

К 70-ЛЕТИЮ В. Б. ИВАНОВА

“Вот Вам Виктор Иванов,
потрясатель всех основ...”

Из стенгазеты 5-го курса биофака МГУ, 1958 г.



Диапазон научных интересов Виктора Борисовича Иванова очень многогранен и не сводится к изучению ростовых процессов в корнях, хотя в настоящее время он руководит лабораторией физиологии корня в Институте физиологии растений РАН. Его яркая индивидуальность проявилась заметнее всего в трех направлениях, доминирование и сочетание которых в исследованиях отчасти зависело от места работы.

Во-первых, развитие гистохимических методов исследований. Знание известных методов и разработка новых, понимание их принципов, критическая оценка недостатков многих из них привели Иванова не только к чтению оригинального спецкурса, но и к получению патентов по использованию флуорохромов для люминесцентной метки белка, а самое главное – к внедрению в гистологию растений и животных новой группы красителей, более надежных и удобных в работе. Так называемые активные (проционовые) красители отличаются образованием прочной ковалентной связи и потому не вымываются при дальнейшей обработке препаратов. Книга “Активные красители в биологии” (Москва, 1982; Лондон, 1987) посвящена принципам этого метода, его применению для окраски различных соединений и является не только сводкой, но и практическим

руководством по их использованию. Впоследствии, занимаясь поступлением тяжелых металлов в корни, Виктор Борисович использовал свой богатый опыт для разработки гистохимических методов выявления свинца, кадмия и никеля в живых тканях корней.

Учеба на кафедре физиологии растений биофака МГУ (1954–1959 гг.) и начало экспериментальной работы под руководством доцента Н.Г. Потапова, ранее сотрудника Д.А. Сабинина, заложили основу его интереса к проблемам роста клеток растений, наилучшей моделью которого является рост корня. В корне оба ростовых процесса – деление и растяжение – разделены в пространстве и во времени (деление – в апикальной меристеме, а растяжение – в зоне растяжения над меристемой), и переход меристематических клеток к растяжению можно наблюдать и изучать. После университета В. Иванов попал в Институт элементоорганических соединений (ИНЭОС) АН СССР в лабораторию академика И.В. Обреимова, где он получил полную свободу и возможность заниматься биологией, следуя своему призванию.

В период пребывания в этой лаборатории (1959–1998 гг.) Виктор Борисович защитил кандидатскую (1964 г.), а затем и докторскую (1972 г.) диссертации по росту клеток корня. Глубокое понимание закономерностей роста корня и хорошее знание химии позволили ему занять достойное положение в среде химиков и завоевать их уважение. Иванов предложил тест на рост корня для скрининга различных соединений, чтобы выявить их способность подавлять деление клеток, другими словами, – возможную противоопухольную активность. В течение ряда лет было протестировано около тысячи разнообразных веществ, из которых наиболее интересными и перспективными оказались комплексные соединения платины, и была проанализирована зависимость биологической активности от строения и состава комплексов. Целый ряд перспективных соединений был синтезирован химиками ИОНХа, в том числе *цис*- и *транс*-дихлорамина платины (II), смешанные комплексы *цис*-платины с аммиаком и циклоалкиламином, дихлор- и хлорнитродиаминовые комплексы платины, биядерные триамминовые комплексы платины с полиметилендиа-

минами и гетероциклическими аминами, а также комплексы триамминового и тетраамминового типа с пуринами, пиримидинами и нуклеозидами. Параллельно Виктор Борисович принимал участие в разработке метода оценки генотоксичности комплексных соединений платины в про- и эукариотных тест-системах. В результате интенсивно развернувшихся исследований в ИОНХе был налажен синтез нового эффективного противоопухолевого комплекса платины – циклоплатина, который прошел испытания и был запатентован в 1982 г. в СССР, а затем в течение 1987–1992 гг. в семи странах за рубежом.

Такой же подход – испытание действия разных соединений на рост корней – позволил Виктору Борисовичу установить мишень действия на рост гербицидов и гаметоцидов и тестировать высокие концентрации загрязняющих веществ в реках и водоемах, при которых они ведут себя как цитостатики и угрожают здоровью людей.

В 1982 г. В.Б. Иванов получил звание профессора и с 1991 г. стал заведовать сектором биохимических исследований ИОНХа. Однако доминирующий интерес к фундаментальным основам роста корней привел к закономерному результату: в 1998 г. Виктор Борисович перешел на работу в Институт физиологии растений АН СССР, возглавив лабораторию физиологии корня, и совместил ее с преподаванием физиологии растений в течение ряда лет в Московском государственном педагогическом университете.

Главным для Иванова является изучение закономерностей функционирования меристемы корня. Особенность организации меристем заключается в том, что в них осуществляется постоянная смена клеток; пролиферация в них происходит непрерывно, но после определенного числа делений клетки меристемы покидают ее, переходя к растяжению. Длительность митотических циклов мало различается между видами, она не меняется также в пределах самой меристемы и близка в клетках отдельных тканей. По ходу этих исследований было показано, что время митотического цикла не зависит от количества ДНК в клетках корня и что для перехода клетки к делению должен быть достигнут определенный критический размер. Иванов применил метод анализа размеров сестринских клеток, возникших из материнской, и разработал два оригинальных метода: определение митотического индекса с учетом смещения делящихся клеток вдоль меристемы и стохастическое моделирование пролиферации в одном ряду клеток корня.

Поддержание пролиферации в меристеме обусловлено наличием двух популяций меристематических клеток: 1) покоящегося центра, расположенного в самом апексе корня и состоящего из небольшого числа редко делящихся и слабо диф-

ференцированных клеток, которые отличаются вялым метаболизмом, и 2) собственно меристемы, клетки которой осуществляют митотическую активность. Вследствие редких делений клеток покоящегося центра со временем на его поверхности оказываются так называемые инициальные клетки, которые и переходят к интенсивным делениям и дают начало продольным рядам дифференцированных клеток всех тканей. Благодаря тому что клетки покоящегося центра находятся в фазе G_1 или частично в G_0 , они не повреждаются при многих неблагоприятных воздействиях, при которых погибают клетки основной меристемы. Так, при облучении, действии ряда ингибиторов и при низкой температуре клетки покоящегося центра активируются и формируют новую меристему.

Иванов разработал оригинальный подход к оценке понятия “стволовость” для меристемы корня. Клетки покоящегося центра являются стволовыми, поскольку отвечают всем критериям, предложенным и разработанным для стволовых клеток животных. Однако он первым обратил внимание на то, что при декапитации корня клетки покоящегося центра возникают из уже дифференцированных вышележащих клеток и что этот процесс в одном и том же корне может быть воспроизведен неоднократно. В отличие от стволовых клеток животных в корнях возможно их образование *de novo* за счет дедифференцировки зрелых клеток, которые могут начать активно делиться и сами апикальные из которых могут стать стволовыми. Число клеток в составе покоящегося центра может меняться. Возможно, что клетки покоящегося центра являются потенциальными стволовыми клетками, а инициальные клетки на его поверхности – временно функционирующими стволовыми, играющими роль ниши. Описанные механизмы поддержания меристемы и сохранения длительной пролиферации клеток в ней обеспечивают рост корня в течение всего периода его роста.

Возникновение в растениях новых меристем из уже дифференцированных клеток имеет очень большую биологическую значимость, так как является основой вегетативного размножения растений и определяет способность растений в течение долгого времени образовывать новые органы, т.е. поддерживать морфогенез растений. Как остроумно отметил Виктор Борисович, не только стволовые клетки делают растение, но и растение само делает стволовые клетки.

Не меньший интерес в организации меристемы представляет собой и другая сторона медали – остановка делений в конце меристемы. Впервые в мировой литературе В.Б. Иванов ввел понятие “времени жизни клеток в меристеме” (*life span of meristematic cell*), показав, что в меристеме корня клетка совершает строго установленное число циклов делений (в корнях кукурузы, например,

шесть), после чего сразу обязательно начинает удлиняться. Время жизни клетки видоспецифично, оно равно произведению числа циклов на длительность цикла. Самая главная его особенность заключается в том, что, даже если пролиферации клеток в меристеме не происходит (например, после высоких доз облучения или воздействия 5-фторурацилом), все равно длительность пребывания клеток в меристеме не изменится и клетки не покинут ее раньше. Таким образом, время жизни клетки в меристеме означает срок, когда клетка окажется на верхней границе меристемы за счет роста клеток между ней и покоящимся центром, и этот срок не зависит от того, происходили ли деления в меристеме или нет. Следовательно, прекращение делений в конце меристемы регулируется совершенно иначе, чем переход клеток к растяжению.

Для изучения природы процессов, определяющих длительность жизни клеток в меристеме, Виктор Борисович сравнивал число перешедших к растяжению клеток в облученных корнях (с подавленными делениями), растущих в растворах различных ингибиторов метаболизма, с теоретически вычисленным числом клеток, которые должны были бы начать растягиваться при условии постоянства времени жизни в меристеме. Этим исследованиям предшествовала разработка оригинального метода анализа действия ингибиторов, позволившего разграничить их специфические и неспецифические (при низких и высоких концентрациях соответственно) эффекты. Используя очень большое число ингибиторов в специфически действующих концентрациях, Виктор Борисович нашел, что они не влияют на время жизни клетки в меристеме. Только ингибиторы плазмалемной H^+ -АТФазы несколько удлиняли время жизни клеток в меристеме, поэтому пока трудно сказать что-то определенное о природе этой регуляции.

Как показал Виктор Борисович, время перехода клеток к растяжению определяется временем жизни клетки в меристеме, а скорость перехода зависит от скорости делений клеток в меристеме. При различных неблагоприятных воздействиях митотические циклы удлиняются, и замедление делений в меристеме приводит к замедлению скорости выхода клеток из меристемы. Однако во всех случаях относительная скорость роста клетки

резко (скачкообразно) возрастает на границе меристемы и зоны растяжения, что было убедительно продемонстрировано при анализе продольных рядов клеток как на препаратах, так и *in vivo* с помощью видеокамеры и последующего компьютерного анализа изображений. Это явление не было ранее признано, поскольку остальные исследователи усредняли данные по разным корням и получали плавную кривую перехода. При изучении каждого корня в отдельности, как показал Иванов, имеет место именно резкое увеличение скорости роста клетки. Резкий переход клеток к удлинению – первое звено на пути регуляции растяжения клеток и достижения ими окончательного размера.

Виктор Борисович является руководителем ряда международных и российских научных проектов и активно участвует в научно-организационной деятельности. В течение многих лет он является членом экспертного совета ВАК, диссертационных советов биофака МГУ и Института физиологии растений, членом Ученого совета ИФР, а также редколлегий журналов “Онтогенез”, “Известия РАН. Серия биологическая” и “Физиология растений”. В.Б. Иванов за свою научную карьеру подготовил 17 кандидатов биологических наук.

Особенно следует отметить его постоянное активное участие в работе редколлегии журнала “Онтогенез”. В.Б. Иванов – всегда желанный гость в Институте биологии развития РАН и участник различных конференций, проходящих в нем. С Институтом его связывал и связывает многосторонний интерес к проблемам клеточной биологии, общение и дискуссии, совместные исследования и обсуждения частных и общих проблем биологии развития не только растений, но и животных с В.В. Сахаровым, В.Я. Бродским, Т.А. Детлаф, В.В. Терских, С.Г. Васецким и многими другими.

Коллеги и редколлегия журнала “Онтогенез” искренне поздравляют Виктора Борисовича Иванова с семидесятилетием и желают ему на многие годы проявлять столь характерные для него оригинальность мышления, критическое отношение к результатам, преданность науке и стремление познать сущность биологических закономерностей, сохраняя при этом здоровье и силу духа.

Н.В. Обручева