

СВЕТ И УРОЖАЙ – КАКИЕ СИСТЕМЫ И ОРГАНЫ РАСТЕНИЯ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УРОЖАЯ

ПУТЕШЕСТВИЕ В ВАРШАВУ ЗА НОВОЙ МЕТОДИКОЙ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРЕССА РАСТЕНИЙ

Юрий Гончаренко

Утром в варшавском доме Хазема Калаи я потребовал крепкого кофе, эспрессо. Не по причине капризности, просто я без него проснуться не могу, а, не проснувшись, с Калаи не поговоришь.

Хазем взялся колдовать над кофеваркой «Филипс», которая до моего прихода стояла без дела.

Сперва кофеварка превращала воду в пар и выпускала через клапан, потом сварила чашку слабо окрашенной бурды и лишь с третьей попытки выдала порцию довольно-таки посредственного эспрессо.

— Вот, – торжествуя поднял палец к небесам Калаи. – Теперь мы умеем! Теперь мы знаем!

Наверное, для него это высшее наслаждение – что-то узнать, проверить и понять.

рудования и консультаций направляют к нему.

Что ж, в Варшаву, так в Варшаву.

Проснувшись с помощью кофе, я приступил к расспросам.

— Как это случилось, – ты, мусульманин, работаешь в Евросоюзе, в Польше, занимаешься наукой? С чего началось?

— Я родился и учился в Алеппо, арабское название – Халеп, это на севере Сирии. Город считается самым старым в мире. Как обычно, я занялся биологией без особого энтузиазма и, как всегда случается, в жизни молодого ученого встретился человек, способный увлечь и зажечь идеей... Ну, а затем была возможность отправиться на стажировку в одну из европейских социалистических стран. Так я попал в Польшу и, по итогам стажировки, получил предложение остаться и заниматься научной и преподавательской работой.

— И сразу занялся флуориметрией?

— Флуориметрия сама по себе – лишь инструмент. Урожайность – вот что главное. Я был увлечен темой урожайности растений: откуда она происходит? Это не только трактор, не только спрос, не только удобрения. Это еще и внутренние процессы в растении. Есть некоторые параметры, факторы, которые обуславливают решение: какой должна быть урожайность растения. Я писал докторскую на тему влияния засоленности на урожайность, это актуально для Сирии. Ведь земледелие зародилось именно там.

ФЕРМЕР ЦЕНИТ УРОЖАЙНОСТЬ ПРЕВЫШЕ ВСЕГО...

Профессор Калаи – один из крупнейших исследователей флуориметрии и флуоресценции хлорофилла в Европе, поэтому практически все серьезные компании, производящие аппаратуру для моментальных листовых измерений, являются его партнерами и по всем вопросам приобретения обо-

Ю. Гончаренко,
главный редактор
журнала «Зерно»



— Только это было совсем другое земледелие.

— Верно. Первобытное земледелие было устроено так, что люди выращивали культуры, а, когда земля истощалась, кочевали в другие места. Да, да, почву можно уничтожить, неправильными технологиями, монокультурой... Поэтому урожайность – важнейшая для земледельца категория. Если я сегодня рекомендую что-то фермеру, он не спрашивает, какие у меня приборы и на что они способны. Он спрашивает: какие у вас при таких методах урожаи?

— В Украине все чаще преобладает критерий – не какой у тебя урожай, а сколько ты потратил на то, чтобы его вырастить.

— Да, это формула input-output, известная во всем мире. Это маркетинг, экономические законы. Но в течение длительного периода люди располагали бесплатной землей, какими-то семенами, и эти категории были неактуальны. Затем я зани-

мался локальными культурами, в частности, древними ячменями, которые выращивались 7 тысяч лет назад в Ассирии и Месопотамии, и я пытался понять механизмы их невероятной сопротивляемости. Эти механизмы недостаточно изучены... Для этого растение исследуется на молекулярном уровне, тканевом, клеточном, на уровне органов, целого растения и целой экосистемы.

ЗЕРНО ИЗ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

— Но – как ты пришел к теме флуоресценции хлорофилла?

— Моя заинтересованность была сконцентрирована на газовом обмене растений и интенсивности фотосинтеза, процессах, которые отвечают за продуктивность.

— Именно эти процессы – важнейшие для урожайности? >



➤ — Нет. Среди учителей, моих учителей и тех, кто учил моих учителей, есть профессор А. Нечипорович, который еще в 60-х годах разработал ряд чрезвычайно революционных теорий. В урожайности играет роль не только интенсивность фотосинтеза, но и размер ассимиляционного аппарата, размер листьев и зеленых органов растения (это может быть и колос, и стебель, и лист). Вот это и есть один из основных параметров, размер фотосинтезирующего аппарата. Третий параметр – время, – как долго работает этот лист! Месяц – и высохнет? Два месяца? Три месяца? Чем дольше период вегетации, тем больший урожай имеем. И четвертый – это Harvest index (индекс урожайности), то, что в Польше называем коэффициент урожайности. Сколько от всей биомассы (корень, стебель, лист, колос) составляет именно экономическая часть, та, которая составляет цель выращивания растения.

— То есть, какую часть от всего выращенного составляет сельхозпродукция...

— Да. Экономический урожай для дере-

ва – это яблоко, а прочее нас не интересует. Для зерновых – это колос, для приправы – может быть все растение целиком, с корнем и листьями. Для корнеплодов, картофеля, свеклы – только подземная часть, только корень. Иными словами, нас интересует отношение урожая экономического к урожаю биологическому, и нас интересует, чтобы экономический урожай был как можно более значительным. Меня не интересует пшеница, которая бы имела два метра роста, триста граммов массу растения и пятиграммовый колос. Мне нужен колос в десять граммов, а остальное меня не интересует.

Над Нечипоровичем в 60-е годы смеялись, но к этим четырем параметрам с тех пор никто не добавил ни одного. Все исследования проходят в рамках этих пунктов. Кроме того, люди после «зеленой революции» Бурлауга в 60-х годах начали обращать внимание на архитектуру биоценоза, группы. Бурлауг всего-навсего сократил расстояние между узлами растения. Это резко повысило урожайность. Норман Бурлауг – единственный нобелевский лауреат среди селекционеров, агрономов... Мы такой награды не получим.

ЧЕМ БОЛЬШЕ ЛИСТЬЕВ, ТЕМ БОЛЬШЕ УРОЖАЙ?

Итак, все обратили внимание на архитектуру группы. Мы начали исследовать размер ассимиляционного аппарата при помощи коэффициента площади листьев группы. Сколько листьев на гектаре? Мы приступили к исследованиям, которые должны были дополнить данные, полученные в исследованиях газообмена растений и интенсивности фотосинтеза. Газообмен растений также важен, поскольку дает сведения по четырем параметрам, – интенсивность фотосинтеза, мембранная проводимость, интенсивность транспирации и межклеточное движение двуокиси углерода. Для земледельцев самой важной является характеристика интенсивности фотосинтеза, но она тесно связана с другими параметрами. На основании этих параметров можно исчислить коэффициент использования влаги. В итоге мы понимаем, сколько воды тратит растение на ассимиляцию единицы двуокиси углерода. А это – расходы растения, его утраты.

Мы теперь заняты поиском решений, поиском растения, которое было бы экономным, потребляло как можно меньше воды и усваивало как можно больше углерода. Главной проблемой мирового земледелия является вода. Мы исследуем разные растения, сотрудничаем со всеми селекционными станциями, изучаем альтернативные растения – мискантус, тапинамбур...

БЕРЕГИТЕ ФЛАГ. ТОЧНЕЕ, ФЛАГОВЫЙ ЛИСТ

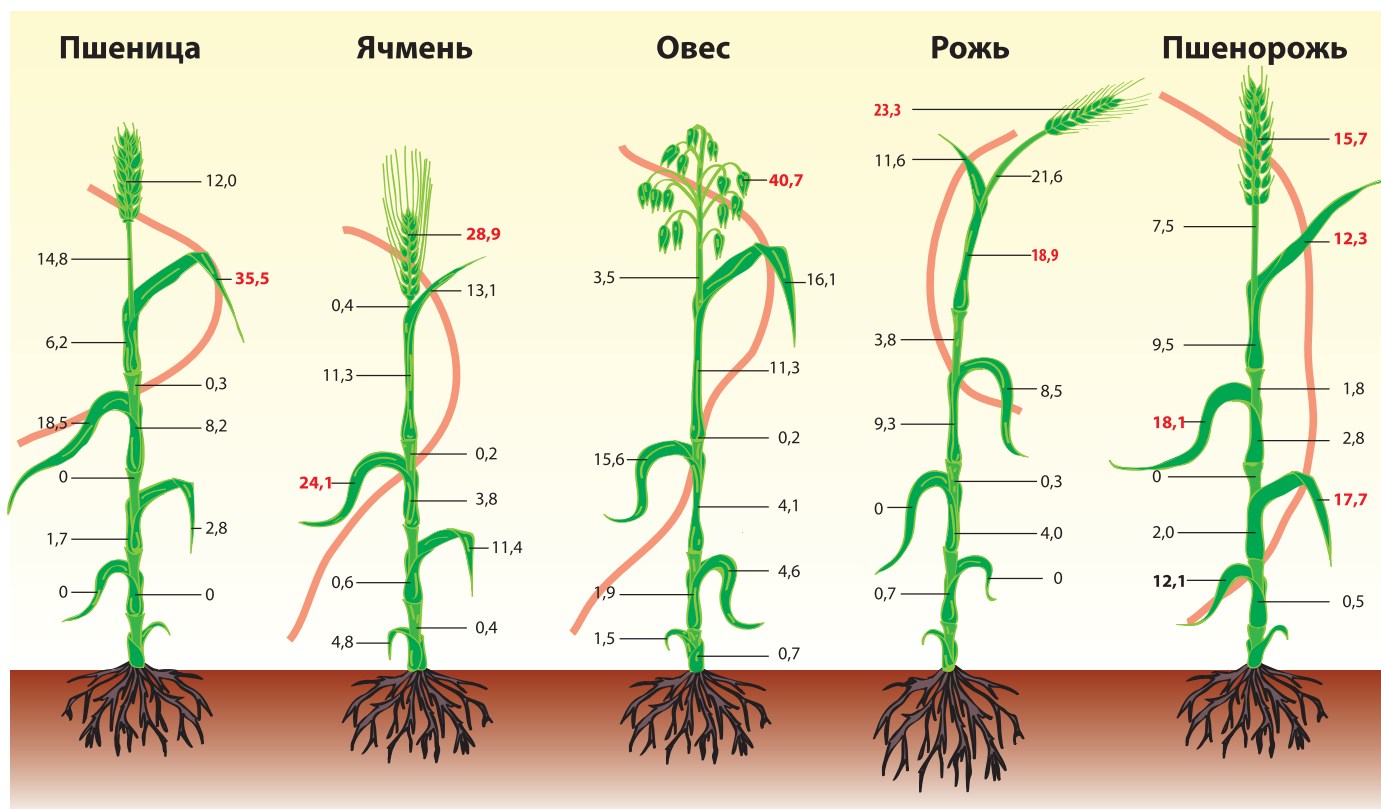
— Это несколько сложно для практического применения... Как все-таки фермер, агропромышленник может воспользоваться такого рода знаниями?

— Главное, о чем мы говорим, – это о том, из чего возникает урожай. Он возникает из фотосинтеза, из ассимиляции растениями углерода. Это важно практику. Мой учитель, профессор Нальборчик, еще в те времена, когда технология не была так развита, методом изотопов провел интереснейшие опыты. Он предположил, что в процессе фотосинтеза принимают участие не только листья, но и стебель, колос, другие орга-

ны растения, и доказал это. Сто миллилитров двуокси углерода метили изотопами и могли наблюдать, куда он распределяется в растении. Оказалось, что существует четыре модели усвоения! Оказалось, важнейшую роль играет флаговый и подфлаговый лист. Они отвечают за процесс фотосинтеза и ассимиляции и направляют «строй-материал» зернам или другому производственному подразделению растения. Но оказалось, что, например, у овса – сама метелка является главным инструментом фотосинтеза! Она наполняет зерна, а не листья! Если посмотреть на пшенирожь, то увидим, что более 50% продукции обеспечивает флаговый и подфлаговый лист. То, что получают зерна, фотоассимиляты, поставляется только двумя листьями, другие не имеют значения.

— Да, пожалуй, это важно для фермера: понимать, какие части растения отвечают за урожай.

— Фермер должен знать, что есть две разных шкалы – временная и количественная. На молекулярном уровне все начинается, затем идет на клеточный, в органы расте-



➤ ния и в конце концов – растение как система. Весь этот процесс проходит в двух шкалах – временной и количественной.

Урожай связан с массой потребляемых веществ органами растения (преобразующих их в предмет урожая). Это потенциальная возможность воспроизводства всей биомассы. Любые растения идут по этому пути.

Калаи: Арабы не пользуются арабскими цифрами. Они применяют индийские. Знаешь, почему? Первый закон экономики: если ты хочешь у меня что-то получить или чему-нибудь научиться, ты должен выучить мой язык. Не я – твой, а ты – мой. Потому в Европе применяют арабские цифры, а в Сирии – индийские

Итак... Четыре параметра, определяющие урожайность: интенсивность фотосинтеза, продолжительность периода вегетации, динамика усвоения, продуктивность, однако есть и многие другие влияющие факторы. Состав химический, механический и текстура почвы, коллоиды, вода, свет, кислород – все это нам известно. Может влиять срок посева, сорт, количество высева, климатические условия. Но – как влияет в процентах каждый из факторов на урожайность? Смотри, в случае сахарной свеклы увеличение подкормки и полив дают 100-150% роста продуктивности растений. А другие аспекты технологии, например ширина междурядья, влияют только на 10-15%, то есть, не имеют решающего значения для этого растения.

— Но я тут, глядя с позиции моего читателя, сразу вижу, что полив и удобрения могут стоить сумасшедших денег, а изменение ширины междурядья почти ничего не стоит. Может, лучше получить 15% бесплатно, чем 100% за немалые деньги?

— Совершенно верно! – удивился моему практицизму Калаи. Но не оставил своей глубоко научной погруженности. – Итак, мы имеем биологический и экономический

урожай. Мы видим, что большое значение в экономике имеет площадь фотосинтезирующих органов, как много у нас листьев; продолжительность жизни этих листьев и интенсивность фотосинтеза. Часть этой фотосинтетической деятельности идет на экономический урожай, на то, что мы выращиваем, и часть – на неиспользуемый биологический урожай, который тоже можно частично применить, солому, например... Часть фотосинтетической продукции идет на испарения, как потери. И, конечно, влияют болезни и вредители.

По этой формуле растений на квадратном метре должно быть как можно больше, чтобы площадь фотосинтетического аппарата группы была больше. Однако, чтобы не было загущения и конкуренции, селекционеры борются за тип растений с эректальным, направленным вверх под углом к стеблю листом, а не с горизонтальным. Ведь тогда растения будут перекрывать друг друга и блокировать фотосинтез в соседних растениях. При такой архитектуре растения солнечный свет проникает до нижних слоев растительной группировки. В другом случае, при горизонтальных листьях, у вас не работает нижняя часть растений, а ведь это – ваша фабрика, ваше производство. Жалко.

В ПОИСКАХ РАСТЕНИЯ-МЕЧТЫ

F _{CO2}	S	K _{EF}	K _{RDL}	n	P _{RDL}	P _{BIOL}
11,2	25000	0,45	0,35	80	35,3	100,8
22,4	25000	0,45	0,35	80	70,6	201,6
11,2	40000	0,45	0,35	70	56,5	161,3
11,2	25000	0,55	0,35	80	43,1	123,2
11,2	25000	0,45	0,50	80	50,4	100,8
11,2	25000	0,45	0,35	100	44,1	126,0
22,4	40000	0,55	0,50	100	246,4	492,8

F_{CO2} – коэффициент преобразования двуокиси углерода в углеводороды

S – площадь листьев (ассимиляционного аппарата)

K_{EF} – коэффициент интенсивности фотосинтеза

K_{RDL} – harvest index

n – период вегетации (дней)

P_{RDL} – экономический урожай

P_{BIOL} – биологический урожай

Давай рассмотрим эту таблицу, она состоит из теоретических примеров, но доказан-

ных практически. Что самое важное для нашего экономического урожая? Например, наша ассимиляционная площадь – 25000 единиц. Коэффициент интенсивности фотосинтеза – 0,45, harvest index 0,35, количество дней вегетации – 80, и получаем в итоге урожай экономический 35,3 при биологическом урожае 100,8. Теперь оставим все, как есть, удвоим только интенсивность фотосинтеза. То есть, если я найду растение, которое имеет такую же площадь ассимиляционного аппарата и такую же продолжительность его работы, но обладает удвоенной интенсивностью фотосинтеза, – что получится? Урожай удвоится! Это доказано. А вот если мы оставим интенсивность фотосинтеза прежней, а лишь удвоим площадь листьев и всего фотосинтетического аппарата? – Урожай не удвоится! Хотя возрастет на 30-40%. Этими параметрами можно манипулировать. А вот последняя строка – мы ее называем мечтой. Почему мечтой? Если найти растение, которое имеет удвоенную интенсивность фотосинтеза, площадь листьев больше (до 40000), коэффициент фотосинтеза 0,55, а не 0,45, harvest index 0,50, а не 0,35, и продолжительность вегетации 100 дней, а не 80, – то экономический урожай составит 246,4, то есть, будет в 8 раз больше! Но мы видим, что самое важное во всех перечисленных параметрах – фотосинтез, только он способен удвоить урожай. Интенсивность фотосинтеза! Ничего нет важнее! Нужно найти растение с максимальной интенсивностью фотосинтеза, скрестить с растением, имеющим большую площадь листьев и зеленой части, и мечта реализована!

— Речь идет о генетической модификации...

— Не обязательно. Методами классической селекции тоже можно этого добиться. Вернемся к нашим схемам активности разных органов растения в фотосинтезе. Пшеница, как видим, представляет листовую модель, а фермер ведь не знает, откуда берется урожай! Это крайне важно. В последних фазах нужно обращать внимание на флаговый и подфлаговый лист, они – главные инструменты создания урожая. В случае ячменя колос сам является фотосинтезирующим органом, сам создает урожай!



На фото профессор Нальборчик исследует флуоресценцию хлорофилла среди пингвинов Антарктиды

— Но – как фермер может это регулировать?

— Важнее для него – понимать, откуда он получает этот урожай. А уж поняв, он может применять разного рода средства, стимуляторы роста, эффективные микроорганизмы. Это не гормоны, это натуральные стимуляторы роста. Это отдельная тема. Важна также форма препарата. Сегодня существуют приспособления, измельчающие кальциевые препараты, известь, например, в пыль, поскольку для растения крайне важна форма вещества. Не о составе идет речь, а о форме, в которой растение способно усваивать вещество. В случае извести, оказывается, это пылевая структура. Сегодня на рынке встречаются препараты на эффективных бактериях... Это уникальные разработки. Мир бактерий можно поделить на две группы, позитивные и негативные. Так вот, эти препараты включают древнейшие пози-



- ▷ тивные бактерии, более 80 видов, существующие на Земле 15 миллионов лет. Они способны на многое: уничтожают патогенные грибы, устраняют запахи, повышают урожай. Это разработка японского профессора Тахи...

ВЕРНЕМСЯ К СВЕТУ

— Вернемся к свету. К фотосинтезу, создающему наш урожай.

— Да. Мы искали механизмы сопротивления фотосинтетического аппарата, или, по-другому, мы называли это фабрикой сахара. Как на нее воздействуют различные факторы среды? Я занимался, прежде всего, абиотическими стрессами. Стрессы делятся на две группы: биотические и абиотические. Абиотические – это влияние факторов неживой природы, слишком низкая или слишком высокая температура, недостаток освещенности, влаги, засоленность, тяжелые металлы и так далее. Биотические – это влияние живых организмов или продуктов их жизнедеятельности – влияние насекомых, возбудителей болезней, сорняков, других растений и т.д. У меня был очень хороший генетический материал сирийских древ-

них растений. Изыскания я проводил в исследовательских институтах в Берне и Женеве, там и встретил способ исследования, дающий мгновенные результаты, не травмирующий растения, очень быстрый, очень точный и очень дешевый. Эта техника называется – флуоресценция хлорофилла. В Польше мало кто этим занимался, биофизиологи были далеко от этой темы... Занимались этим только биофизики. Но я начал применять эту технику на селекционной станции картофеля. Дополнительно мы нашли очень интересную тему: для картофеля очень важен момент начала процесса туберизации, когда клубень начинает формироваться в почве. Ранее селекционеры были вынуждены вырывать растения, чтобы определить, начался ли этот процесс. Мы установили, изучая листья, по параметрам флуоресценции хлорофилла начало этого процесса. Когда появляется акцептор (клубень), а растение становится донором, интенсивность фотосинтеза резко возрастает. И это легко определить, не травмируя растение. Затем мы обнаружили, что, измеряя флуоресценцию хлорофилла других растений, можно получить огромное количество важной информации, которую не получишь никаким другим способом в такие сроки и с таким качеством. Главное, на что способна эта методика, – не определить стресс, когда он уже очевиден, когда растение уже имеет явные признаки проблем, а – предсказать стресс! Предвидеть его! И, предвидев, упредить! Вот на что способна флуориметрия. Кстати, она успешно применяется и в исследованиях здоровья лесов, и для определения качества вод – по флуоресценции хлорофилла водорослей. Это технология НАСА, которая применяется для предупреждения агрессии путем применения биологического оружия. Спутник наблюдает за флуоресценцией хлорофилла зеленых массивов и планктона и реагирует на изменения, подает сигнал государственной тревоги. Планктон, в случае отравления, реагирует в считанные секунды!

Портативная аппаратура позволяет определить максимальную отдачу фотосинтеза, будь то листья, семена, стебли, даже яблоко. Как для человека нормальным является пульс

80 ударов, так для всех растений нормальным является показатель фотосистемы 0,83. Если этот показатель иной, значит, присутствует или надвигается какого-либо рода стресс. Так можно определить избыток или недостаток азота, фосфора, поташа или других составляющих. Так определяются факторы, связанные с изменениями климата: озон, повышение температуры, засуха. Эта технология даже потеснила такие методики исследований и анализа, как измерение газообмена растений и интенсивности фотосинтеза. Для измерений газообмена применяется дорогая и крупногабаритная аппаратура, она может стоить до 100000 евро, а профессиональный флуориметр может стоить 2000 евро. Анализатором газов и интенсивности фотосинтеза квалифицированный профессионал, умеющий делать анализы быстро, в день едва способен провести 40-50 измерений. А флуориметром может пользоваться фермер, или его десятилетний сын. Он возьмет этот прибор и пойдет утром в поле, а вечером будет иметь три тысячи измерений!

О чем еще может сообщить флуориметр? Если разделить показатель интенсивности фотосинтеза на показатель транспирации, то получим важнейший показатель WUA (Water use efficiency), показатель использования воды растением в процессе фотосинтеза. Иными словами, каким способом и с каким качеством данный сорт или гибрид способен использовать воду? Это напрямую связано с вложениями в урожай и доходами от него.

НАУКА, ПРАКТИКА И КОММЕРЦИЯ

— Итак, мы получили метод быстрого не травмирующего растения исследования, — подвел итоги Калаи. — Интересна коммерческая часть вопроса. Фирмы продают флуориметры желающим, ученым, фермерам, однако есть уже во Франции компании, которые дают в аренду аппарат. Я интересовался, как выглядит сотрудничество с ними. Оказывается, они требуют арендную плату в размере 5000 евро в год (при том, что флуориметр стоит 2-3 тыс.). К тому же, когда обращаются к ним за консультацией, они требуют прислать результаты измерений,

по которым они делают свои выводы — за отдельную плату каждый раз!

Однако это не исключает реальности: флуориметр сегодня доступен каждому. Обучение измерениям занимает 10 минут, а вот трактовать их — нужно побольше времени, около недели. И затем в течение секунды можно получить информацию о вашем растении и прочесть ее.

Вероятно, в нашей беседе содержалось немало известных читателю сведений, известных со студенческой скамьи.

Однако, известно мне, что многие мои читатели протирали штаны о скамьи отнюдь не в аграрных вузах. Да и те, кто имеет специальное образование, вряд ли готовы к тому, чтобы переосмысливать и применять

Калаи: Компьютер был изобретен арабами, только они об этом не знали. Они изобрели ткацкий станок, который был устроен по двоичной системе. Отверстие — нет отверстия, отверстие — нет отверстия, потом — нет отверстия, нет отверстия, нет отверстия, — есть отверстие. Весь мир устроен по этому принципу — есть или нет. Третьего не существует

в сегодняшних практических полевых условиях теории 60-х. Сами того не заметив, мы с профессором систематизировали группу взглядов ученых на технологию создания урожая растением, а практик, получив эту систематизированную информацию, способен предпринимать определенные действия по защите и развитию именно тех органов растения, которые отвечают за урожай, которые строят его.

Полагаю, не прошло незамеченным рассуждение о том, что главная задача современной методики — не фиксировать стресс, способный привести к потерям или гибели урожая, а — предупредить о нем заранее.

Могу также известить читателей о том, что мы договорились о приезде профессора Калаи в Киев весной с целью познакомиться с украинскими учеными и агрофирмами. Так что некоторые из вас смогут задать вопросы профессору лично. □

Есть вопрос или предложение по статье?

Звоните:
(044) 581 09 19
Пишите:
04080, г. Киев,
ул Фрунзе, 13-б
e-mail:
hazem@kalaji.pl