

Любая наука
получает развитие,
когда на неё есть
спрос не только
среди учёных, но и
у людей, не
связанных с наукой.

Однако этот спрос
сохраняется
только том
случае, когда
наука
соответствует
времени и
отвечает на его
Вызовы.



Космическое растениеводство – НОВЫЙ ВЫЗОВ физиологии растений 21 века



<https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitropism>

Изучение изменённых условий гравитации приобретает все большую актуальность в связи с необходимостью разработки технологий, позволяющих выращивать растения на Луне/Марсе и орбитальных космических станциях.

Процесс эволюции протекает на Земле при постоянном воздействии её гравитационного поля. Поэтому растения используют вектор силы тяжести Земли как надёжный ориентир и главную ось, относительно которой строится и функционирует растительный организм. Растения способны очень тонко «оценивать» свое положение относительно вектора силы тяжести и, проявляя **гравитропизм**, корректировать полярным ростом положение своих органов в пространстве.



<https://www.roscosmos.ru/3058/>

Космонавт Максим Сураев с растениями пшеницы, выращенными в установке «Лада» на борту МКС, 2014 г.

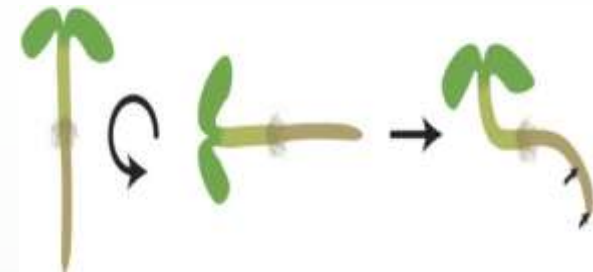
Методические подходы в изучении роли гравитации в жизнедеятельности растений



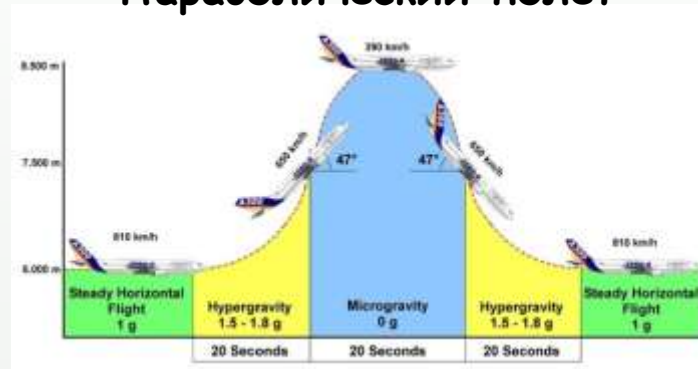
Микрогравитация



Гравистимуляция



Параболический полет



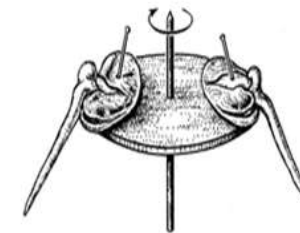
Изменение ориентации растения в пространстве, вызывает ответную ростовую реакцию - **гравитропизм**.

Клиностамирование



«Когда растение вращается с помощью клиноста́та, совершая один оборот за 3-4 мин, положение растения непрерывно меняется и **действие силы тяжести не успевает проявиться**»
Вильгельм Пфферер, 1904

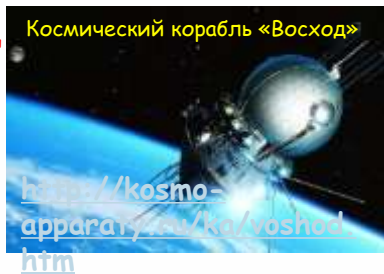
Центрифугирование



Опыт Томаса Найта:

При вращении прорастающего семени (150 об/мин) **рост корня идет в направлении центробежной силы - растение принимает его за направление вектора силы тяжести.**

Первые «оранжереи» появились в 1960-х гг. на кораблях "Восход". Это был пластиковый стакан с крышкой, на котором сверху размещался светильник, а внизу - субстрат с семенами или луковицами. Космонавт вручную увлажнял субстрат. В эксперименте выращивали тюльпаны и гиацинт, которые проросли, но не зацвели.

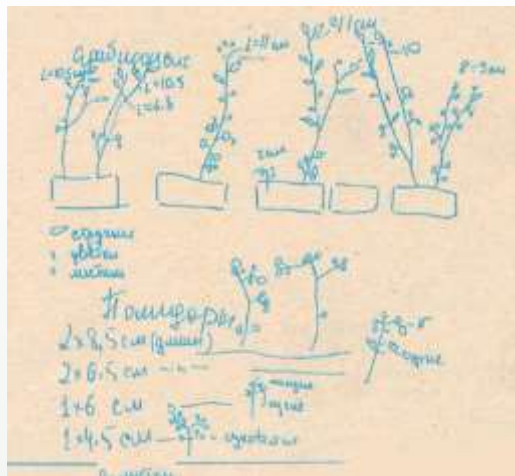


Следующим этапом космического растениеводства было создание оранжерей типа "Оазис".

В Оазисе 1 М выращивался горох и лук. Эта установка использовалась на станциях «Салют-7» и «МИР».



«Оазис-1» в Музее космонавтики.



Страница из бортжурнала станции «Салют-7» с зарисовками космонавта Светланы Савицкой.

В 1982 году на станции Салют-7 в камере "Фитон-3" (вариант Оазиса) зацвел арабидопсис. Семена с помощью сеялки-пушки высели космонавты. 2 августа 1982 года космонавт Валентин Лебедев сообщил:

- Появилось много, много бутонов и **первые цветы**.
 - 19 августа космонавты поинтересовались у ЦУПа:
 - Могут быть у арабидопсиса стручки?
 - Конечно.
 - А какого они цвета?
 - Сперва зеленые, а потом темнеют до светло-коричневого.
 - Значит, и вас, и нас можно поздравить с успехом. Семь зрелых стручков и много созревающих. Настоящая удача!
- Прибывшей на станцию Светлане Савицкой космонавты вручили небольшой букетик из цветов арабидопсиса.

Она тщательно зарисовала его. На рисунке семь цветущих растений и 27 стручков. При подсчете на Земле в стручках обнаружили **200 зрелых семян**.

Поэтому можно сказать, что **«Космическое растениеводство родилось 2 августа 1982 года».**



Этот эксперимент подготовили и вместе с космонавтами провели литовские ученые из ин-та Ботаники Литовской АН под руководством академика А.И. Меркиса

Меркис А.И., Лауринвичус Р.С. Полный цикл индивидуального развития растений арабидопсиса на борту орбитальной станции "Салют-7". ДАН АН СССР. 1983. Т. 271. С. 509-512.



Космическая станция Салют-7

1 февраля 1985-го с «Салютом-7» была потеряна связь. Станция теряла высоту. Было принято решение попытаться её спасти. Космонавты Виктор Савиных и Владимир Джанибеков долетели до заброшенной станции и починили ее. В феврале 1991 г. комплекс вошёл в атмосферу на скорости свыше 30 000 км/ч и сгорел.





Самый большой объем биологических экспериментов был проведен на борту станции «Мир».

Удалось вырастить 4 вида салатных культур, а также , а также редис и растения пшеницы.



В первой **автоматической оранжерее "Свет"** (спроектирована вместе с болгарскими учеными для станции «Мир» (Ivanova et al., 1994) использовался собственный микропроцессор, который получал данные от датчиков и управлял системой освещения, вентиляцией и компрессором.

Ivanova, T., Sapunova, S., Dandolov, I., Ivanov, Y., Meleshko, G., Mashinsky, A., Berkovich, Y., 1994. 'SVET' space greenhouse onboard experiment data received from 'MIR' station and future prospects. Adv. Space Res. 14, 343-346.

23 марта 2001 года - станция «Мир» была затоплена в Тихом океане.



Ведущий научный сотрудник ИМБТТ д.б.н. Левинских Маргарита Александровна

В оранжерее "Свет" сотрудниками лаб. биологических систем жизнеобеспечения ИМБТТ (рук. проф. Вл. Ник. Сычѐв) показано (1996-1999 гг), что основные характеристики растений в цикле развития от семени до семени **не претерпевают значительных изменений в условиях невесомости.**

Левинских М.А., Сычев В.Н., Дерендаева Т.А. и др. Выращивание пшеницы "от семени до семени" в условиях космического полета // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2000. Т. 34. № 4. С. 37-43.

Левинских М.А., Сычев В.Н., Сигналова О.Б. и др. Рост и развитие растений в ряду поколений в условиях космического полета в эксперименте "ОРАНЖЕРЕЯ-3" // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т. 35. № 3. С. 43-48.

М.А. Левинских «Онтогенез, репродукция и метаболизм высших растений в условиях космического полета» Докт. дисс. М. 2002.



В 1998 г. начала функционировать МКС (ISS, International Space Station) - приемница станции «МИР».

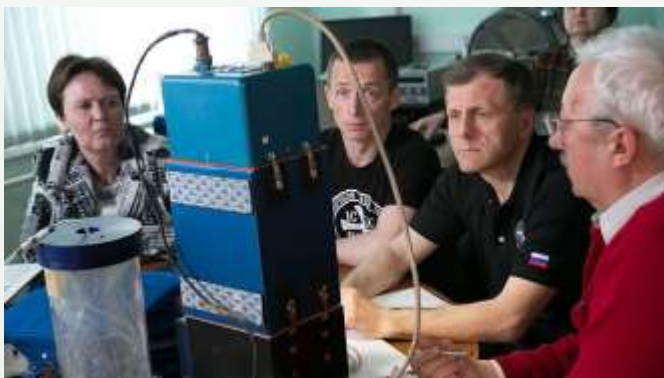
МКС — совместный проект 14 стран: Россия, США, Япония, Канада и входящие в Европейское космическое агентство Бельгия, Германия, Дания, Испания, Италия, Нидерланды, Норвегия, Франция, Швейцария, Швеция.

На МКС в течение 2002-2011 гг. в **оранжерее «Лада»** созданной совместно с Университетом штата Юта (США) сотрудники ИМБП и российские космонавты провели 16 экспериментов с растениями гороха, пшеницы, ячменя, редиса и салатных культур.

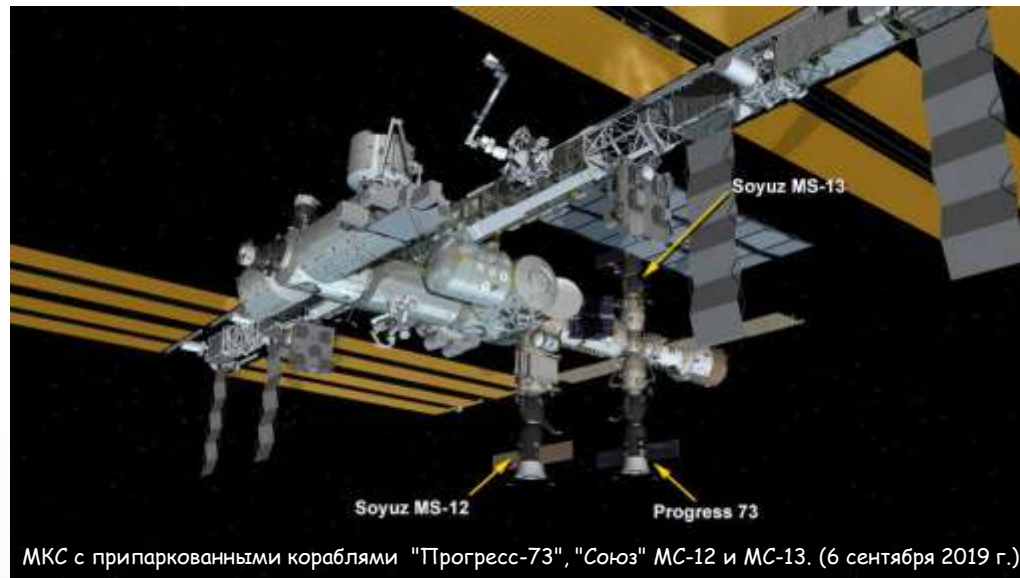


Космонавт Сергей Волков и оранжерея «Лада».

Один из самых значимых результатов — получение **4-х последовательных поколений растений карликового гороха** из коллекции кафедры генетики и селекции МГУ.



Сотрудники ИМБП проф. Маргарита Александровна Левинских и инженер Игорь Подольский обучают работе с **оранжереей «Лада-2»** космонавтов МКС-50 (окт. 2016 - апр. 2017) Андрея Борисенко и Сергея Рыжикова.



МКС с припаркованными кораблями "Прогресс-73", "Союз" МС-12 и МС-13. (6 сентября 2019 г.)

<https://www.roscosmos.ru/>

Сычев В.Н., Левинских М.А., Подольский И.Г., Новикова Н.Д., Гостимский С.А., Алексеев В.А., Бингхем Г. Основные результаты экспериментов по изучению высших растений и покоящихся форм организмов на борту Российского сегмента МКС // Космонавтика и ракетостроение. 2007. вып. 4 (49). с. 54-64.

Sychev Vladimir N., Levinskikh Margarita A., Gostimsky Sergey A. et al. Spaceflight Effects on Consecutive Generations of Peas Grown on board the Russian Segment of the International Space Station. // Acta Astronautica. - 2007. -N 60. -pp. 426-432.

Новая **усовершенствованная оранжерея типа "Лада-2"** с новыми светодиодными светильниками и полностью автоматической системой управления отправилась на МКС **в декабре 2016 года** на борту грузового корабля "Прогресс МС-04".

Однако во время запуска произошла авария и корабль упал на территории Тувы.



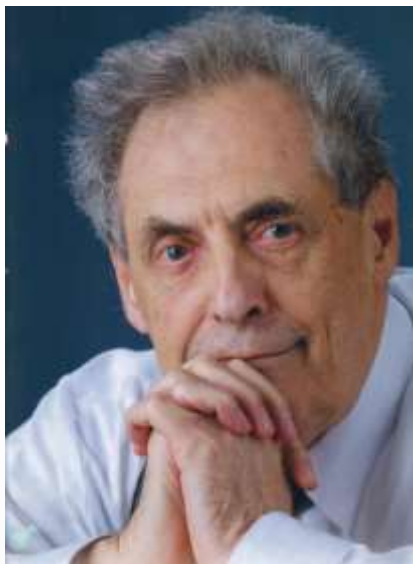
Сейчас в ИМБП создана **оранжерея «Витацикл-Т»** для конвейерного выращивания салатной зелени на борту МКС.

Руководитель проекта "Витацикл" д.т.н., в.н.с. ИМБП **Юлий Александрович Беркович**, предполагает, что космическая теплица будет готова к отправке на МКС в 2020-2021 годах.

"Витацикл" - это камера, внутри которой медленно вращается цилиндр с растениями, а на её внутренней поверхности располагаются светодиодные лампы. При каждом повороте цилиндра космонавты должны периодически устанавливать кювету с волокнистым субстратом и наклеенными на него семенами до тех пор пока не будет заполнена вся поверхность цилиндра. К тому моменту, когда цилиндр сделает два оборота и салат вырастет, космонавту останется лишь срезать растения, а на их место вставить следующую кювету.

Это устройство позволяет продуцировать до 45 граммов салата в сутки.





И.И. Гительзон

В 60-70-е годы в Красноярске по заданию **Сергея Павловича Королёва** в **институте биофизики СО РАН** был создан прообраз космической станции, в которой люди могли месяцами жить без поступления снаружи воды, воздуха или пищи.

Одним из руководителей этого проекта, моделирующей замкнутую экологическую систему жизнеобеспечения человека, стал академик **Иосиф Исаевич Гительзон**.

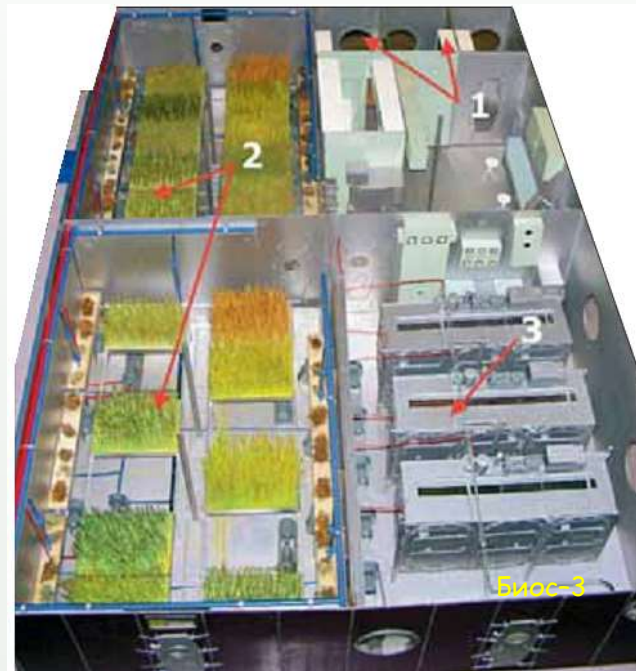
В комплексе «Биос-3», объемом 315 кубометров имелась жилая и рабочая зона для трех членов "экипажа", два фитотрона, емкости с хлореллой.

В 1972 году был проведен эксперимент, который длился 180 дней, три добровольца дышали воздухом, который вырабатывали растения, ели выращенные ими овощи, пекли хлеб из собственноручно выращенной пшеницы, а также пили воду, которая проходила многократные циклы очистки. Экипаж обеспечивал себя пищей на 70%.

В начале 80-х гг. финансирование этих экспериментов было прекращено.

24 апреля 2019 г. Общее собрание членов академии РАН Большая золотая медаль имени Ломоносова была присуждена академику Иосифу Исаевичу Гительзону.

Самым ярким и известным научным результатом, полученным И.И. Гительзоном с сотрудниками, является **создание действующей замкнутой системы жизнеобеспечения человека.**



Николай Иванович **Бугреев**, инженер-механик и испытатель внутри установки «БИОС», 1973 г.

Макет БИОС-3:

1 - жилая часть: три кабины для экипажа, санитарно-гигиенический модуль, кухня-столовая;
2 - фитотроны с высшими растениями: два с площадями посева 20 м² в каждом;
3 - водорослевый культиватор: три фотобиореактора объемом 20 л каждый для выращивания *Chlorella vulgaris*.



проф. А.А.Тихомиров
Зав. лаб. управления биосинтеза
фототрофов
Ин-та биофизики СО РАН;
Зав. каф. замкнутых экосистем СибГУ
науки и технологий

В настоящее время Ученые Ин-та биофизики СО РАН и каф. замкнутых экосистем СибГУ науки и технологий под руководством проф. А.А. Тихомирова собираются повторить эксперимент «Биос-3» и **разработать новые технологии длительного жизнеобеспечения человека применительно к космическим планетарным станциям**, нейтрализации побочных токсичных веществ, получения воды, роста растений на продуктах переработки отходов.

Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения. Вестник РАН. 2014. Т. 84. С. 233-240.



«Наша технология утилизации отходов человека экологически чистая, не такая энергоемкая и не требует больших давлений и температур — рассказывает Александр Апполинарьевич, — получаются **экологически чистые удобрения** с минимальным содержанием вредных веществ и вырастает хороший урожай».





В апреле 2014 года грузовой корабль Dragon SpaceX доставил на МКС установку для выращивания зелени **Veggie**, а уже в марте астронавты начали тестировать выращенный в космосе салат.



Dr. Gioia Massa, NASA's team leader for the Veggie program



С 2015 г в меню астронавтов включена свежая зелень, которая выращивается в условиях микрогравитации.

Американская космическая оранжерея на МКС полностью изолирована (от российского сегмента) и автоматизирована.



Астронавты Челл Линдгрэн, Скотт Келли и Кимия Юи едят салат, выращенный на МКС.

The Division of Space Life and Physical
Sciences Research and Applications
(SLPSRA), NASA

**NASA Space Biology Plan 2016-2025
гг.**

Chapter X In SLPSRA Integrated Research Plan
I Background

II. Summary of Progress since the 2010 Space
Biology Science Plan.

III. Space Biology Plans 2016-2025

A. Space Biology Overview

- 1) Introduction
- 2) The Next 10 Years
- 3) Ground-Based Research Leads to Space
Experiments
- 4) GeneLab
- 5) Technology Development Will Insure State-of-
the-Art NASA Research Products
- 6) Gravity as a Continuum

**B. GeneLab, Systems Biology, Omics and Open
Science in Space Biology**

C. Space Biology Program Elements

- 1) Microbiology
- 2) Cell and Molecular Biology**
- 3) Plant Biology**
- 4) Animal Biology – Vertebrate and invertebrate
- 5) Developmental, Reproductive and Evolutionary
Biology

D. Vision and Goals of Space Biology 2016-2025

- 1) Space Biology Vision
- 2) Space Biology Goals for 2016-2025
- 3) Achieving the Goals
- 4) Space Biology Products
- 5) Data Management Plans
- 6) Contributing to Exploration Products
- 7) Increasing Partnerships to Facilitate Productivity
- 8) Developing the next generation of Space
Biologists



Craig Kundrot,
Director, SLPSRA

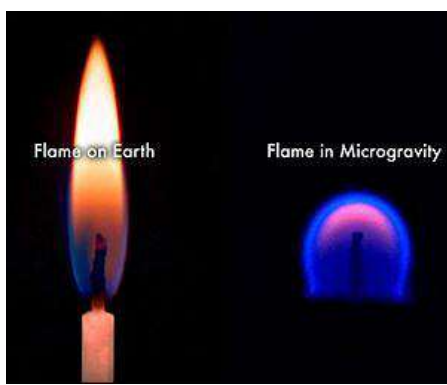


**Направления приоритетных исследований по биологии
растений, которые NASA планирует финансировать в
2016-2025 гг:**

1. Выяснение молекулярных и генетических **механизмов
адаптации растений к космическому полету в условиях МКС.**
2. Совершенствование систем **полива растений** в условиях
микрогравитации.
3. Применение более широкого спектра исследовательских
платформ для в области космической биологии.
 - a) **2D и 3D-клиноостаты.**
 - b) Параболические полеты.
 - d) Суборбитальные полеты. Биоспутники.
4. Разработка **биорегенеративных систем жизнеобеспечения,**
необходимых для освоения космоса.

Space Biological Sciences Plan 2016-2025, NASA:

«За последние 10 лет исследователям НАСА удалось выявить новые элементы в механизмах рецепции, трансдукции и ответных реакций растений на гравитацию»



Актуальные фундаментальные задачи космической биологии растений:

1. Знания, полученные в результате изучения растений, выращенных в условиях микрогравитации, позволят получить **новые знания о функционировании растений** на Земле; в частности о роли гравитации, света и механической нагрузки в процессах роста и развития растений. Необходимо также понять, как гравитация модулирует внутреннюю цитоархитектонику и молекулярные процессы, которые управляют развитием клеточных стенок растений.
2. Понимание основных путей передачи сигналов (**сигналинг**), **которые используются для обеспечения выживания растений в условиях космического стресса**, сделает возможным создание сортов растений, которые устойчивы к стрессорам не только в космосе, но и на Земле.
3. Транскриптомные, протеомные и эпигеномные данные, полученные в экспериментах по выращиванию растений в условиях космического полета, будут использованы для **построения моделей метаболических путей растений, устойчивых не только к гравитационному, но и к др. стрессорам.**

В условиях космического полета влияние микрогравитации на физиологию растительного организма **не всегда удается выявить**, поскольку растения одновременно находятся под влиянием других факторов:

космическая радиация, отсутствие конвекции, ограниченный объём, высокое содержание **этилена** и CO_2 .



МКС — это герметично закрытая система, которую ученые НАСА считают «экстремальной средой».

<http://vklem.pp.ru/mks-vnutri-foto.html>

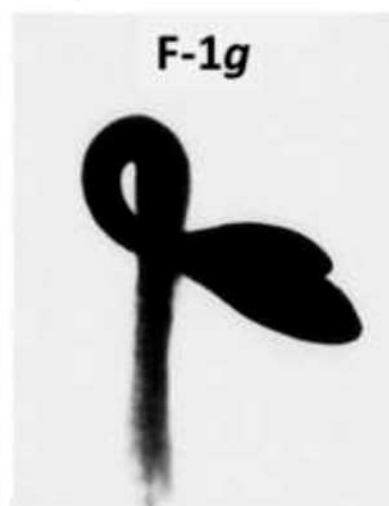
Рост арабидопсиса на Земле (G) и в условиях космического полета (F)



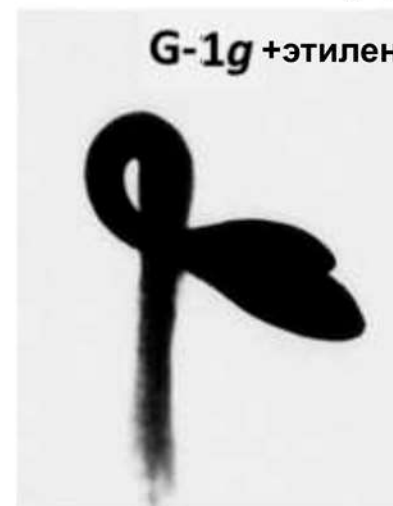
На Земле



Микрогравитация



Микрогравитация,
центрифугирование 1g



На Земле,
обработка этиленом

На Земле эффекты микрогравитации позволяет моделировать КЛИНОСТАТИРОВАНИЕ



Медленные клиностаты со скоростью вращения 1-5 об./мин. с 2-мя вращающимися осями называют **трехмерными (3-D) клиностатами** или случайно позиционирующими машинами (random positioning machine, RPM).

3D-клиностатирование - позволяет имитировать **невесомость (simulated microgravity)** в условиях Земли путем непрерывного изменения положения объектов по отношению к вектору силы тяжести.

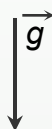
3D-клиностат с двумя рамками, вращающимися во взаимно перпендикулярных плоскостях
(Сконструирован инженером Ю.И. Шевцовым и к.б.н. Г.Н. Смоликовой)

- ❑ Организация актиновых микрофиламентов и микротрубочек в корнях и гипокотелях арабидопсиса
- ❑ Протеом и метаболомные профили прорастающих семян рапса и проростков арабидопсиса
- ❑ Рост и развитие прорастающих семян капусты и рапса, а также проростков арабидопсиса

Влияние 3D-клиностаტიрования на морфологию проростков арабидопсиса



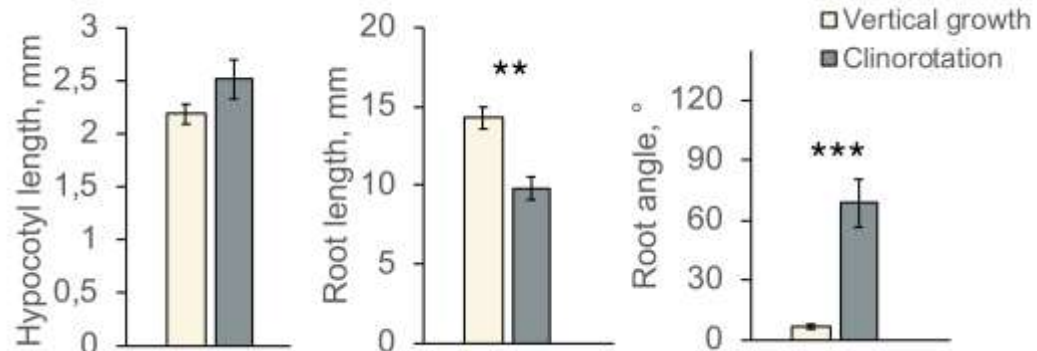
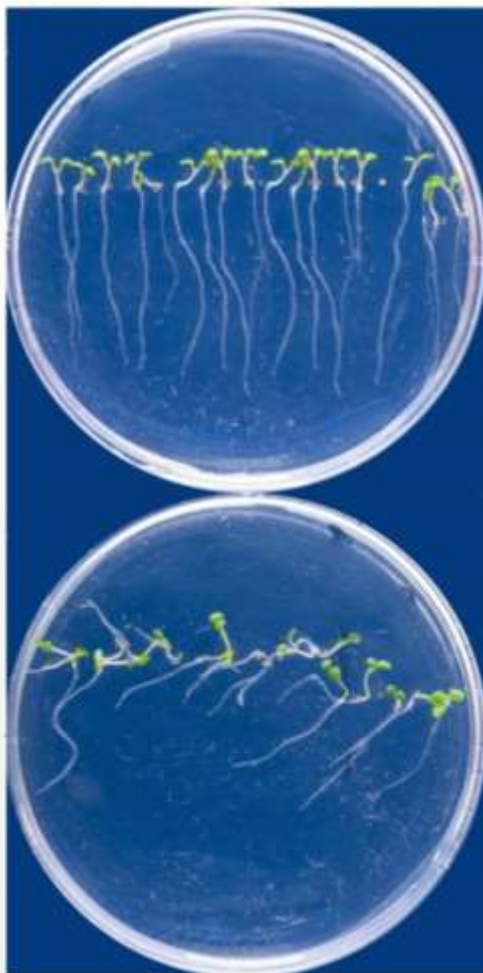
Григорий
Пушванов



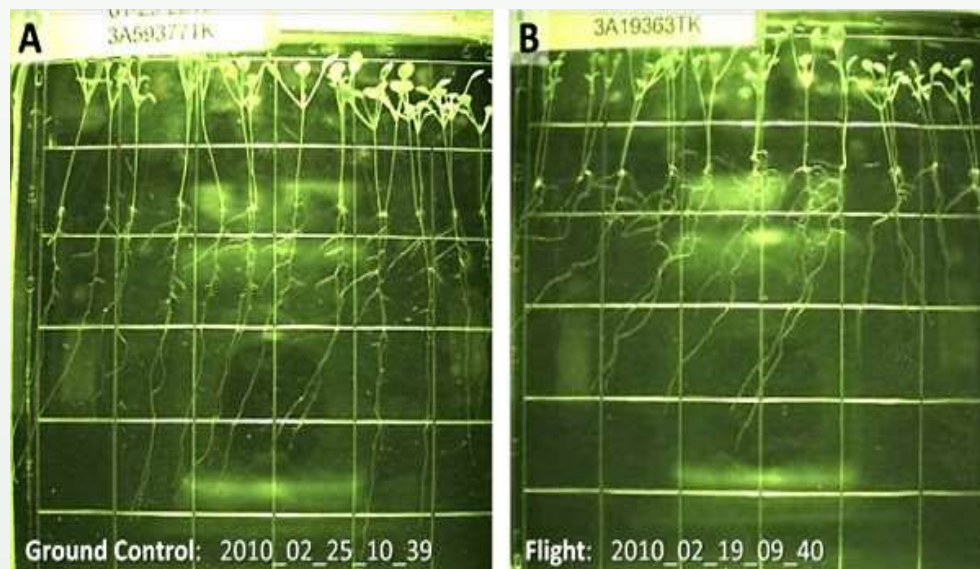
Контроль



Клиностамирование приводит к искривлению гипокотилей, многократным изгибам и торможению роста корней.



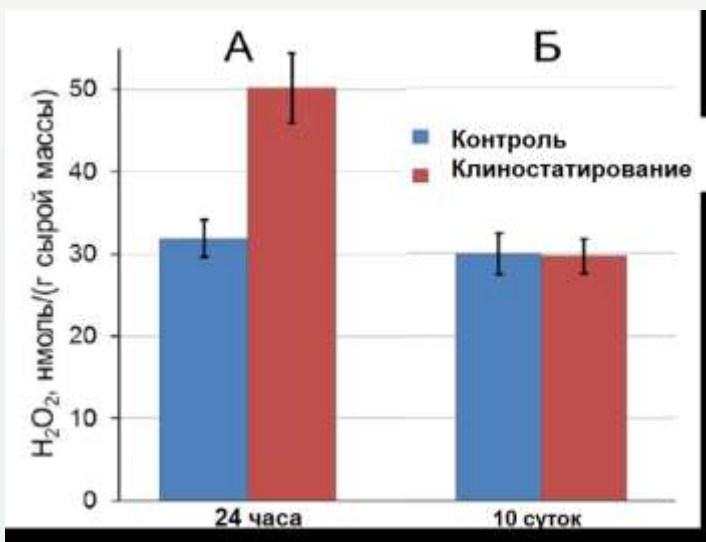
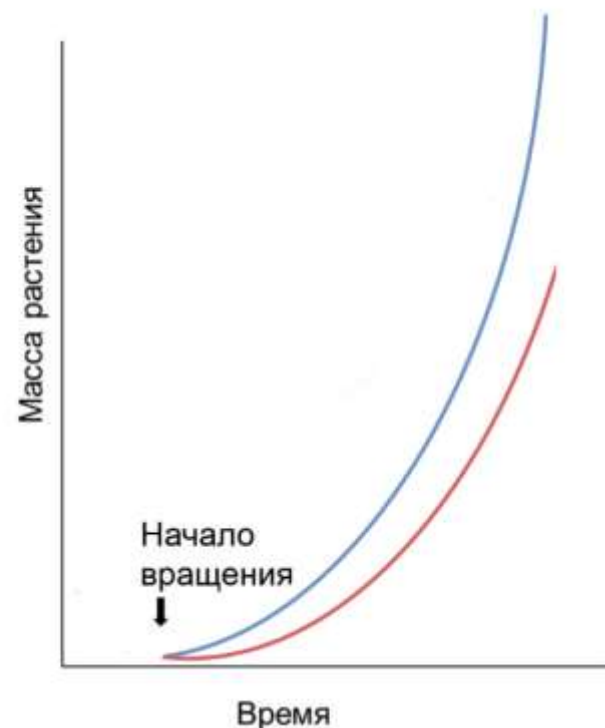
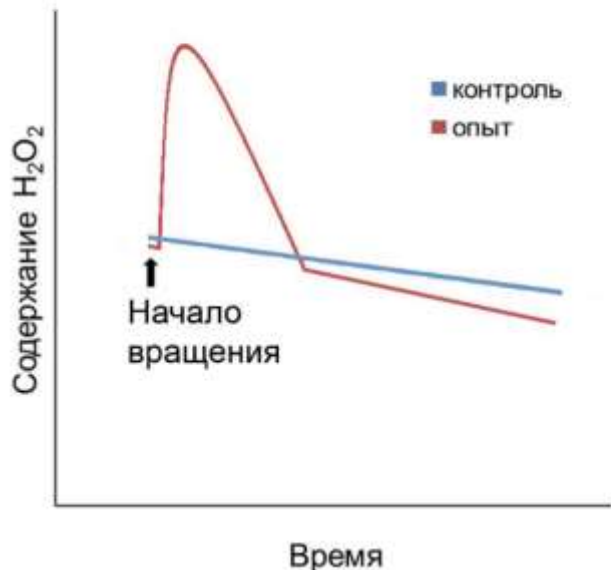
Рост растений арабидопсиса в условиях микрогравитации



Влияние клиностаტიрования на содержание H_2O_2 в проростках арабидопсиса



Е.И. Шарова



Вращение проростков арабидопсиса в 3D-клиностае приводило к снижению прироста биомассы.

Уровень H_2O_2 в проростках арабидопсиса повышался через 24 ч клиностаტიрования, но сравнивался с контролем через 10 суток.

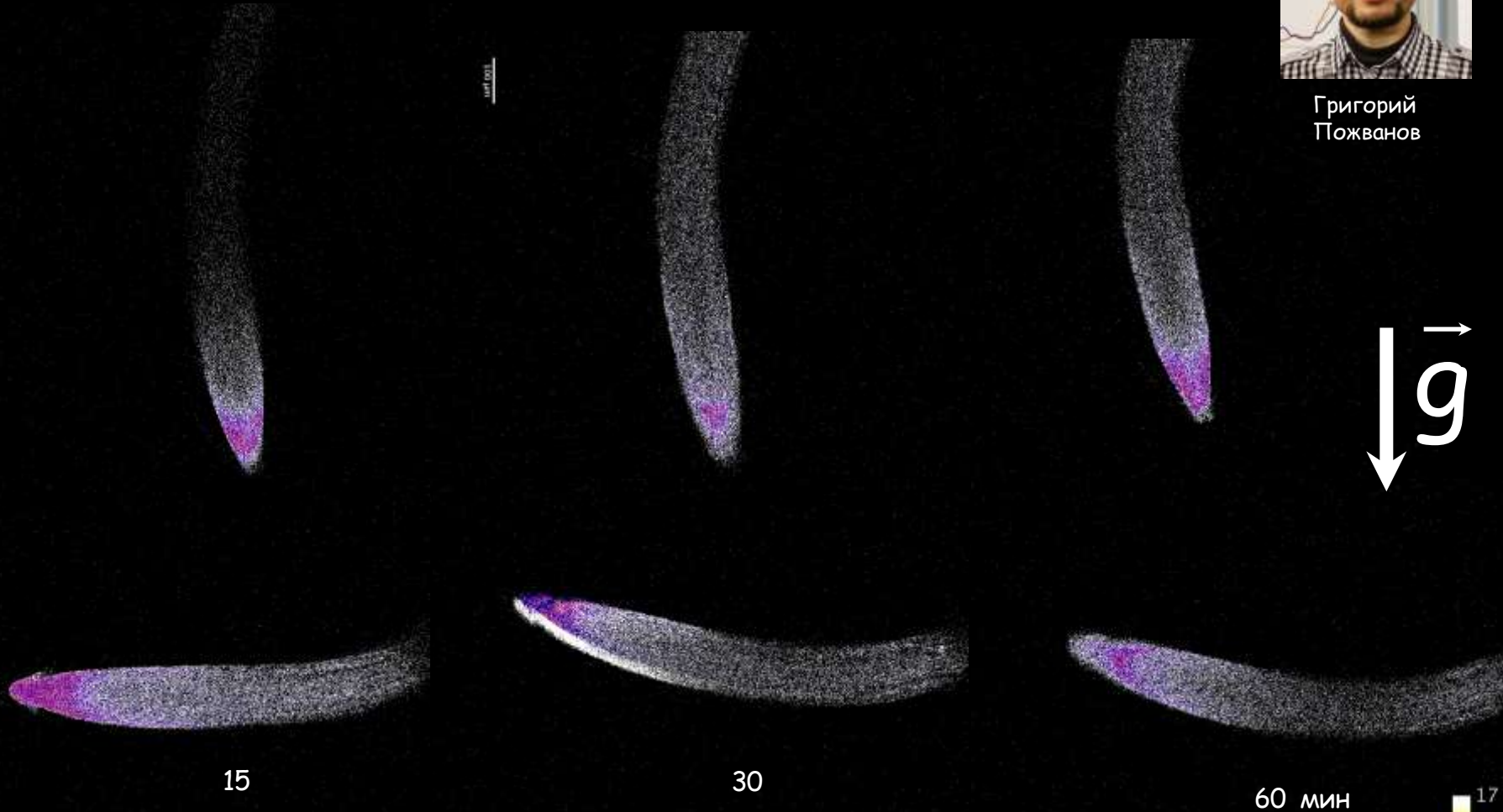
Анализ генерации АФК в трансгенных растениях арабидопсиса, синтезирующих репортерный белок НuPer



Григорий
Пожванов

контроль

гравистимуляция



Максимальная флуоресценция НuPer была отмечена в течение **10-15 мин** после гравистимуляции, что фактически предшествует реорганизации актинового цитоскелета (**20-25 мин**) и реализации видимого ростового ответа (**30-180 мин**).

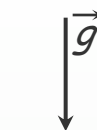


Влияние 3-D клинирования на организацию актиновых микрофиламентов и микротрубочек в корнях и гипокотелях трансгенных растений арабидопсиса

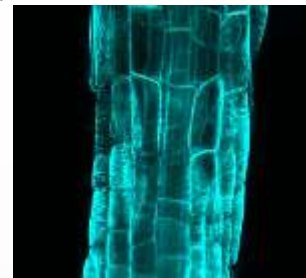
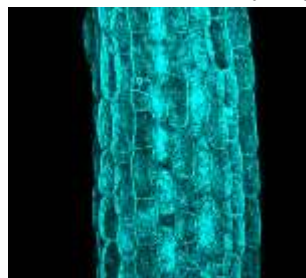
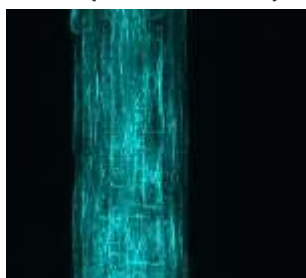
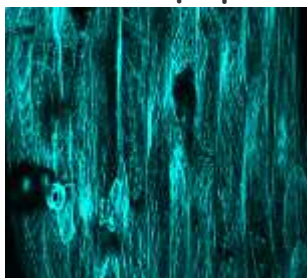
Микрофиламенты (GFP-fABD2)

Микротрубочки

Григорий
Пужванов



Контроль



Гипокотиль

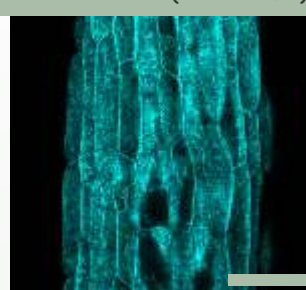
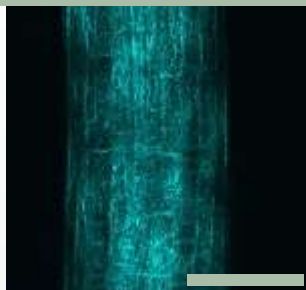
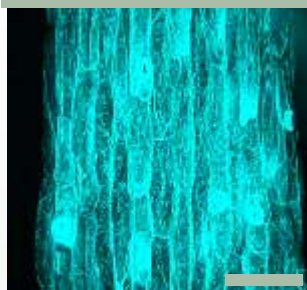
Корень

Гипокотиль (TUA6-GFP)

Корень (MAP4-GFP)



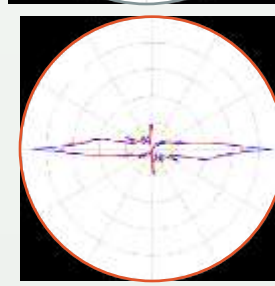
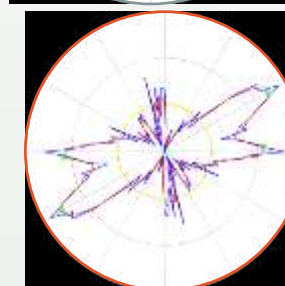
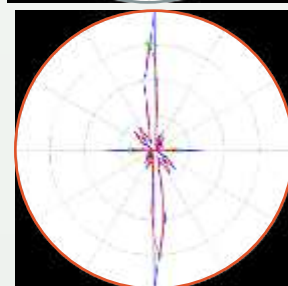
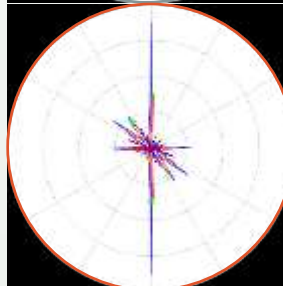
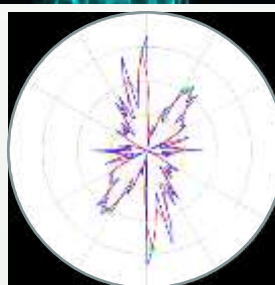
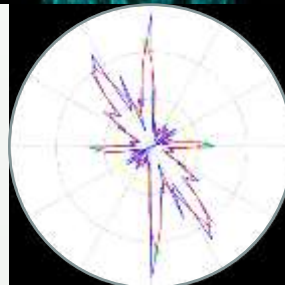
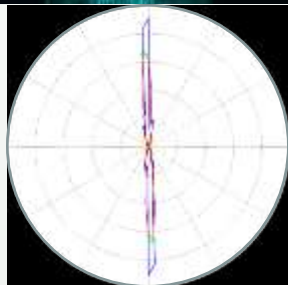
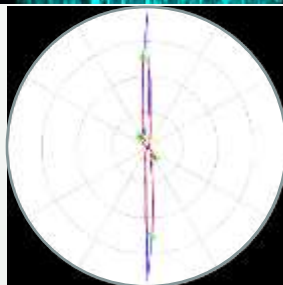
3D-
клин.



Контроль



3D-
клин.



Конфокальные изображения актинового цитоскелета и микротрубочек в клетках арабидопсиса.

В контроле микрофиламенты были ориентированы, в основном, аксиально, а микротрубочки имели широкий спектр ориентации.

Клиностатирование приводит к повышению спектра ориентации микрофиламентов актина и микротрубочек.

Круговые диаграммы распределения угловой ориентации элементов цитоскелета.

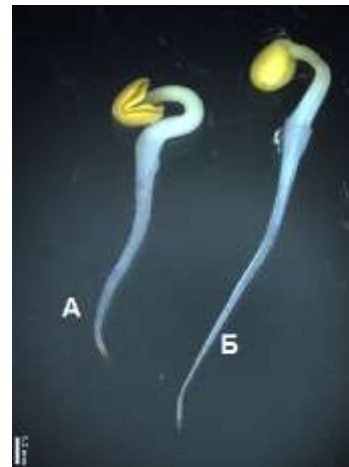
Влияние 3D-клиноостативирования на начальные этапы развития проростков рапса



Вероника Чанцева



Г.Н. Смоликова



Контрольные (А) и клиноостативированные (Б) 2-х дневные проростки рапса

Контроль, 2 суток прорастания



Корни растут вниз (в агар)

Корни растут в разных направлениях

Клиноостативирование, 2 суток прорастания



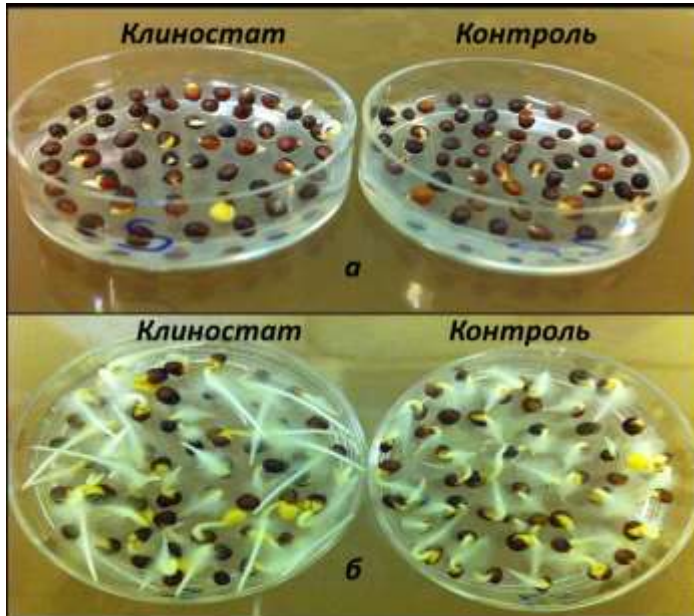
Клиноостативирование инициировало увеличение длины корней и дезориентировало их рост относительно вектора силы тяжести.



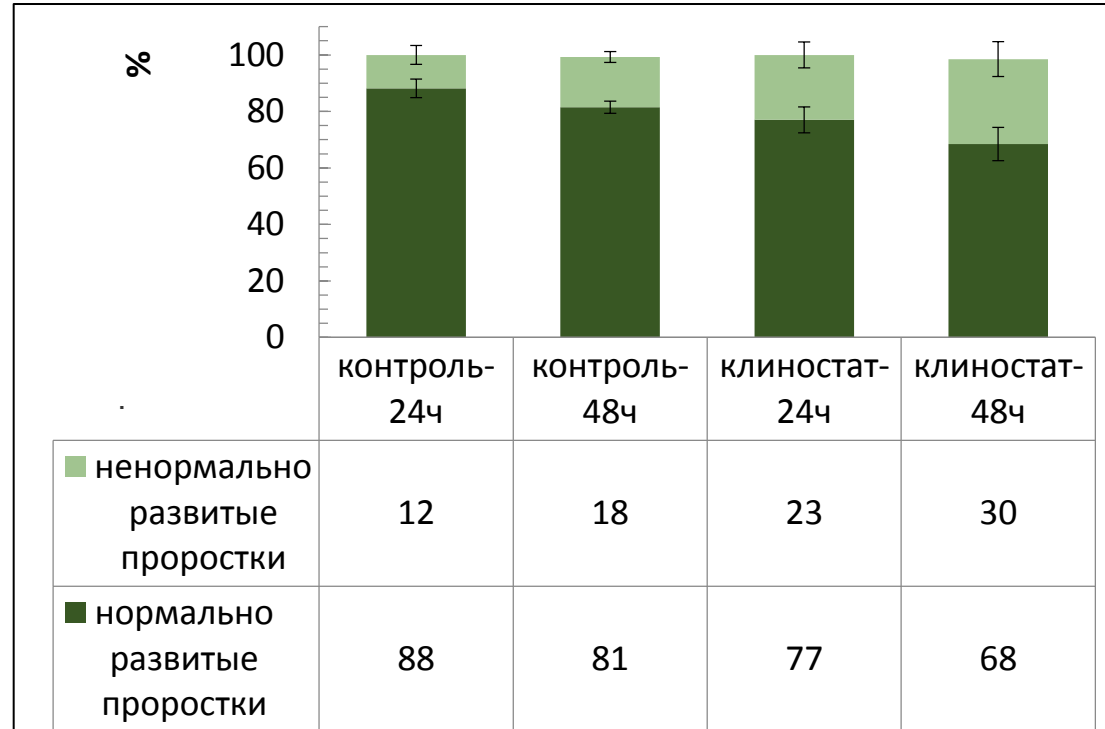
Влияние 3D-клиноостатирования на начальные этапы развития проростков капусты

Мария Ньюкалова

Г.Н. Смоликова



Развитие проростков капусты через 24 ч (А) и 48 ч (Б) выращивания в контроле и при клиноостатировании



Дезориентация семян относительно вектора силы тяжести не приводила к появлению в них морфологических аномалий на этапе прорастания. Однако в дальнейшем клиноостатированные семена формировали больше ненормально развитых проростков.

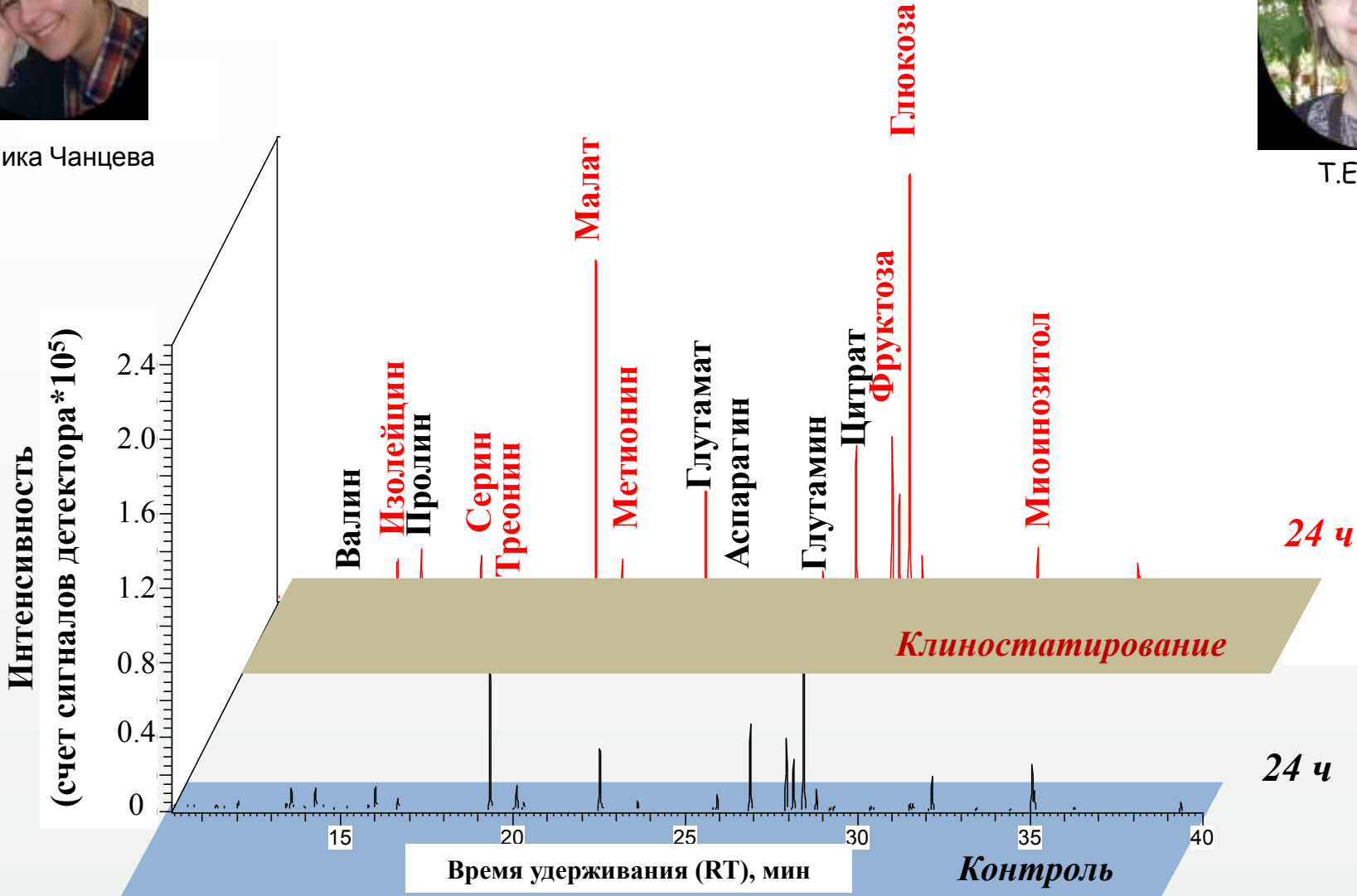
GC-MS анализ метаболитов, выделенных из прорастающих семян рапса



Вероника Чанцева



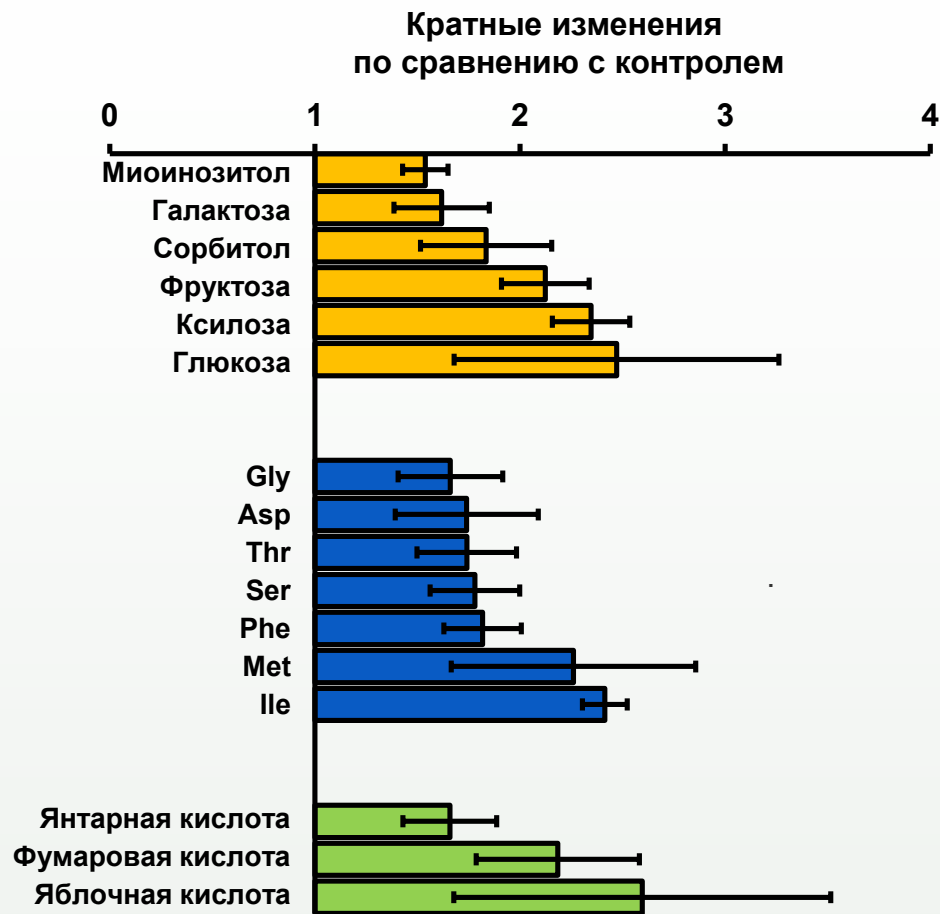
Т.Е.Билова



Паттерн большинства метаболитов у семян, прорастающих (24 ч) в условиях клиностаტიрования, не изменялся, однако значительно **возрастал уровень** содержания многих из них.

Красным цветом отмечены некоторые «доминантные» метаболиты, содержание которых достоверно возросло ($\geq 1,5$ раза)

3D-клиностамирование - паттерн метаболитов прорастающих семян рапса

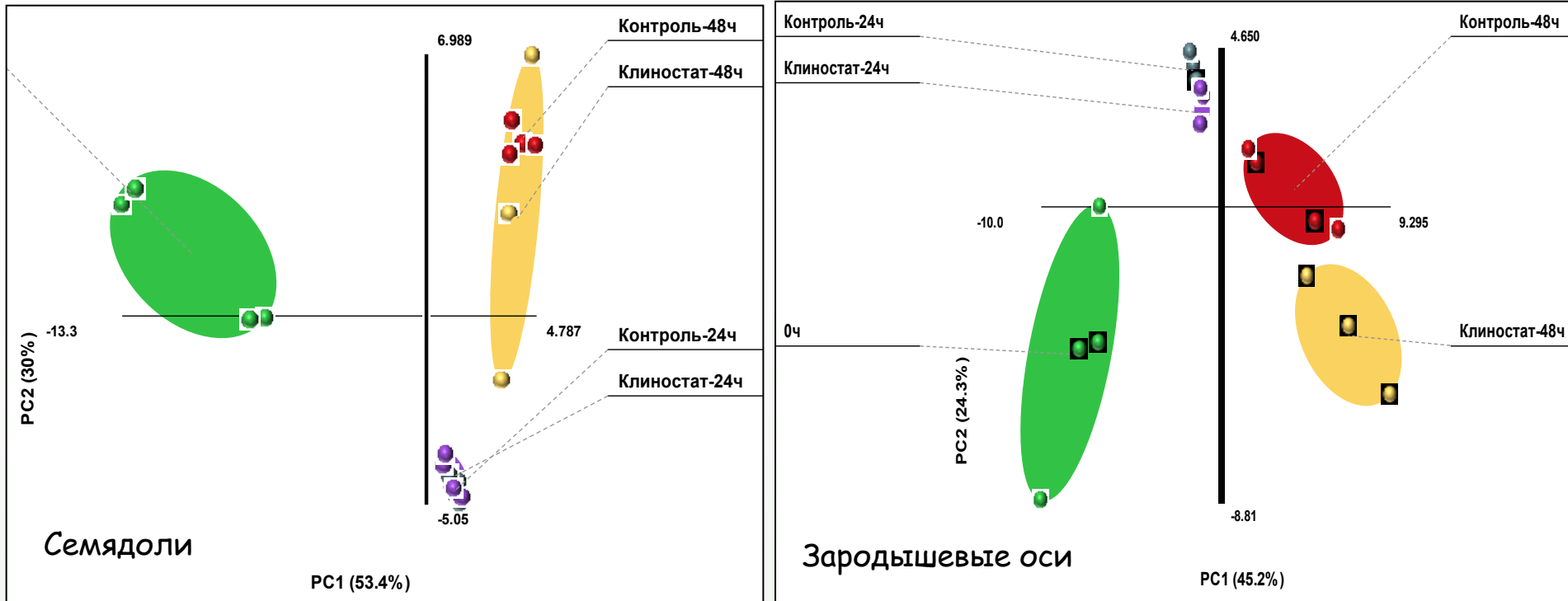


Изменения содержания метаболитов семян рапса, прорастающих 24 ч в условиях 3-D клиностамирования.



1. Наибольшие изменения (в 1.5-3 раза) в паттерне метаболитов происходили за первые сутки.
2. Регистрируемое в это время развитие окислительного стресса сопровождалось накоплением углеводов, аминокислот и органических кислот.
3. Через 48 ч содержание метаболитов (за исключением лизина) возвращались к контрольным значениям.

Распределение метаболомов семядолей и зародышевых осей капусты на плоскости в координатах 1-ой и 2-ой главной компонент (PC1 и PC2), рассчитанное по методу главных компонент



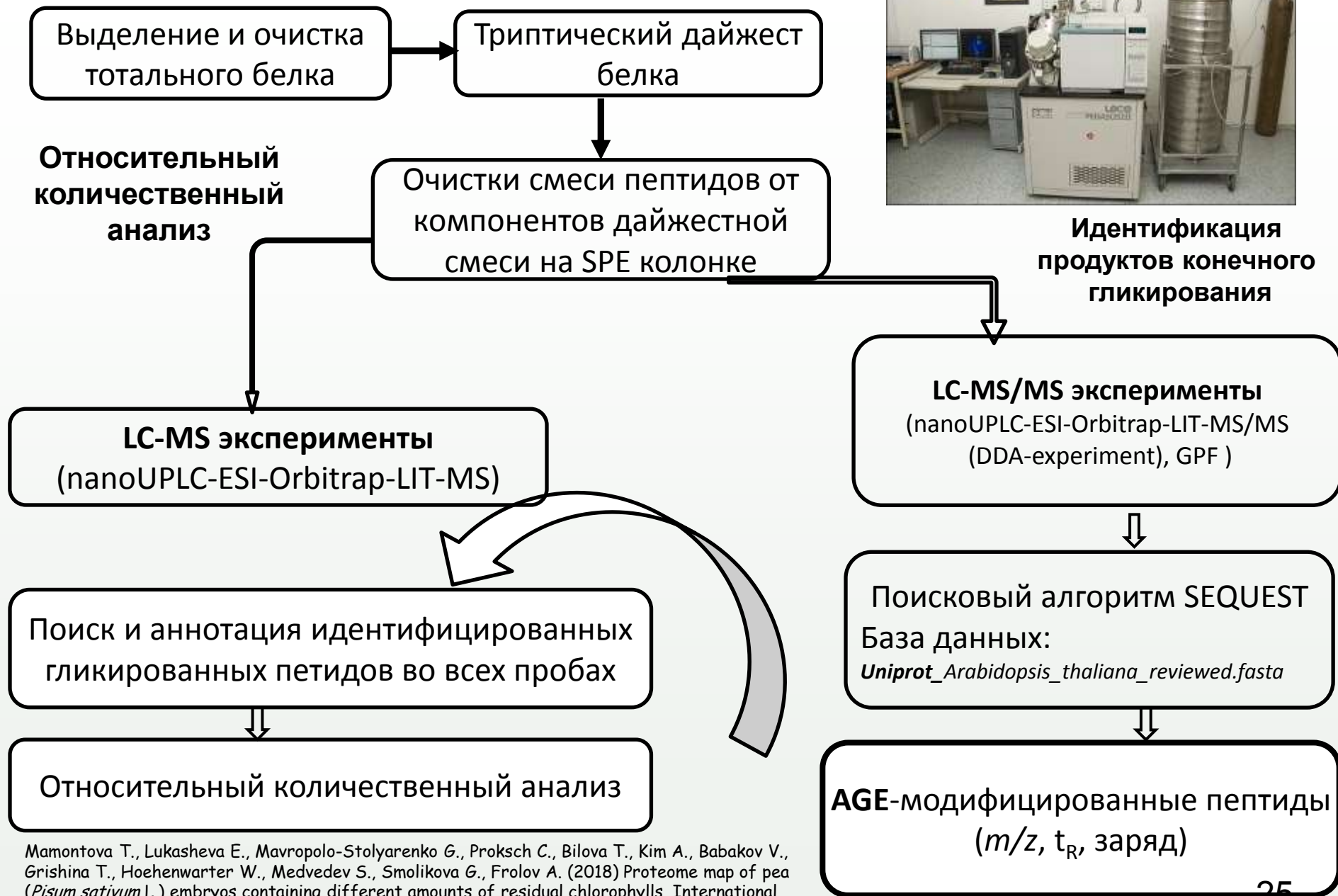
Каждый метаболитный профиль включал по 129 метаболитов, из которых 34 метаболита были идентифицированы. Идентифицированные соединения включали аминокислоты, органические кислоты, жирные кислоты, фитостеролы. Неидентифицированные метаболиты размечали по индексу удерживания (в эту группу преимущественно вошли сахара и их производные).

Клиноустатирование приводило к изменению содержания идентифицированных метаболитов в зародышевых осях через 24 ч и 48 ч прорастания, а в семядолях - через 48 ч прорастания. Изменения в содержании метаболитов связано с их расходом на адаптацию семян к изменяющейся направленности гравитационного стимула и является причиной появления морфологических аномалий в развивающихся проростках.

Протеомный эксперимент



Идентификация
продуктов конечного
гликирования



Mamontova T., Lukasheva E., Mavropolo-Stolyarenko G., Proksch C., Bilova T., Kim A., Babakov V., Grishina T., Hoehenwarter W., Medvedev S., Smolikova G., Frolov A. (2018) Proteome map of pea (*Pisum sativum* L.) embryos containing different amounts of residual chlorophylls. International Journal of Molecular Sciences. 19(12): 4066.



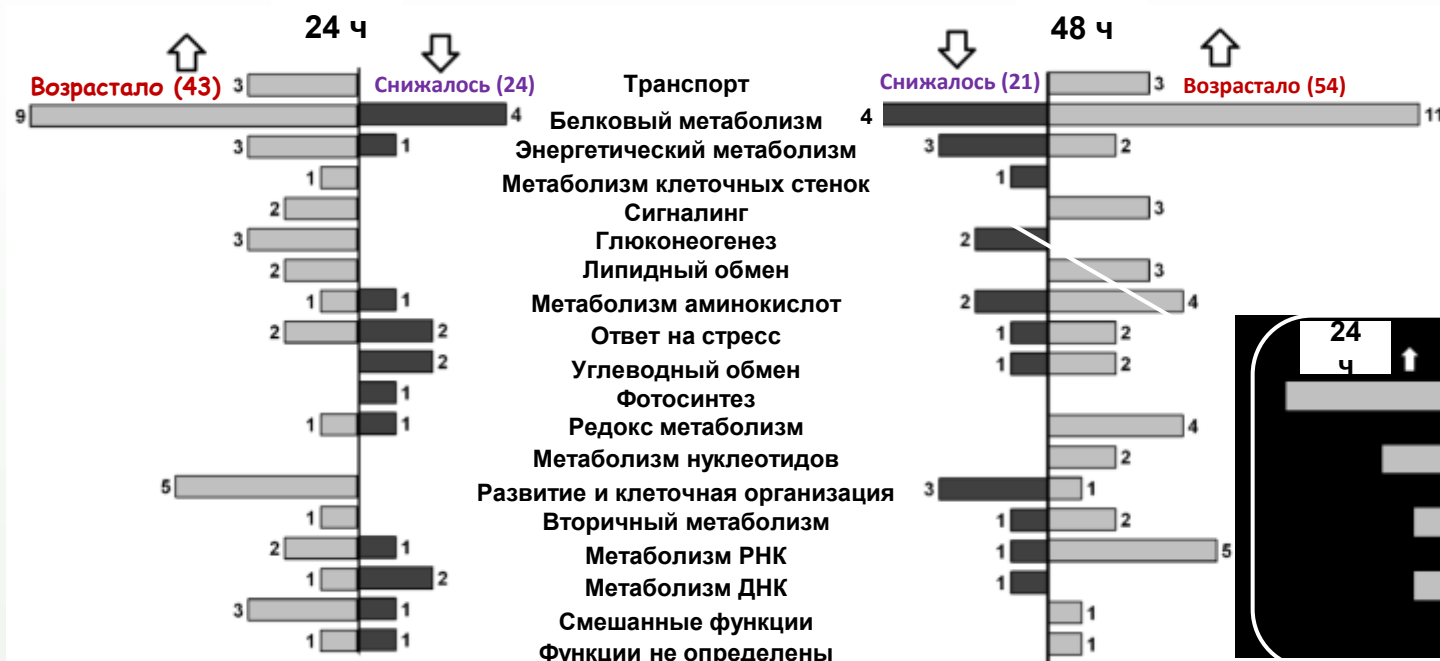
3D-клиноостатирование вызывает значительные изменения в паттерне белков прорастающих семян рапса



Е.М. Лукашева

А.А. Фролов

Содержание 97 белков **возрастало**, 39 – **снижалось**.



Функциональные группы белков

Содержание большинства белков изменялось от **1,5 до 3 раз**.

Уровень 22 белков изменился почти **в 40 раз!** (37,5).

Наибольшие изменения наблюдались в белках, участвующих в белковом метаболизме, энергетическом обмене, метаболизме РНК, а также в процессах развития.

Содержание белков S13, S8, S3 и S9, входящих в состав малой субъединицы 40S рибосомы, после 24 ч клиноостатирования **возрастал в 2,5, 3, 6 и 25 раз**, соответственно.

Функциональная аннотация белков модифицированных в условиях 24 часов - 3-D гликирования

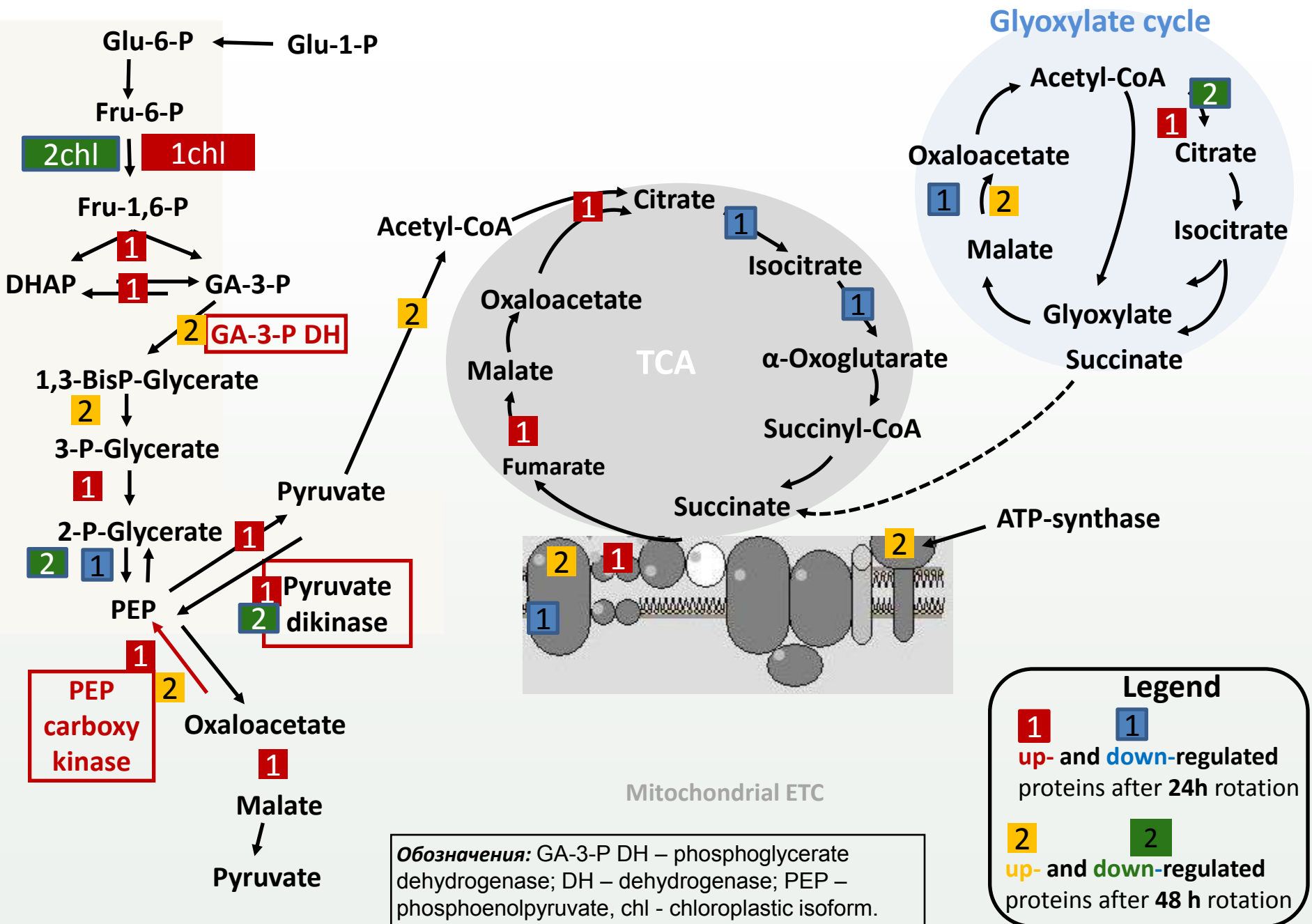


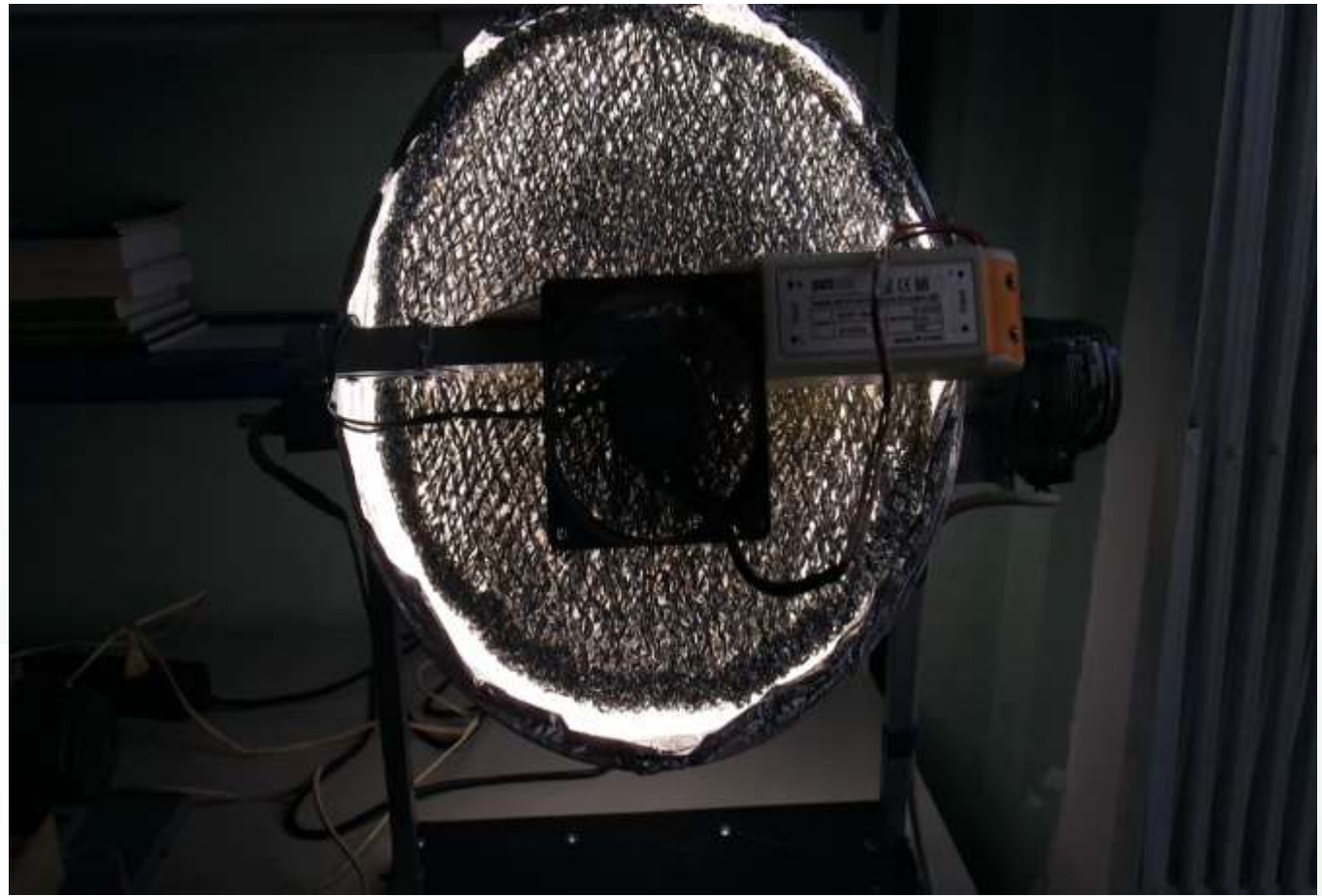
- Белковый метаболизм
- ДНК, РНК процессинг, ТФ
- Смешанные функции
- Мембранный транспорт
- Организация клетки
- Метаболизм фитогормонов
- Цикл Кребса
- Вторичный метаболизм
- Гликолиз
- Липидный метаболизм
- Запасные белки
- Сигналинг
- Детоксикация тяж. метал.
- Цикл Кальвина
- Метаболизм нуклеотидов
- Углеводный обмен
- Регуляторы развития
- Метаболизм аминокислот
- Фотодыхание
- Стресс
- Функции не определены



Выявлено, что 24ч-клиноостатирование инициирует модификации белков конечными продуктами глубокого гликирования (52 белка), а также окислительные модификации (82 белка).

Изменения в энергетическом обмене, вызванные клиностаტიрованием





3-D клиноста́т для изучения полного
жизненного цикла растений
арабидопсиса в условиях
рандомизации вектора силы тяжести

*(сконструирован инженером
Ю.И.Шевцовым и
к.б.н. Г.Н.Смоликовой).*

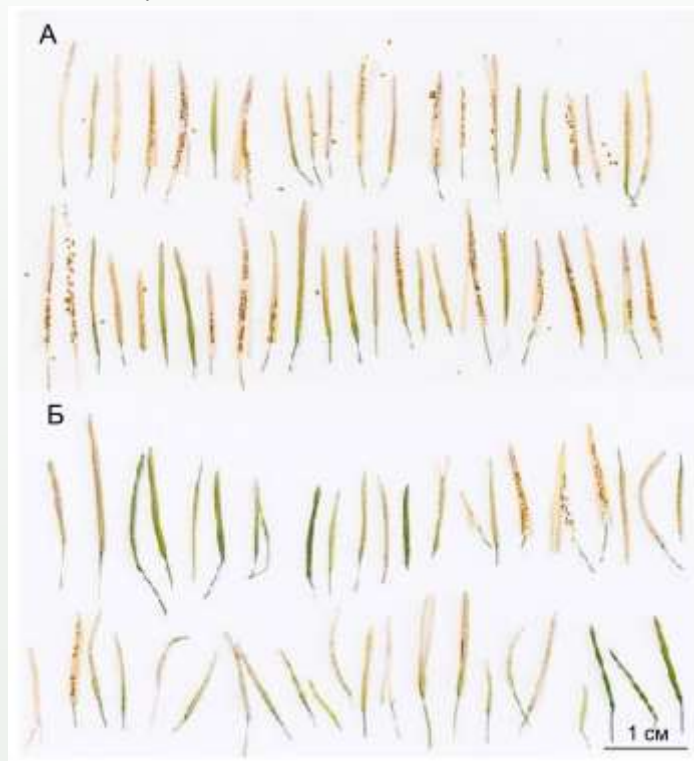
Ионообменный субстрат для выращивания растений

Создан акад. В.С. Солдатовым и Д.В. Шахно Д.В.,
Институт физико-органической химии НАН Беларуси



Субстрат Панион-110/320:

Состоит из нетканых слоёв толщиной 4 мм двух типов - анионогенного (сульфат, дигидрофосфат, нитрат) и катионогенного (калий, кальций, магний).



Акад. Владимир Сергеевич Солдатов и проф. Лю Хун -
Директор Центра космической биологии Пекинского
Университета авиации и космонавтики

Стручки растений арабидопсиса, выращенных в условиях
стационарного контроля (А) и 3D-клиностаტიрования (Б)

Галина Семеновна **Нечитайло**, д.б.н., профессор, старший научный сотрудник Института Биохимической физики РАН, в советское время занимавшаяся планированием и осуществлением биологических исследований в космосе:

В лидеры космических оранжерей сейчас уверенно выходит Китай.

У них есть планы орбитальных «биофабрик», и много еще разных планов, о которых мы сейчас и не знаем.



**Beihang University of Aeronautics and
Astronautics, Beijing, China.**



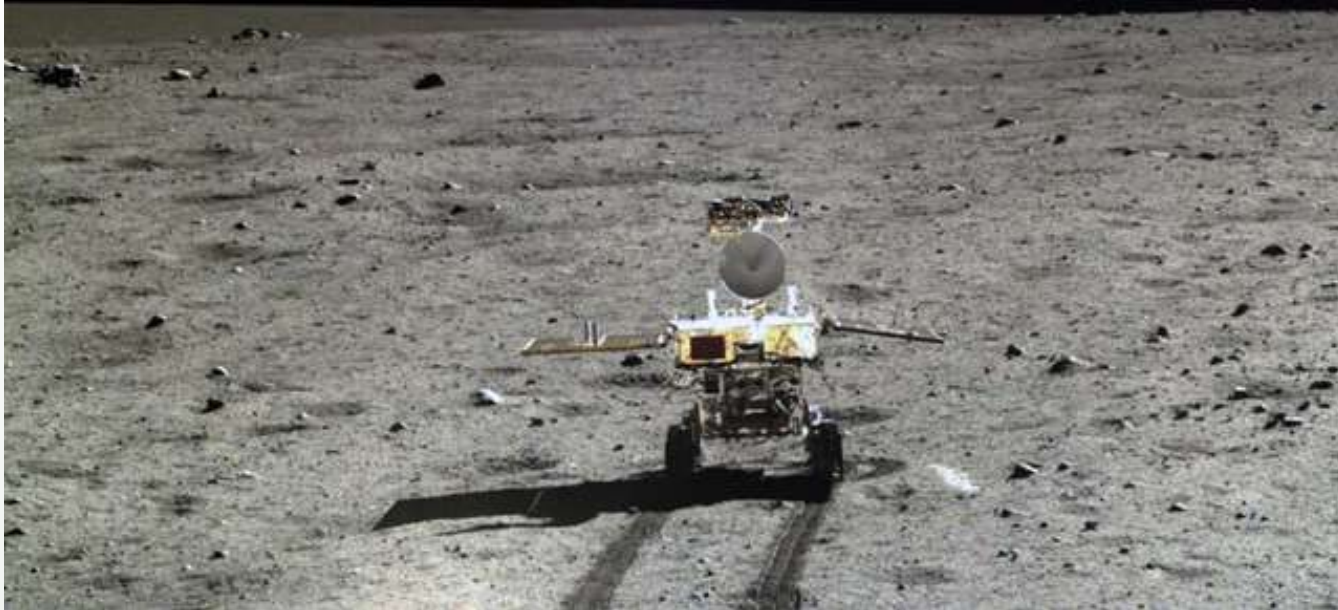


月宫一号
LUNAR PALACE 1



综合舱
Comprehensive Cabin

Лунная программа Китая была начата в 1998 году комиссией по науке, технологии и промышленности и получила название «Программа Чанъэ» в честь китайской богини Луны.



Юйту́ (Нефритовый заяц) — первый китайский луноход, являющийся частью китайской космической миссии Чанъэ-3. Его параметры -1,5x1x1,1 м.

Запущен **1 декабря 2013** года ракетой-носителем Великий поход-3В.

15 декабря Юйту отстыковался от посадочного модуля тонну и приступил к работе, передав первые снимки лунной поверхности.

12 февраля было заявлено об поломке Юйту. На его аккаунте был вывешен твит *«До свидания, Земля. До свидания, человечество»*.



Г.А. Пожванов
к.б.н., ассистент



Г.Н. Смоликова
к.б.н., доцент



Е.И. Шарова
к.б.н., доцент



Т.Е. Билова
к.б.н., ассистент



А.А. Фролов
к.х.н., доцент



Т.В. Гришина
к.б.н., доцент



М.А. Ньюкалова
магистрант



М.П. Банкин
аспирант



А.А. Романова
магистрант



В.В. Чанцева
аспирант



Е.М. Лукашева
М.н.с.



А. Дидио
магистрант

**Leibniz Institute of
Plant Biochemistry**

**Martin-Luther Universität, Halle-Wittenberg,
Germany**



Dr. Wolfgang Hoehenwarter
(анализ протеомных MS данных)



Prof. Dr. Andrea Sinz
(доступ к оборудованию,
информационное сопровождение)



Dr. Christian Ihling
(нано-ОФ-УЭЖХ-МС/МС
анализ)



акад. В.С. Солдатов асп. **Дмитрий Шахно**
(создание ионного ионообменного субстрата Панион-320)





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

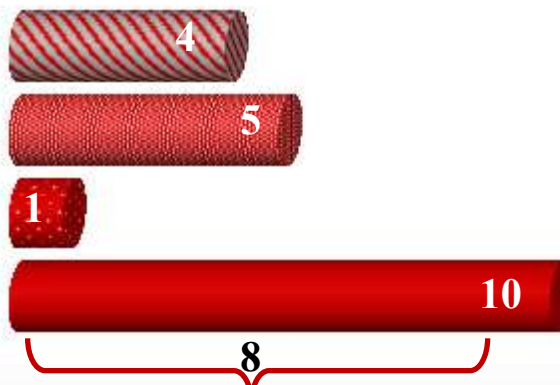
Изменения в белковом обмене, вызванные клиностаტიрованием

24ч

Количество белков
содержание которых
снижалось в услови
ММ



Рибосомальные белки
S5 в составе S40;
L23A в составе S60



Рибосомальные белки
S3A, S8, S9, S13A в составе S40;
L3A, L14, L19, L32e в составе S60

во белков,
е которых
условиях ММ

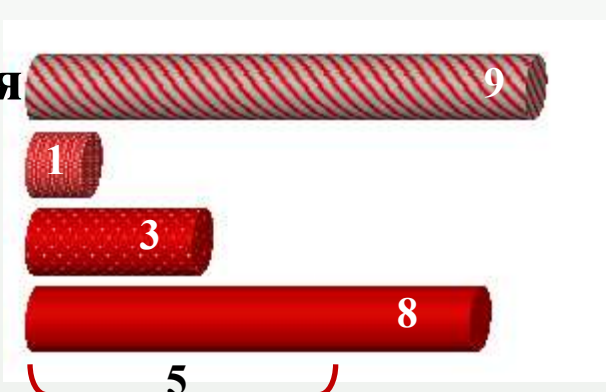
Содержание белков S13, S8, S3 и S9, входящих в состав малой субъединицы 40S рибосомы после возрастало в 2,5, 3, 6 и 25 раз, соответственно!



Двумерный электрофорез рибосомальных белков E. coli. S(small) - белки малой (30S) субчастицы, L(large) - большой (50S). (Выполнено Д.Е. Агафоновым, ин-т белка, Пуцино).



Рибосомальные белки
S14, S15 в составе S40;
L39 в составе S60

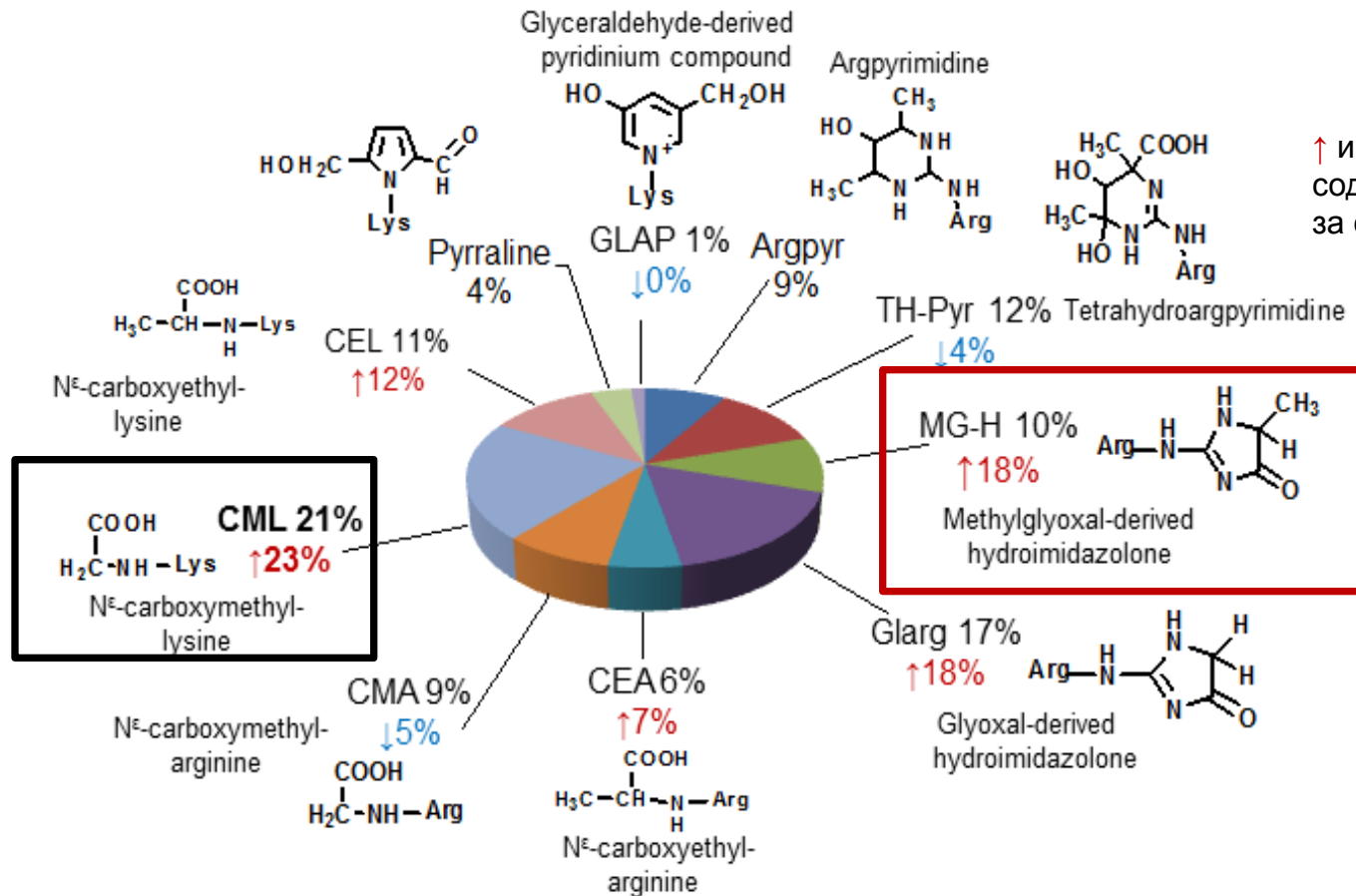


Рибосомальные белки
S23A в составе S40;
L5, L7A, L17 в составе S60;
S3 в составе хлоропластной S30

48ч

Протеомный анализ. Гликирование белков

Паттерн продуктов конечного глубокого гликирования белков (КПГГ) однопневных проростков рапса



↑ и ↓ - **возрастание/снижение** содержания сайтов модификации за сутки клиноостатирования

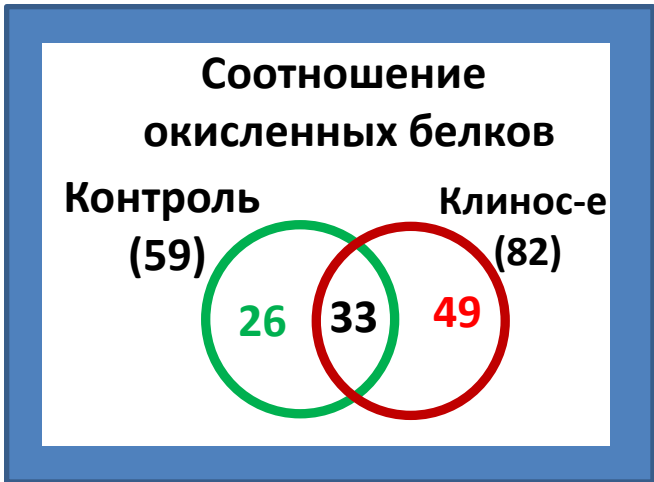
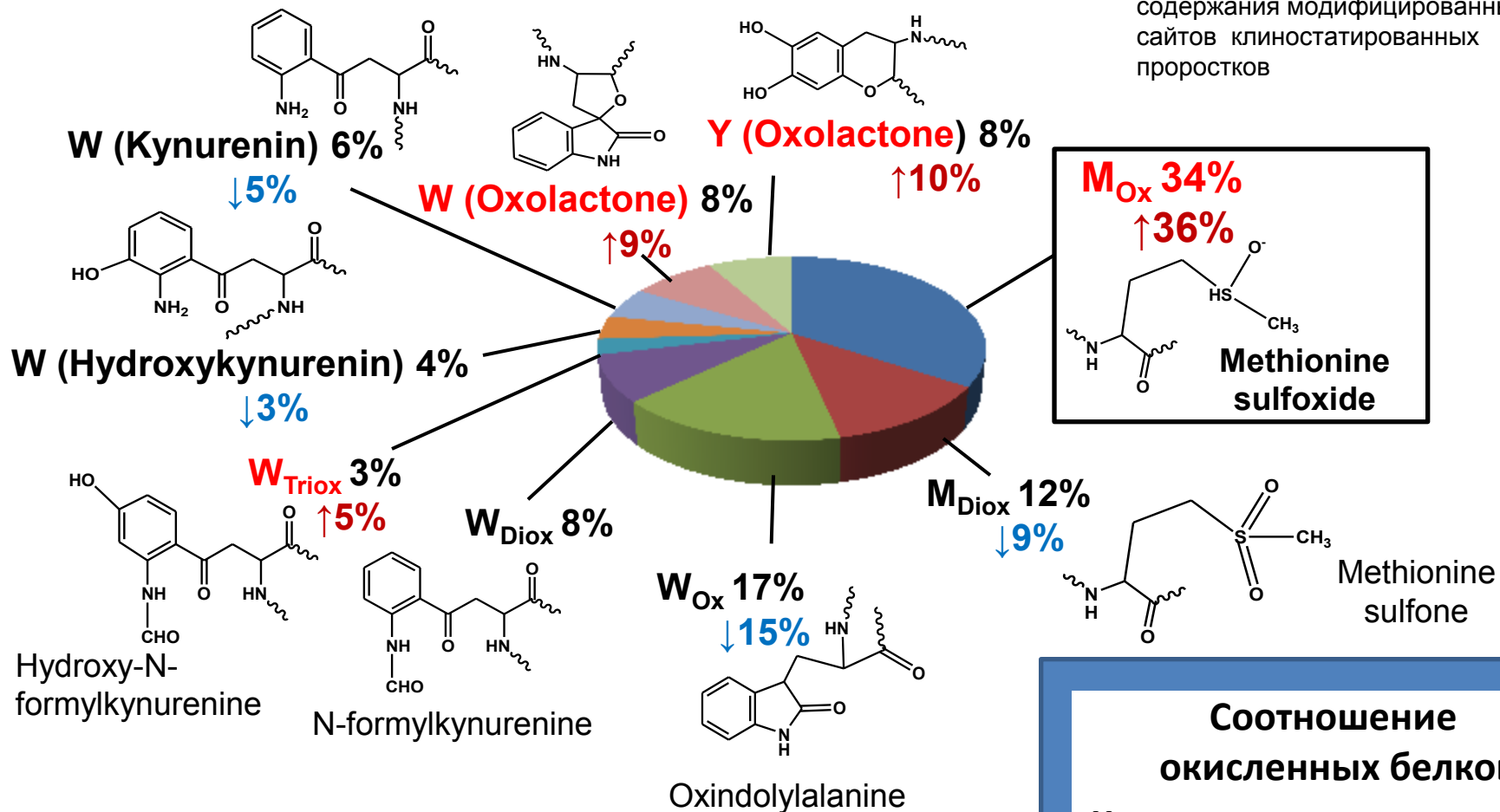
ММ – микрогравитация, моделированная клиноостатированием.



За 24 ч клиноостатирования число гликированных белков увеличивалось. Обнаружены белки с 10 модификациями конечного глубокого гликирования (КПГГ). Преобладало образование **Гидроимидазола** (MG-H, 10-18%) Доминантной модификацией был **Карбоксиметиллизин** (CML, 21-23%).

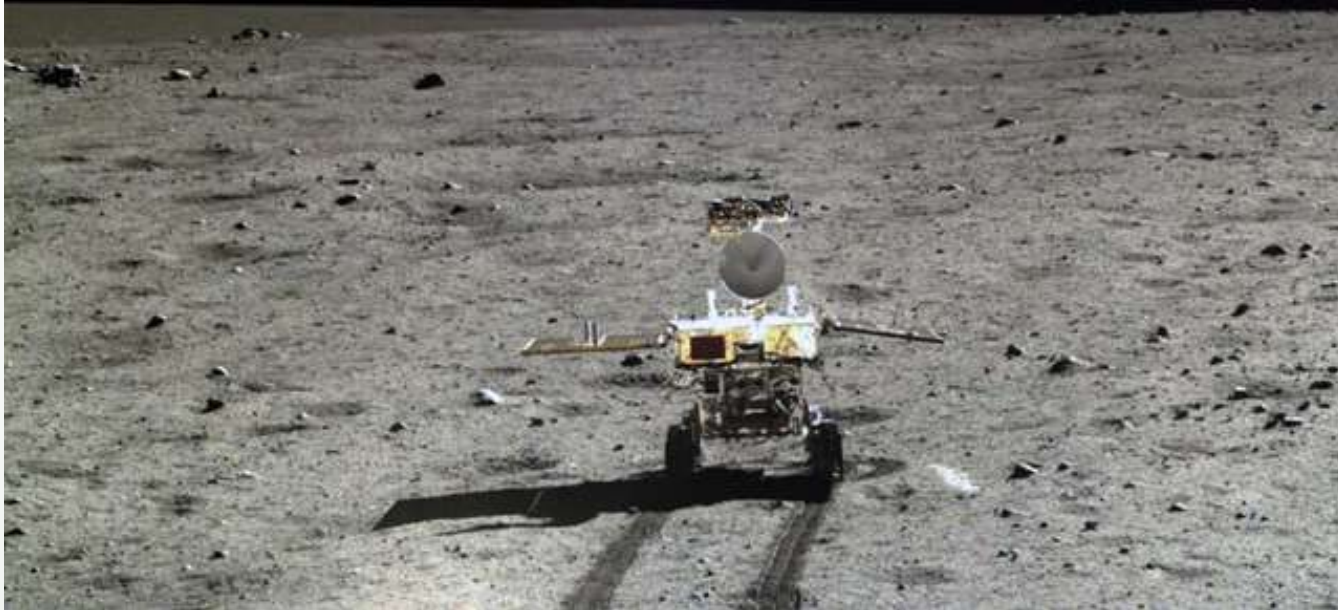
Окислительные модификации белков однодневных проростков рапса

↑ и ↓ - возрастание/снижение содержания модифицированных сайтов клиностастированных проростков



Выявлено 9 окислительных модификаций по остаткам метионина, триптофана и тирозина. Черной рамкой отмечена доминантная модификация сульфоксид метионина. За 24 ч клиностастирования увеличивалось число окисленных белков, модификации которых отмечены красным шрифтом.

Лунная программа Китая была начата в 1998 году комиссией по науке, технологии и промышленности и получила название «Программа Чанъэ» в честь китайской богини Луны.

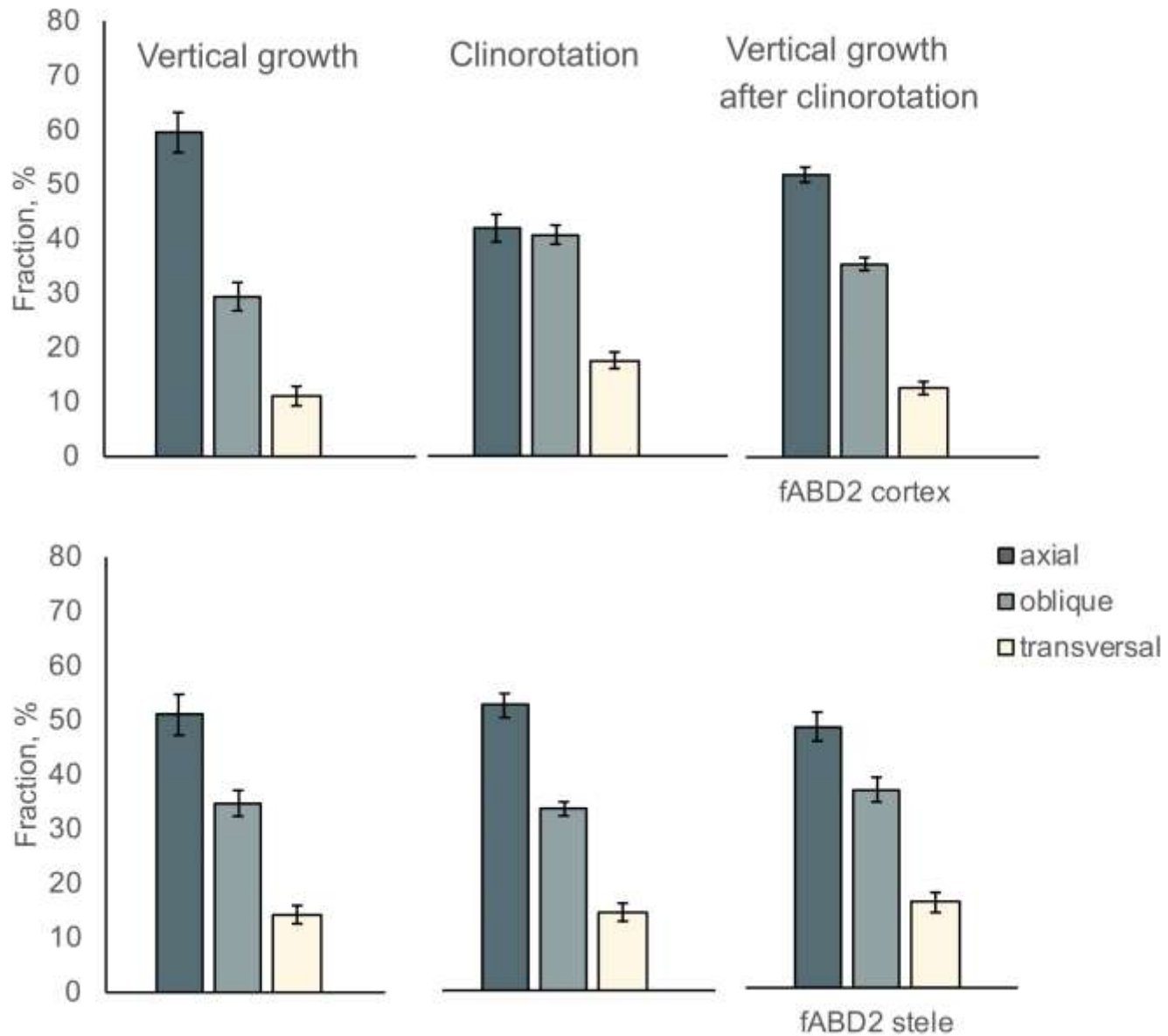


Юйту́ (Нефритовый заяц) — первый китайский луноход, являющийся частью китайской космической миссии Чанъэ-3. Его параметры -1,5x1x1,1 м.

Запущен **1 декабря 2013** года ракетой-носителем Великий поход-3В.

15 декабря Юйту отстыковался от посадочного модуля тонну и приступил к работе, передав первые снимки лунной поверхности.

12 февраля было заявлено об поломке Юйту. На его аккаунте был вывешен твит *«До свидания, Земля. До свидания, человечество»*.

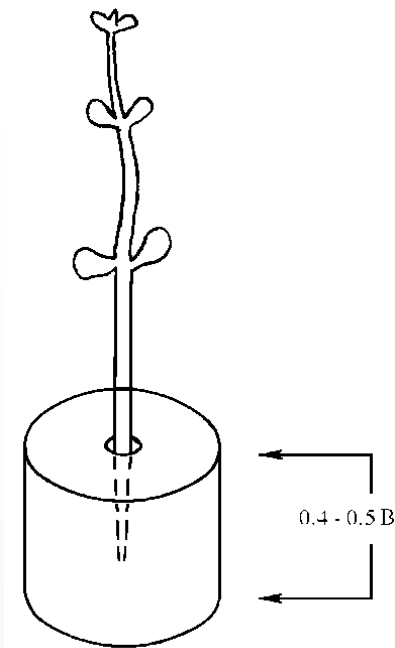


Выводы

1. 3D-Клиноостатирование инициирует увеличение длины корней проростков и дезориентирует их рост относительно вектора силы тяжести.
2. Клиноостатирование изменяет метаболомные профили прорастающих семян капусты и рапса, а также нарушает их нормальное развитие. Основные изменения состава первичных метаболитов связаны с энергетическим обменом растений (гликолиз, цикл Кребса).
3. Клиноостатирование инициирует изменения паттерна белков (протеома) проростков рапса, среди которых преобладают белки-участники белкового метаболизма (в том числе белки, входящие в состав рибосомальных субъединиц S40, S60 и S30).

**Развитие растений гороха (в течение 25 суток)
в условиях гипогравитации и клиноостатирования
(Гордеев и др., 1988).**

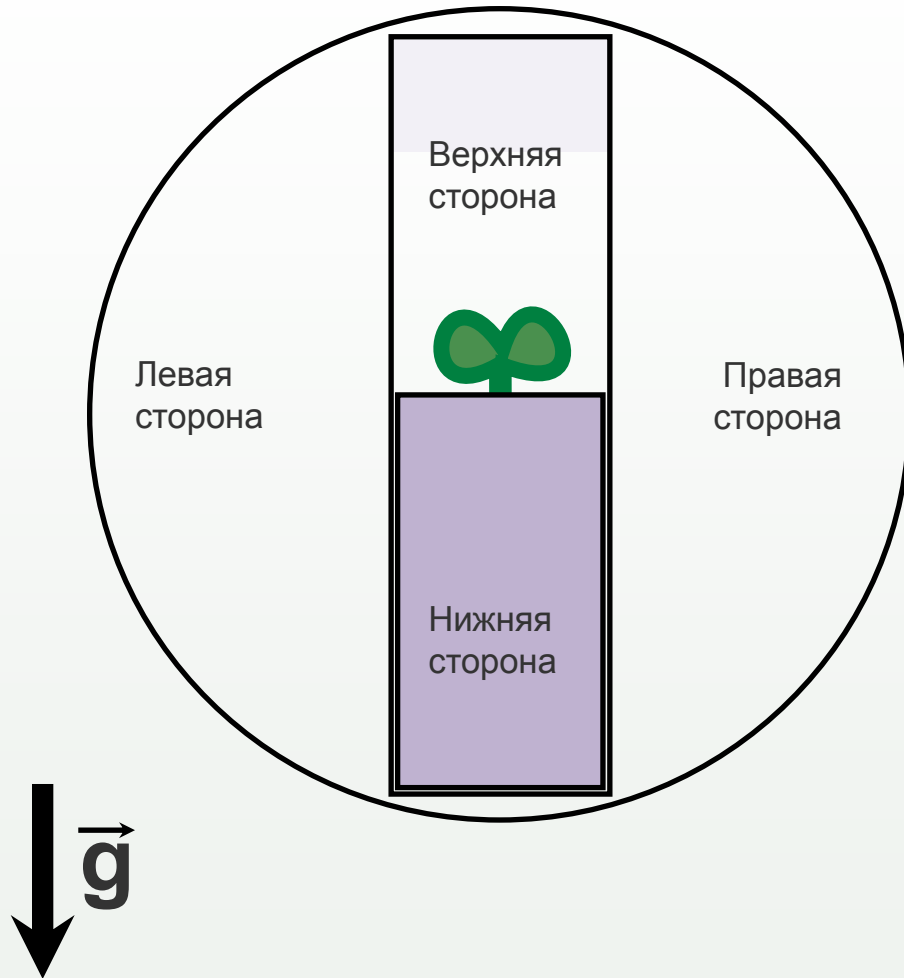
Условия	без воздействия	электростимуляция
	высота растений, мм	
Контроль	139	141
Невесомость	90	117
Клиноостатирование	123	164



Стрессовые воздействия, угнетающие рост и развитие растений, такие, например, как засуха, пониженная температура, клиноостатирование, гипогравитация в условиях орбитальной космической станции вызывают снижение аксиальных градиентов биоэлектрических потенциалов.

Если же восстановить исходную электрическую полярность путем пропускания слабого электрического тока, то различия в ростовых процессах между контрольным и опытным вариантами нивелируются.

Гравистимуляция проростков арабидопсиса путем поворота на 90°



- ❑ Гравитропизм (ростовая реакция, изгиб)
- ❑ Латеральный транспорт фитогормона ауксина
- ❑ Перестройки цитоскелета (актиновых микрофиламентов)
- ❑ Влияние фитогормона этилена на перестройки актинового цитоскелета, инициируемые гравистимуляцией
- ❑ Перестройки метаболомных профилей при гравистимуляции

Выводы

- ❑ Гравистимуляция проростков арабидопсиса (поворот на 90 град) приводит к уменьшению доли аксиально ориентированных актиновых микрофиламентов и одновременному увеличению доли наклонно и поперечно ориентированных микрофиламентов.
- ❑ Обработка этилен-продуцентом этефоном вызывает разборку актиновых микрофиламентов и расширение спектра их ориентации в зоне растяжения корня (т.е. приводит к «**рандомизации**» **ориентации актина**).
- ❑ Иницируемая гравистимуляцией реорганизация актинового цитоскелета подавляется ингибитором синтеза этилена аминоэтоксивинилглицином (АВГ), который стабилизирует аксиальную ориентацию микрофиламентов.
- ❑ При гравистимуляции в кончиках корней *A. thaliana* через 60 мин возникают **биохимические перестройки**, изменяющие их метаболомные профили.
- ❑ Ингибитор синтеза этилена АВГ снимает эффект гравистимуляции на метаболом корней проростков арабидопсиса.
- ❑ Предполагается, что фитогормон этилен вовлечён в регуляцию ростового ответа при гравитропизме, оказывая влияние на (ре)организацию актиновых микрофиламентов в зоне растяжения корня.

Особенности метаболомики, отличающие её от других "пост-геномных" технологий:

- ❖ Концентрация и компартиментализация метаболитов в клетках и тканях постоянно варьируют.

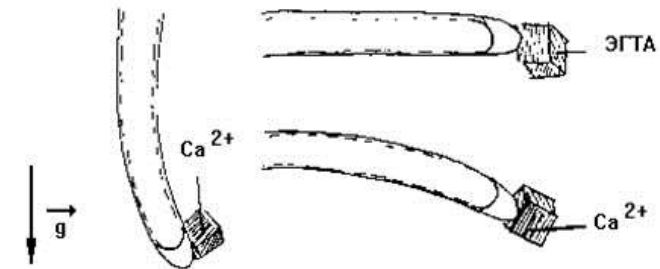
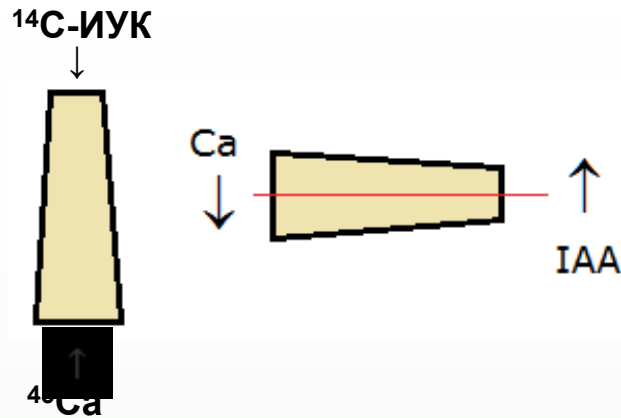
Это требует, во-первых, жесткой стандартизации протоколов метаболомного анализа, а, во-вторых, нового методологического подхода, который позволяет оценивать динамику потоков и концентраций метаболитов в клетках и тканях. Для этой цели служит такая «омиковая» технология, как **флаксомика**.

- ❖ **Метаболитов слишком много** (около 200 000) и они сильно различаются по своим физико-химическим свойствам. Поэтому анализ различных классов химических соединений требует применения различных методов физико-химического анализа.

- ❖ **Не создана единая технологическая «платформа»** для анализа метаболомов различных биологических объектов.

С методической и методологической точки зрения среди «омиковых» технологий исследований наиболее сложной является именно метаболомика.

Ионы Ca – гравитропизм корней и coleoptилей кукурузы



Влияние ионов Ca на гравитропизм корней кукурузы Lee et al., 1983)

Распределение ^{14}C -ИУК и ^{45}Ca в ходе гравитропической реакции у отрезков coleoptилей кукурузы

Вариант	^{14}C -ИУК, 60 мин гравистимуляции	^{45}Ca , 10 мин гравистимуляции
Верхняя половина отрезка	100%	165%
Нижняя половина отрезка	130%	100%

За 100 % принято содержание ^{14}C -ИУК в верхней половине и ^{45}Ca в нижней половине coleoptиля

Влияние верапамила (0,13 мМ) и ортованадата натрия (0,1 мМ) на гравитропизм и латеральный транспорт ^{45}Ca у отрезков coleoptилей кукурузы

Вариант	Гравитропический изгиб, град./час	^{45}Ca	
		имп/мин	%
Контроль	$2,2 \pm 0,4$	$\frac{120 \pm 20}{60 \pm 15}$	$\frac{200}{100}$
Верапамил, 0,1 мМ	$1,3 \pm 0,3$	$\frac{90 \pm 15}{75 \pm 15}$	$\frac{120}{100}$
Ортованадат Na, 0,1 мМ	$1,4 \pm 0,3$	$\frac{70 \pm 10}{65 \pm 10}$	$\frac{108}{100}$

Латеральные потоки ионов Ca^{2+} возникают в тканях раньше, чем полярные потоки ИУК

Полярный транспорт ионов Ca^{2+} , индуцированный гравистимуляцией подавляют ингибитор транспортных АТФаз - ортованадат и блокатор Ca-каналов – верапамил.

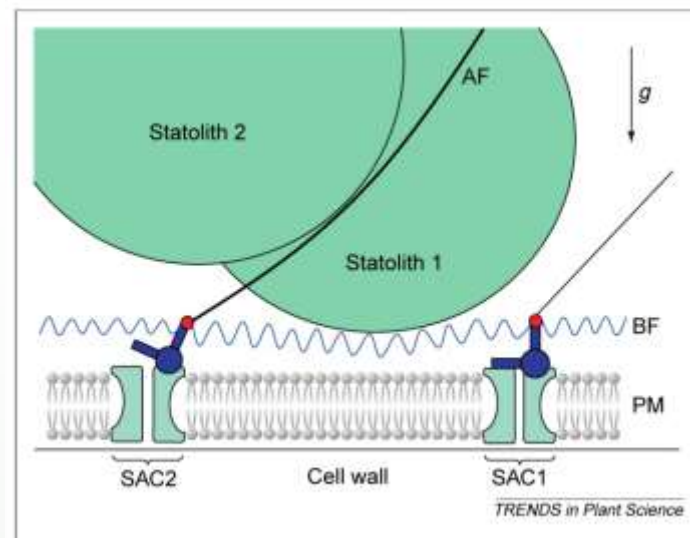
Механизм формирования полярных потоков ионов Са при гравистимуляции

Влияние антагонистов кальмодулина на рост и гравитропизм coleoptiles кукурузы

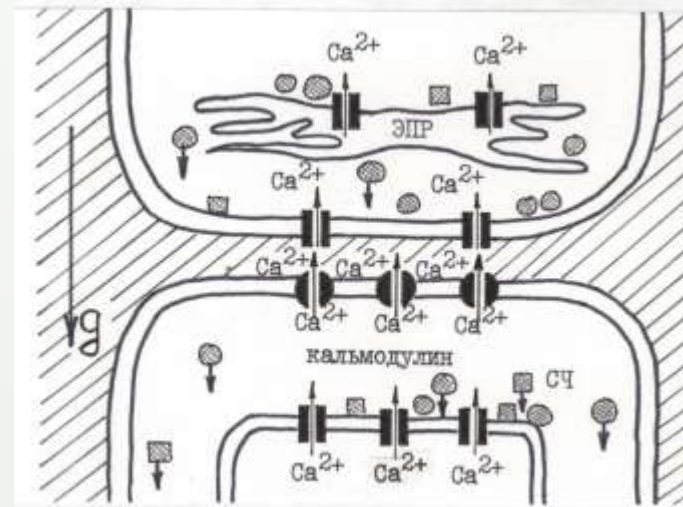
Варианты	Удлинение за 5 ч		Гравитропический изгиб за 5 ч	
	мм	%	град.	%
Контроль	2.7 ± 0.3	100	11.9 ± 0.9	100
Хлорпромазин	1.9 ± 0.1	71	7.9 ± 0.6	67
Трифторперазин	2.0 ± 0.1	71	6.4 ± 0.7	58

Ингибиторы кальмодулина подавляют гравитропическую реакцию coleoptiles кукурузы.

Полярные потоки ионов Са²⁺ формируются системой Са-каналов, Са-помп и кальциевых белков-сенсоров



Gerald Perbal and Dominique Driss-Ecole
TRENDIS in Plant Science Vol. 8 No. 10 2003



БИОСФЕРА-2



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

EHBLSS 2013

生物再生生命保障
地基有人综合实验
国际研讨会

International Workshop
on Experimental Human
Bioregenerative Life
Support Systems

2-4 December 2013,
Beijing, China



CELLULAR MECHANISMS OF PLANT ORIENTATION IN SPACE

Gravitational vector
is perceived external force
caused by deformation of gravity
in space.

The direction of
growth and morphological
development of plants
is determined by
phylogenetic and

During this process the
gravity vector is used to
control their position in
space.

Thus, GRAVITY is
the physiological basis of
plant orientation and
growth in space.



EBLSS 2013
生物再生生命保障
地基有人综合实验
国际研讨会
International Workshop
on Experimental Human
Biosupportive Life
Support Systems
3-4 December 2013
Beijing, China



Insights from Biosphere 2-related research testbeds for improving closure and sustainability of life support systems

Mark Nelson^{1,2}

(1) Biospheric Design Division, Global Ecotechnics Corp., 1
Bluebird Court, Santa Fe, NM 87508 USA

(2) Institute of Ecotechnics, 24 Old Gloucester St., London
WC1 3AL, U.K.

nelson@biospheres.com

Workshop on Humans in Bioregenerative Life Support
Systems, Beihang University, Beijing China

2-4 December 2013



The Human Factor – the Challenges and Joys of Learning to be a “Biospherian”

How to make living in CES not simply an endurance test but to incorporate elements that give satisfaction and reinforce the psychological health of individual crew members and the team of explorers/inhabitants

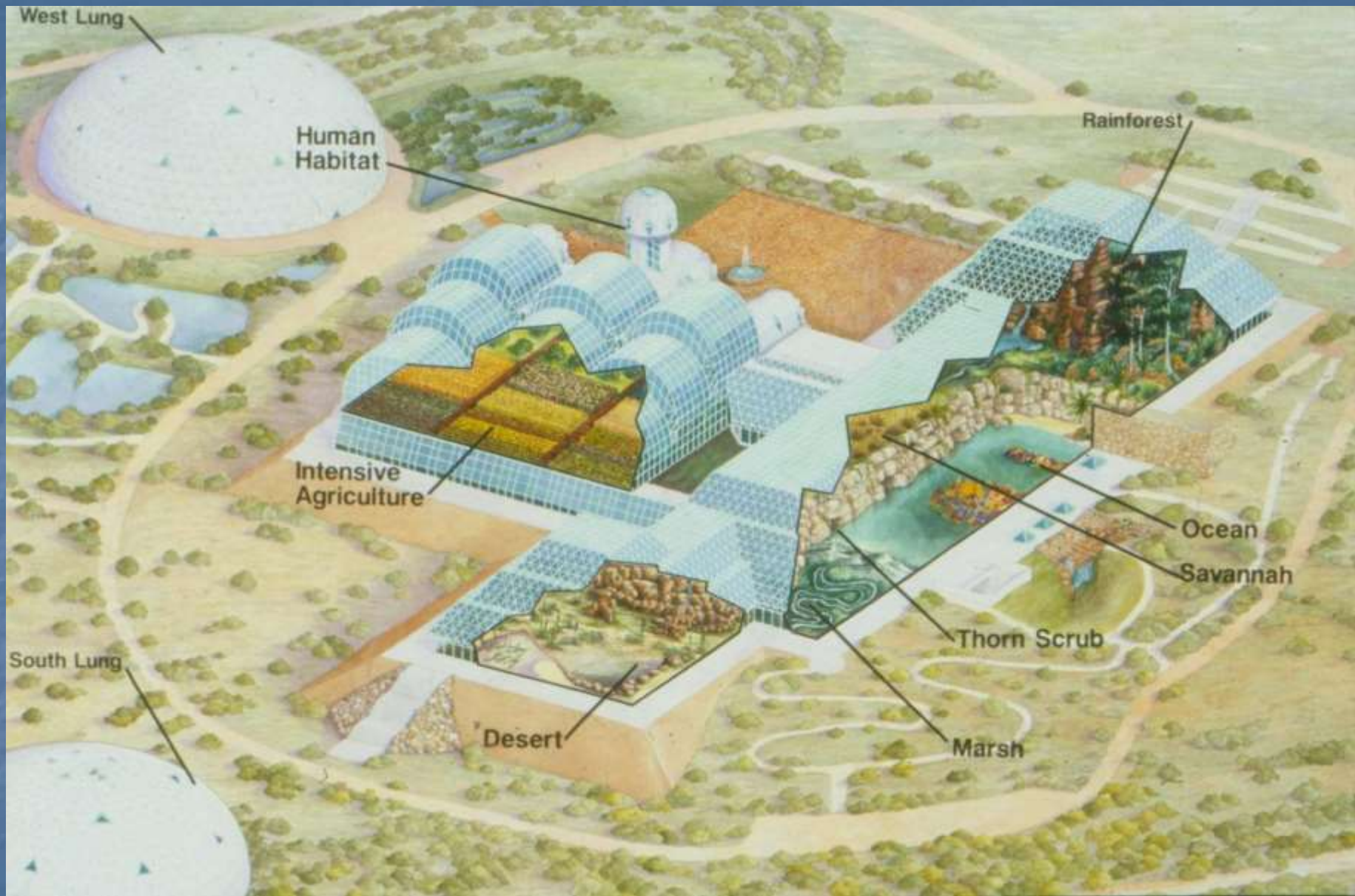


Entry September 26, 1991



BIO  **2**
HABITAT





Biosphere 2 Intensive Agriculture System – Highly productive without use of chemicals and with total recycling









Examples of International Wastewater Garden Systems (2)



Yucatan coast, Mexico



Bali, Indonesia



Algeria, in shape of crescent moon



National Park, Carpathian Mts, Poland

Examples of International Wastewater Garden Systems



The Bahamas



West Australia



Aboriginal Community,



Puerto Rico

Mangrove Marsh – from the Everglades to the Sonoran Desert



Mini-ocean with coral reef – in Arizona at 3900 ft elevation





interplay of eco and techno



No papaya left



Bio 2 Command Room
Interface with the world with 20th century technology



Intensively researched eco-systems correlated with detailed sensor records of environmental conditions for 3 yrs of closure

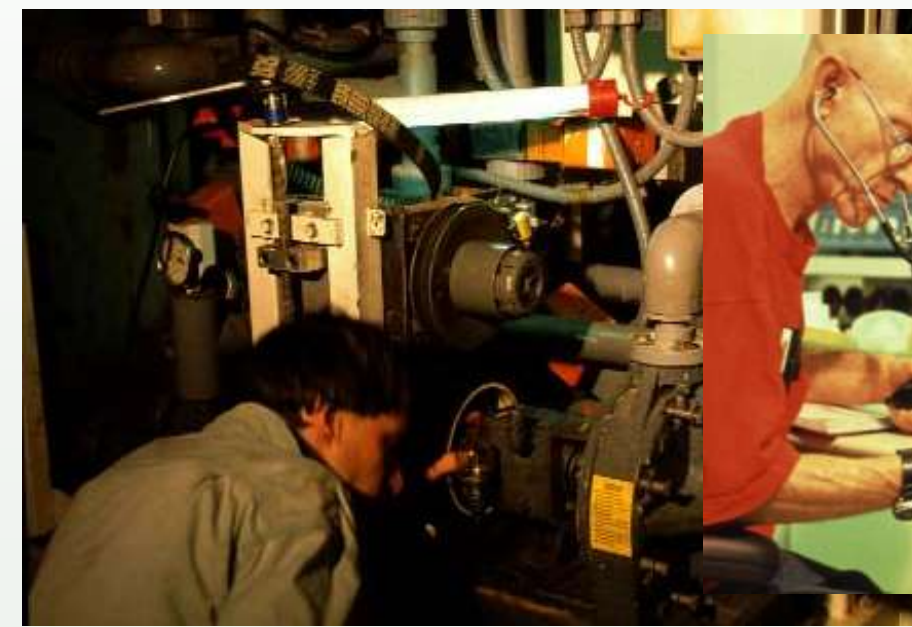




“1st Inter-biospheric music and arts festival”



Relaxing with friends



Maintenance – technosphere (left), human health and computers/sensors (right)

Research in Biology, Ecology and Bioregenerative Life Support – The German ModuLES* Concept in the Frame of :envihab

**Jens Hauslage¹, Gerhild Bornemann¹, Kai Waßer¹, Ruth Hemmersbach¹,
Michael Lebert², Klaus Slenzka³, Norbert Henn⁴,
Rupert Gerzer¹, Ralf Anken¹, Markus Braun⁴**

¹Institute of Aerospace Medicine, German Aerospace Center DLR, Cologne, Germany

²Cell Biology Division, University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany

³OHB System, Bremen, Germany

⁴German Space Administration, German Aerospace Center DLR, Bonn, Germany

****ModuLES: Modular Life Support
and Energy System***

Knowledge for Tomorrow



Some Earlier Large Scale Projects (3/3)

- **Biosphere II** (agricultural terrain, ocean, rain-forest, savannah and desert comprising many species)

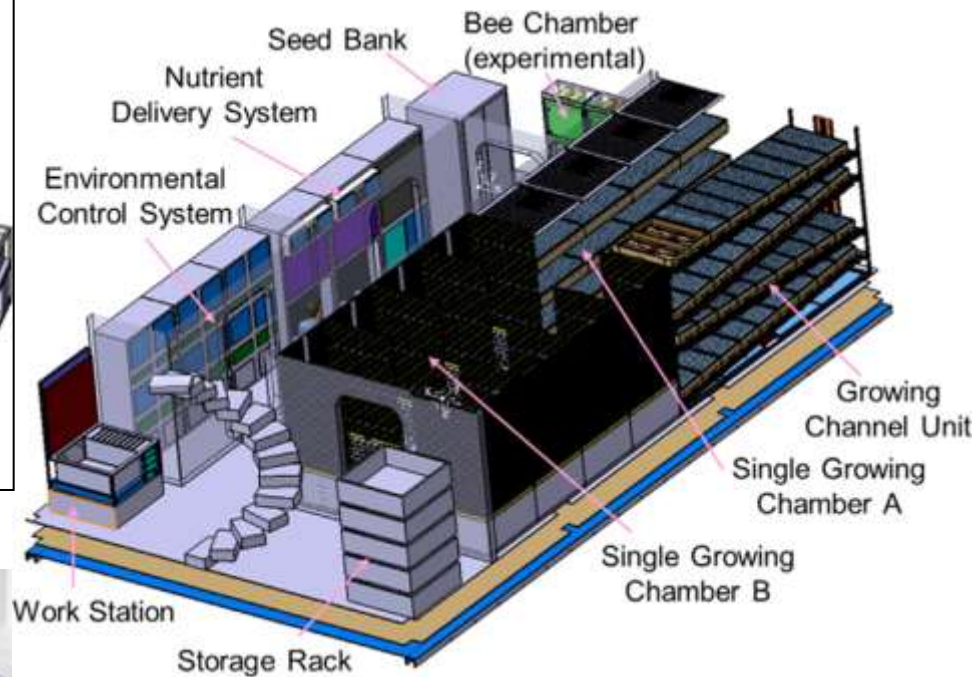
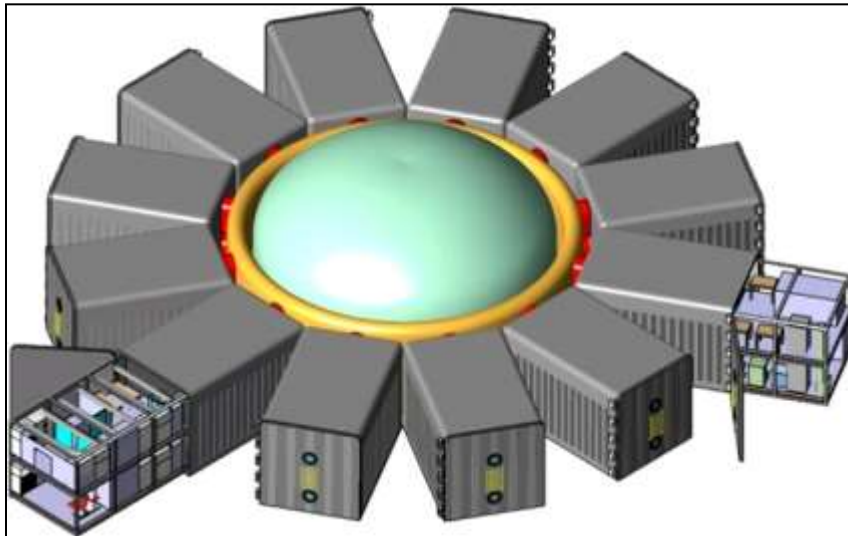


Credit: Virginia Wesleyan College



A Novel Design Project

- FLaSH (Facility of Laboratories for Sustainable Habitation, DLR)



Quantius et al.
Acta Astronautica 94, 541–562 (2013/2014)





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

