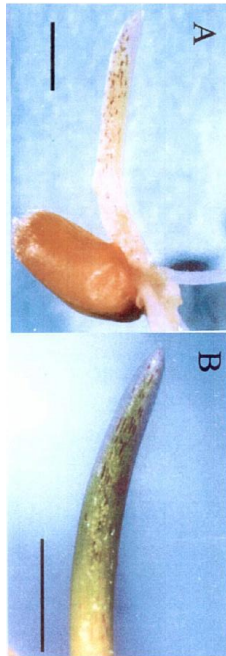
Транскрипционные факторы

Вид	MYB	MYC (bHLH)	WD40	ССЫЛКИ
<i>Zea mays</i> L.	C1 PL	R B LC IN1*	PAC1	Cone et al., 1986 Paz-Ares et al., 1987 Dellaporta et al., 1988 Chandler et al., 1989 Ludwig et al., 1989 Cone et al., 1993a Burr et al., 1996 Selinger and Chandler, 1999 Carey et al., 2004
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	PAP1/ ATMYB75 PAP2/ ATMYB90 MYBL2* CPC*	TT8 GL3 MYC-146 EGL3	TTG1	Walker et al., 1999 Borevitz et al., 2000 Nesi et al., 2000 Payne et al., 2000 Ramsay et al., 2003 Zhang et al., 2003 Dubos et al., 2008 Zhu et al., 2009
<i>Petunia hybrida</i> L.	AN2 AN4	AN1 JAF13	AN11	Quattrocchio et al., 1993 Quattrocchio et al., 1998 Quattrocchio et al., 1999 de Vetten et al., 1999 Spelt et al., 2000
<i>Anthirrhinum majus</i> L.	ROSEA1 ROSEA2 VENOSA	DELILA MUTABILIS	-	Goodrich et al., 1992 Schwinn et al., 2006

Система генов биосинтеза антоциановых пигментов универсальна для растений

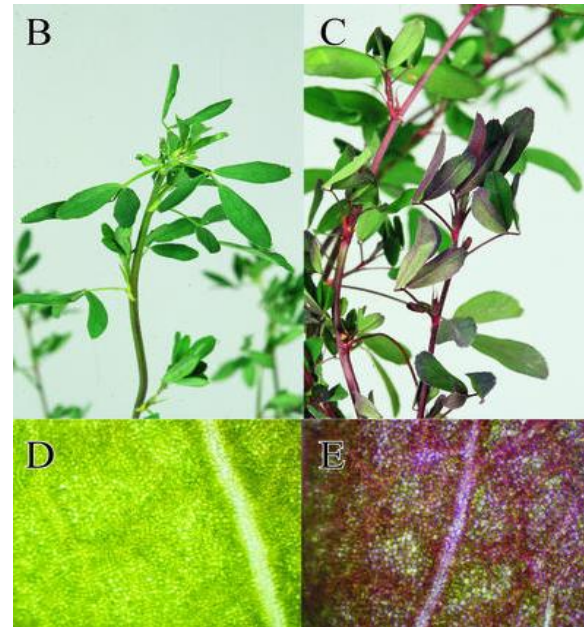
(эксперименты по генетической трансформации)

пшеница Chinese Spring ← гены *C1* и *B-peru* кукурузы



Ahmed et al / Breeding science 53: 29-34 (2003)

люцерна ← ген *Lc* кукурузы



Ray et al / Plant Physiol 132(3), 1448–1463 (2003)

Существуют отличия между видами растений в регуляции биосинтеза антоцианов

* Эксперименты по генетической трансформации

томат ← гены *C1* и *Lc*
кукурузы

отсутствие активации биосинтеза



Bovy et al / Plant Cell 14: 2509-2526 (2002)

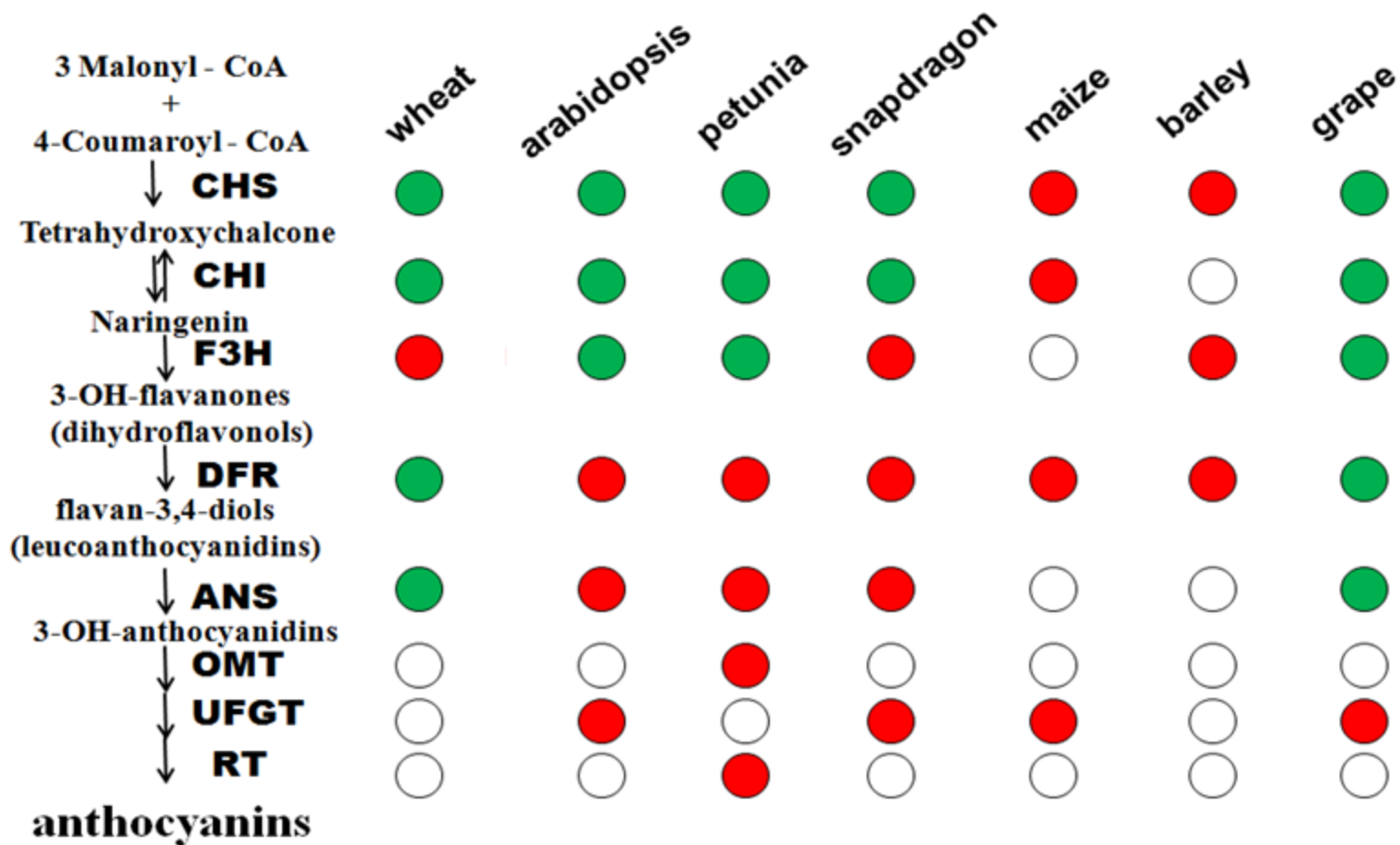
томат ← гены *Del* и *Ros1*
львиного зева



*Butelli et al / Nat Biotechnol 26:
1301-1308 (2008)*

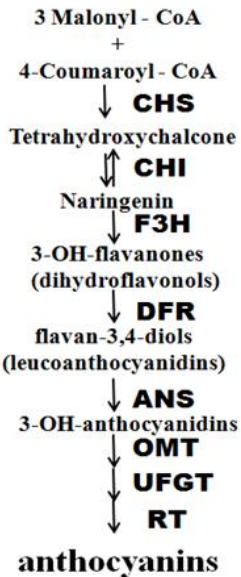


Гены биосинтеза антоцианов регулируются по-разному у разных видов растений

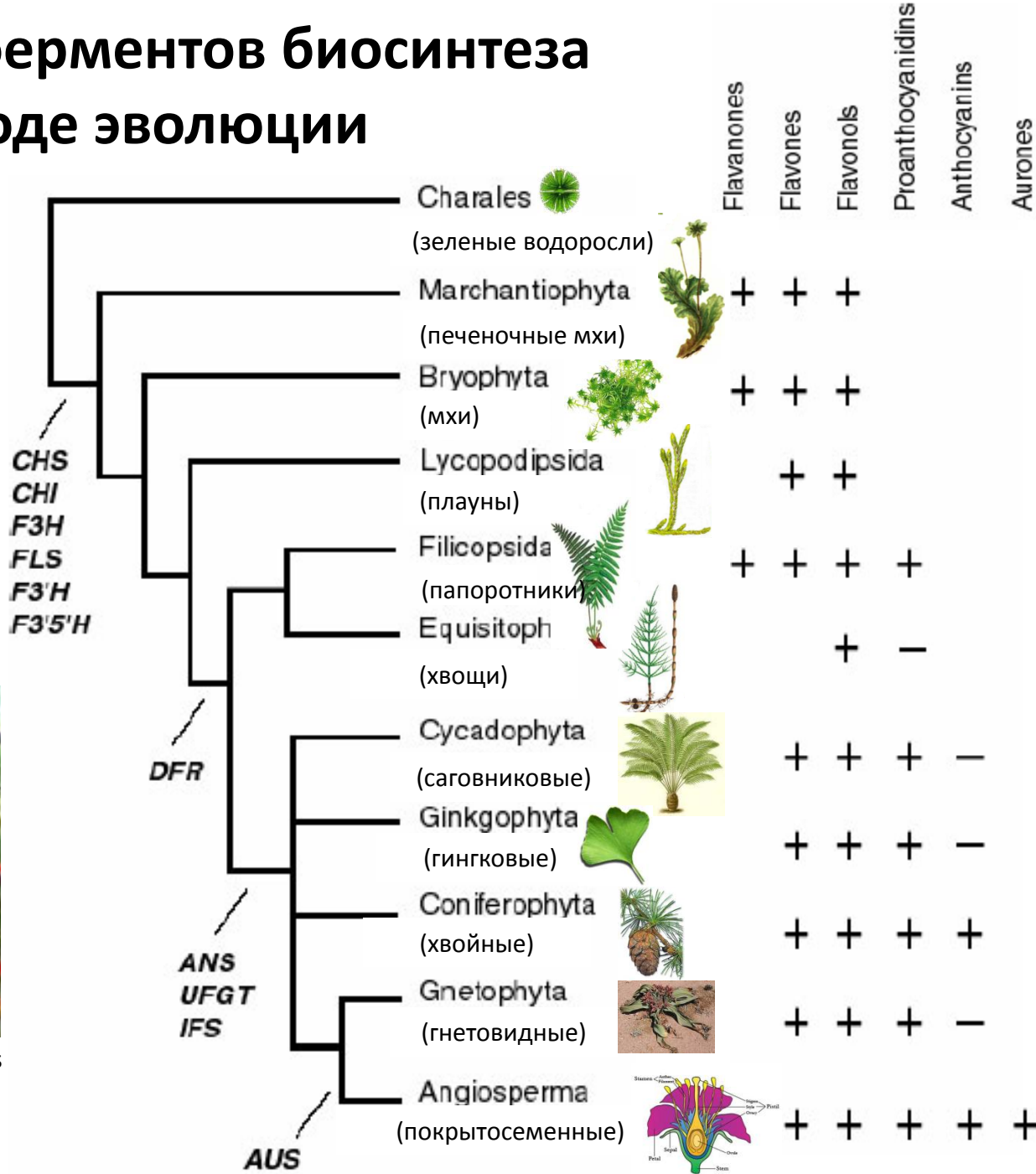


- Red circle: экспрессия зависит от регуляторного фактора
- Green circle: экспрессия не зависит от регуляторного фактора
- White circle: экспрессия не исследовалась

Возникновение ферментов биосинтеза флавоноидов в ходе эволюции

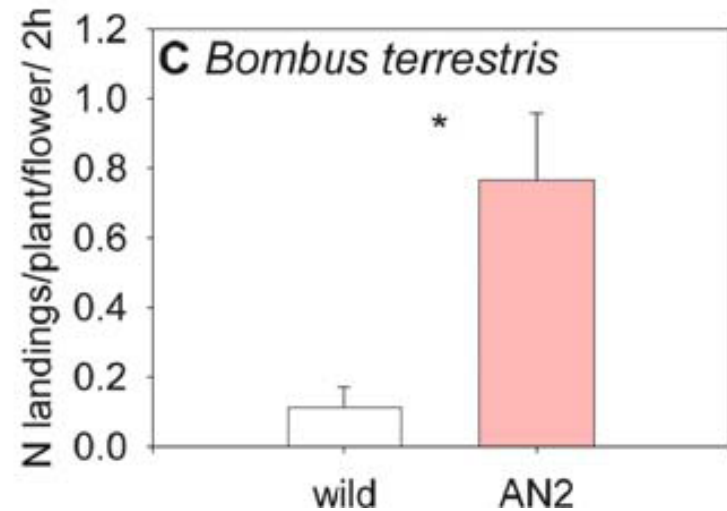
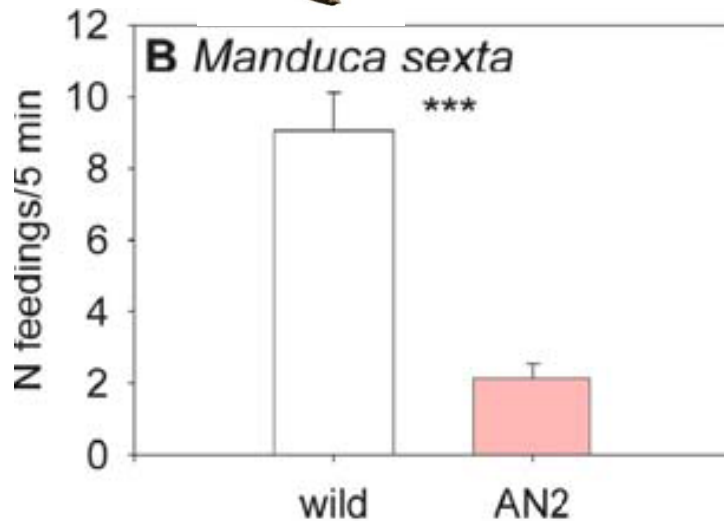


Crowden RK. Anthocyanins from five species of the podocarpaceae *Phytochemistry*, 10(11): 2821–2822 (1971)



Функциональная роль пигментов

* Привлечение опылителей и распространителей семян



Функциональная роль пигментов

* защита в условиях абиотического стресса

действие света высокой
интенсивности на
Capsicum annuum L.



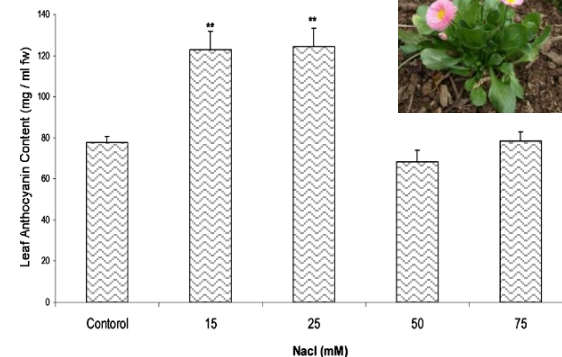
Lightbourn, 2007

листья салата при УФ-
облучении



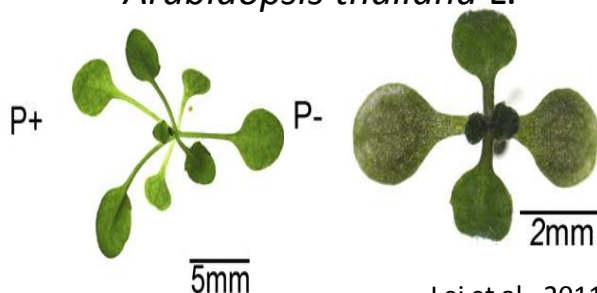
Park et al., 2007

действие солевого стресса
на *Bellis perennis*



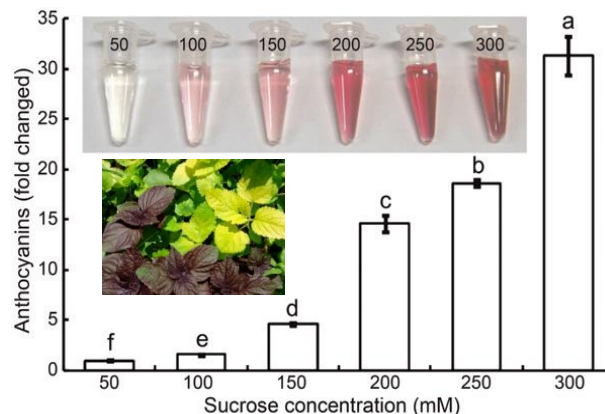
Khan and Weber, 2008

фосфорное голодание у
Arabidopsis thaliana L.



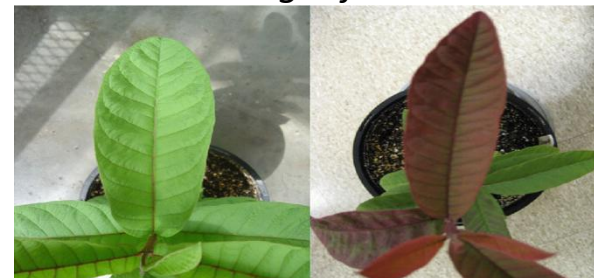
Lei et al., 2011

действие сахарозы на
Melissa officinalis



Hossain et al., 2009

действие холода на
Psidium guajava L.



Hao et al., 2009

Роль антоциановых/флавоноидных соединений в защите растений

***в условиях абиотического стресса:**

недостаток питательных веществ

ионы тяжёлых металлов

засоление

УФ-свет

засуха

холод

+

Антоцианы

фотозащитная
функция

антиоксиданты

осморегуля-
торы

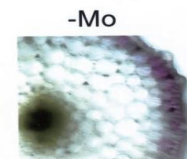
хелаторы
ионов тяжёлых
металлов

↓ -
УФ-свет;
недостаток
питательных
веществ;
засоление;
засуха;
холод

↓ -
все типы
стрессов

↓ -
засоление;
засуха;
высокие/
низкие
температуры

↓ -
токсичность
тяжёлых
металлов



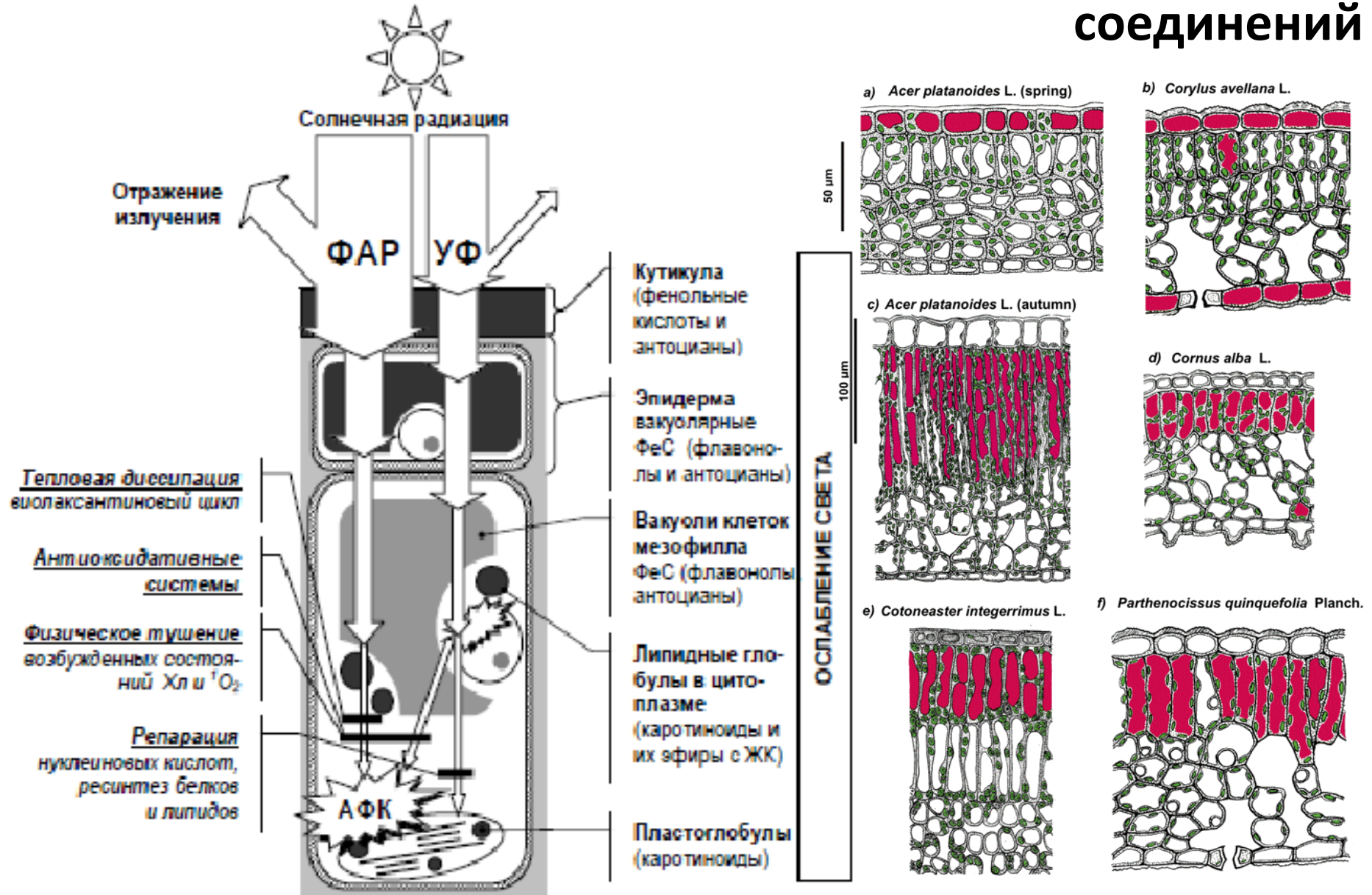
C1-67



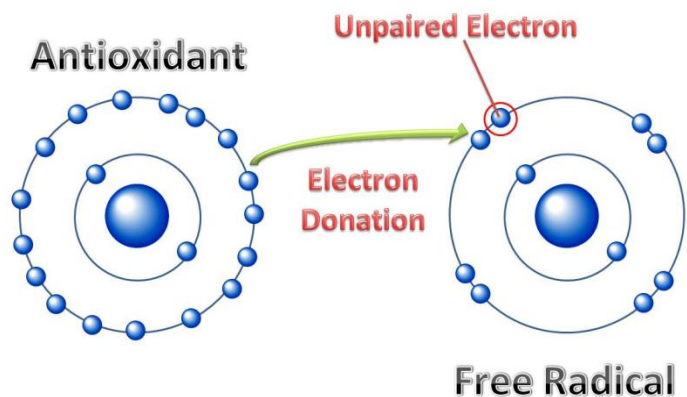
C1-67

100 μm

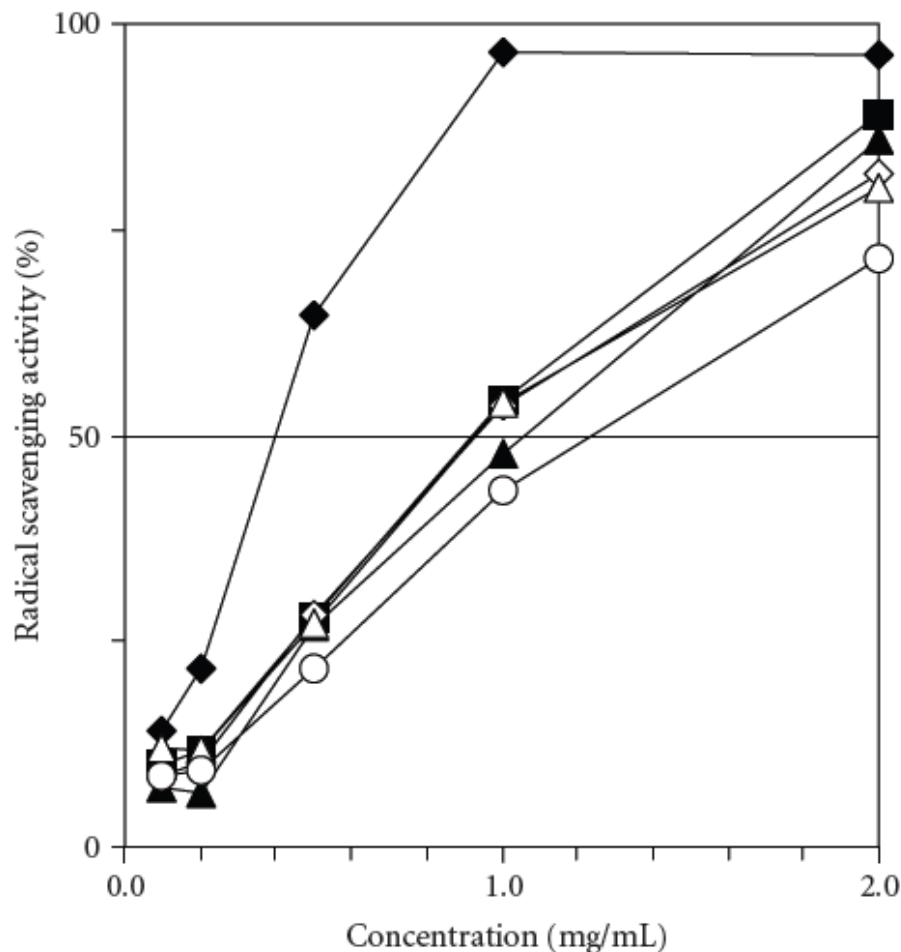
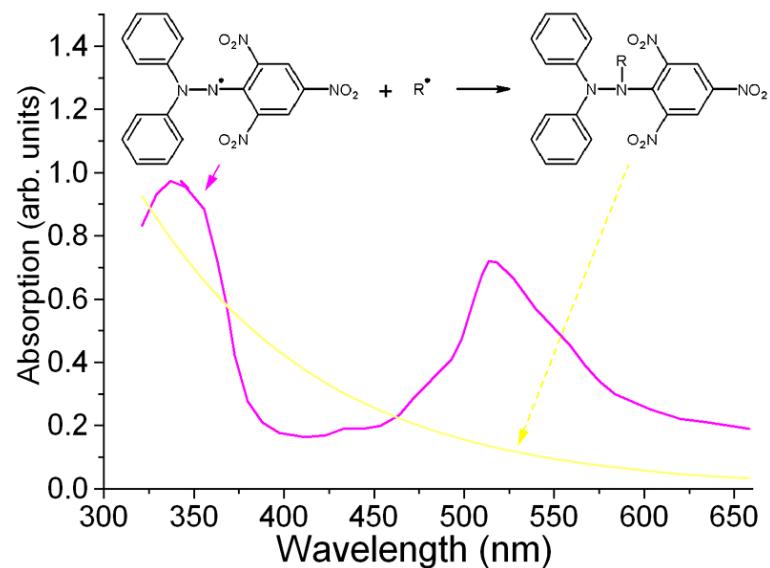
Фотозащитная функция антоциановых / флаваноидных соединений



Антиоксидантная активность антоциановых пигментов



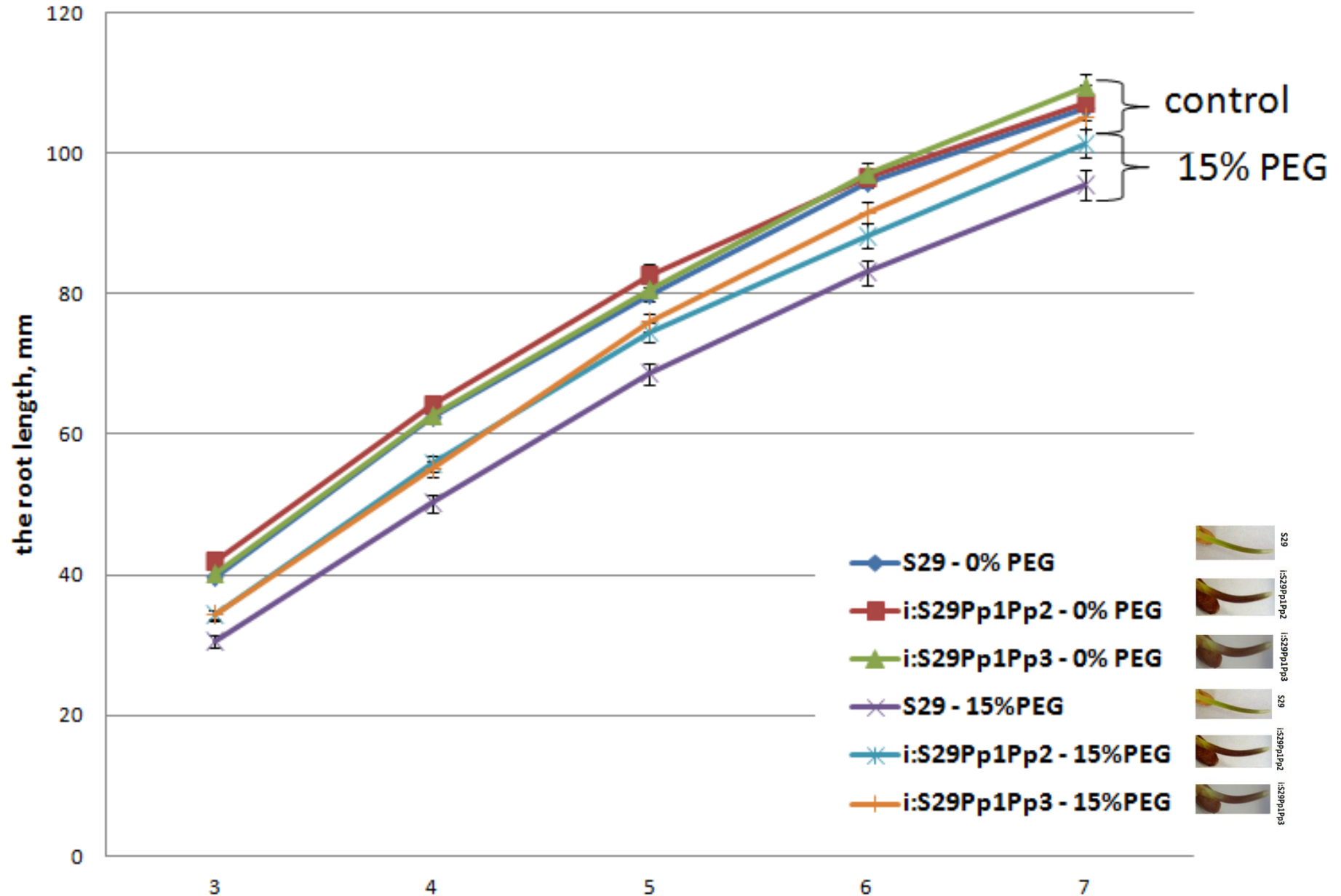
Тест с ДФПГ
(2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом)



Nakajima et al / J Biomed Biotech 5 241-247 (2004)



Антоцианы повышают устойчивость растений к стрессу

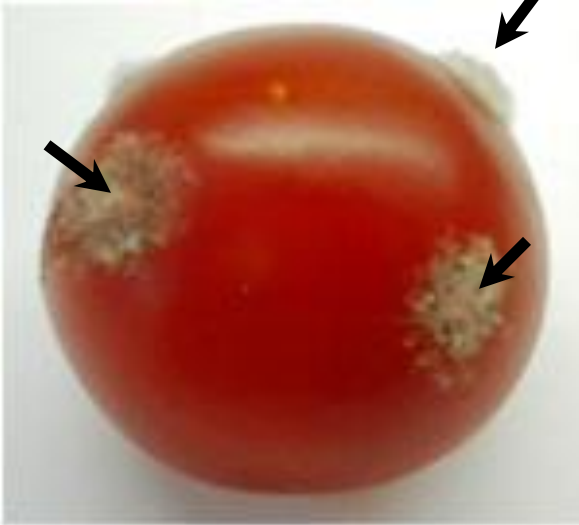


Функциональная роль пигментов

* защита в условиях биотического стресса

Томаты и *Botrytis cinerea* (серая плесень)

Ailsa Craig



Aft/Aft atv/atv



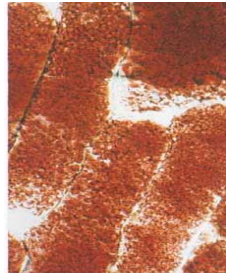
Aft/Aft atv/atv



Функциональная роль пигментов

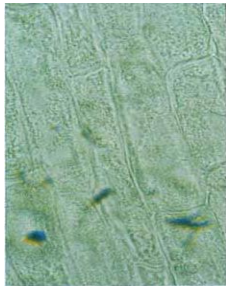
* Защита от патогенных микроорганизмов

ячмень
сорта
Trumph



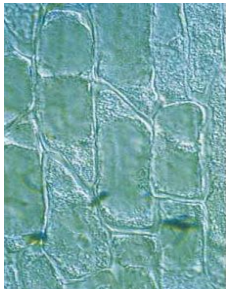
ant-13

мутация в
регуляторном
гене



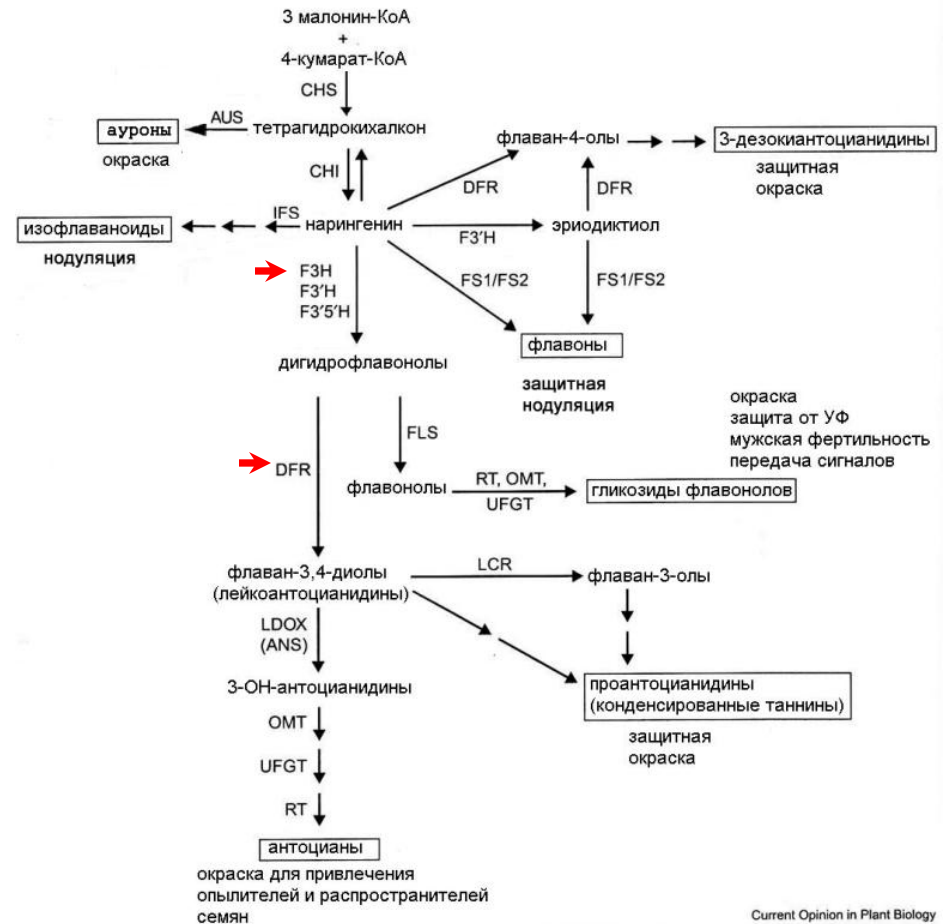
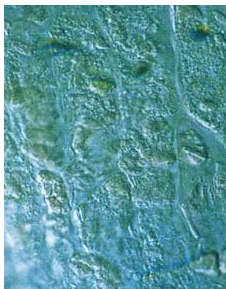
ant-17

мутация в
гене *F3h*



ant-18

мутация в
гене *Dfr*



Current Opinion in Plant Biology

Роль антоциановых /флавоноидных соединений в защите растений

*** в условиях биотического стресса**

Связывание ферментов патогенных микроорганизмов, в том числе ферментов, разрушающих клеточную стенку растений (целлюлаз, ксиланаз и пектиназ)

Хелатирование металлов, необходимых для активности ферментов патогенных микроорганизмов

Антоцианы полезны для человека

Защита от сердечно-сосудистых заболеваний

снижение хрупкости и проницаемости капилляров
защита от окислительного стресса

Антиканцерогенные свойства

подавление активности митоген-активируемых
протеинкиназ

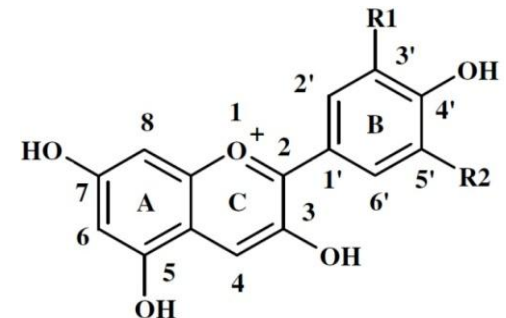
Повышение остроты зрения

восстановление родопсина

Противовоспалительный эффект

подавление экспрессии генов, кодирующих белки,
вовлеченные в воспалительные процессы

Антимикробная активность



Выводы:

Пигменты

Очень красивые

Очень полезные

Очень интересные

