

В. И. АРТАМОНОВ

**О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АУКСИНОВ И РИБОФЛАВИНА
В РОСТОВЫХ РЕАКЦИЯХ РАСТЕНИЙ**

(Представлено академиком М. Х. Чайлазяном 6 XII 1972)

Установлено, что *in vitro* на свету гетероауксин довольно быстро разрушается в присутствии рибофлавина (¹⁻³). На основании своих опытов Гальстон и Бакер выдвинули теорию, объясняющую стимулирующее действие витамина В₂ на рост растений в темноте и тормозящее его действие на свету в присутствии ИУК (¹). Однако эта теория подверглась резкой критике (²). Основываясь на результатах опытов по влиянию рибофлавина на рост проростков пшеницы и овса, а также изолированных колеоптилей, Мер пришел к заключению, что теория Гальстона и Бакера о фотоннактивации ИУК рибофлавином внутри растения не может считаться обоснованной. Автор пришел также к выводу, что рибофлавин не проникает в клетки при снабжении их витамином извне.

В связи с наличием противоречивых данных относительно участия рибофлавина в ростовых реакциях растений мы считали важным провести дополнительные исследования по этому вопросу. Кроме того, нам казалось интересным выяснить влияние гетероауксина на содержание рибофлавина в тканях растений.

Прежде всего мы исследовали процесс фотодеградации гетероауксина *in vitro* в присутствии рибофлавина и акрифлавина в зависимости от интенсивности освещения. Хотя участие рибофлавина в разрушении гетероауксина *in vitro* хорошо установлено, зависимость этого процесса от интенсивности света не исследовалась. Растворы испытуемых веществ смешивались в таком соотношении, чтобы исходное содержание веществ в смеси составляло $4 \cdot 10^{-4}$ мол/л для индолилуксусной кислоты и $5 \cdot 10^{-5}$ мол/л для рибофлавина и акрифлавина. Количество ИУК в растворе измерялось на фотоэлектроколориметре ФЭК-М с помощью реактива Сальковского в модификации Гордона и Вебера. Результаты опытов показывают отчетливую зависимость между интенсивностью освещения и скоростью разрушения ИУК (рис. 1). При относительно высокой интенсивности света (3000 лк) разрушение ИУК в присутствии рибофлавина заканчивается практически через 40 мин., тогда как при освещенности 500 лк такой же результат достигается спустя 160 мин. Сравнивая эффективность действия изомолярных концентраций рибофлавина и акрифлавина, следует отметить большую активность первого из них.

В дальнейшем было исследовано влияние высокой концентрации (200 мг/л) рибофлавина, смешанного с питательным раствором Кнопа, на рост проростков кукурузы, фасоли и подсолнечника в водной культуре. Через 8 дней выращивания проростков разница в весе опытных и контрольных растений оказалась довольно значительной (рис. 2). Эти данные согласуются с результатами опытов по влиянию высоких концентраций рибофлавина на рост проростков вигны (⁴). Можно предположить, что в основе тормозящего влияния рибофлавина на рост растений лежит разрушение эндогенных ауксинов. В пользу данного предположения свидетельствуют результаты опытов (⁵), в которых отрицательное влияние большого количества рибофлавина на рост томатов снималось с помощью гетероауксина.

Более сильное влияние рибофлавина на рост корневой системы по сравнению с надземной частью, наблюдавшееся в наших опытах, можно объяснить тем, что из питательного раствора он в первую очередь проникает в корни растений. В опытах Мера (2) при выращивании проростков овса и пшеницы на среде, содержащей рибофлавин, высокая концентрация витамина была обнаружена лишь в корнях, тогда как в колеоптилях

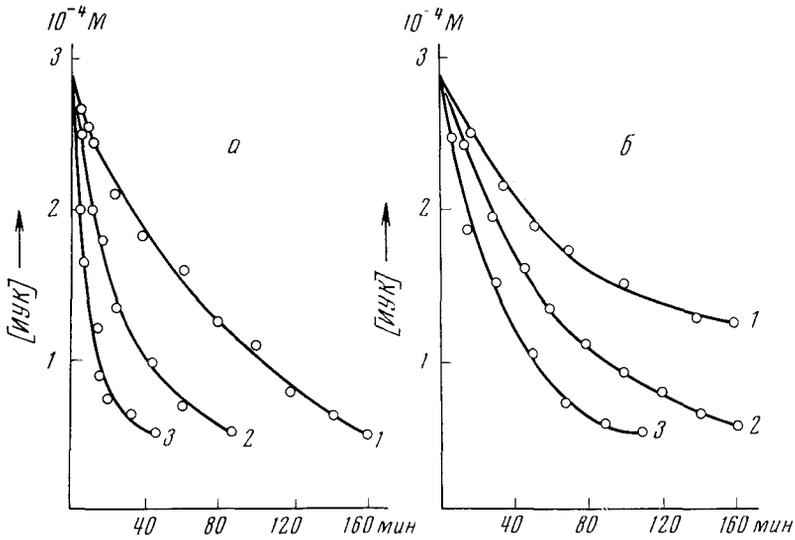


Рис. 1. Динамика разрушения ИУК в присутствии рибофлавина (а) и акрифлавина (б) при интенсивностях освещения 500 (1), 1500 (2) и 3000 (3) лк

повышение содержания его не наблюдалось даже на 5 суток. Наши опыты не отвечают на вопрос о том, чем вызвано торможение роста надземной части проростков: разрушением эндогенных ауксинов или коррелятивным влиянием угнетенной рибофлавином корневой системы. Для решения вопроса о возможности взаимодействия гетероауксина и рибофлавина в над-

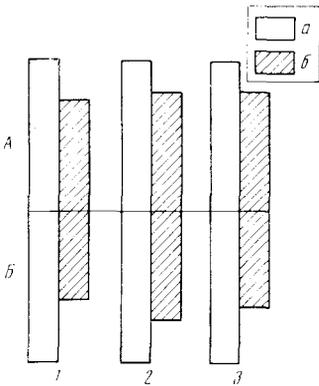


Рис. 2

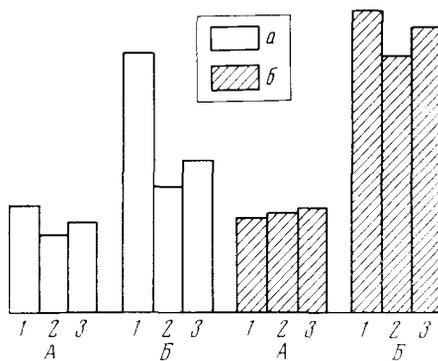


Рис. 3

Рис. 2. Влияние рибофлавина на изменение веса надземной части (А) и корней (Б) проростков кукурузы (1), фасоли (2) и подсолнечника (3): а — контроль, б — рибофлавин

Рис. 3. Прирост отрезков междуузлий гороха на свету (а) и в темноте (б) при нанесении ланолина (А) и ланолина с гетероауксином (Б): 1 — без рибофлавина, 2 — рибофлавин, 10^{-4} мол/л, 3 — рибофлавин, 10^{-5} мол/л

земных органах растений был поставлен опыт по влиянию этих веществ на рост 3 см отрезков третьего междоузлия этиолированных проростков гороха. В отличие от опытов (1) в наших экспериментах испытуемые вещества вводились полярно: нижний конец отрезка погружался в цитратно-фосфатный буфер с рибофлавином (концентрация 10^{-4} и 10^{-5} мол/л) или без него, а на верхний конец отрезка наносилась ланолиновая паста с гетероауксином (концентрация 10^{-3} мол/л) или без гормона. Таким образом избегалась возможность взаимодействия веществ на поверхности отрезков или в растворе. Прирост отрезков на свету и в темноте за 48 час. показывает рис. 3.

Из приведенных данных видно, что на свету рибофлавин заметно подавляет прирост отрезков в длину. Особенно сильно уменьшается прирост

Таблица 1

Влияние ауксинов на содержание рибофлавина в растениях фасоли (в $\mu\text{г}$ на 1 г сыр. веса)

Варианты опыта	Через 24 часа	Через 72 часа
Контроль (вода)	$2,66 \pm 0,07$	$2,71 \pm 0,03$
	$0,42 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,01$
Гетероауксин	$2,35 \pm 0,05$	$2,25 \pm 0,06$
	$0,51 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,02$
2,4 Д	$2,17 \pm 0,04$	$2,03 \pm 0,06$
	$0,53 \pm 0,01$	$0,52 \pm 0,01$

Примечание. Цифры над чертой — данные по содержанию рибофлавина в листьях, под чертой — в стеблях.

отрезков на фоне гетероауксина. В последнем случае при использовании рибофлавина в концентрации 10^{-4} мол/л прирост отрезков почти такой же, как и в контроле (без ИУК и рибофлавина). Подавление роста отрезков на свету в присутствии рибофлавина, но без ИУК можно связать с инактивацией эндогенных ауксинов, тогда как при использовании гетероауксина — экзогенных.

Иной характер действия рибофлавина проявляется в

темноте. В отсутствие экзогенной ИУК совершенно не наблюдается подавления роста отрезков рибофлавином. При введении гетероауксина можно обнаружить незначительное торможение их роста. Приведенные данные говорят о необоснованности выводов Мера (2). Растительные ткани могут поглощать рибофлавин, который на свету взаимодействует с ауксинами эндогенного или экзогенного происхождения.

Поскольку как *in vitro*, так и *in vivo* на свету происходит разрушение ауксинов в присутствии рибофлавина, возникает вопрос, не приводит ли их инактивация к убыли самого рибофлавина. Для решения этого вопроса был поставлен опыт по влиянию гетероауксина (концентрация 25 мг/л и 2,4 Д (концентрация 300 мг/л) на содержание рибофлавина в листьях и стеблях фасоли. Определение содержания рибофлавина проводилось с помощью электронного флуорометра ЭФ-3 по методу К. Л. Поволоцкой с соавторами (6) после автолитического, гидролитического и ферментативного отщепления рибофлавина через 24 и 72 часа после опрыскивания 10-дневных проростков. Результаты приведены в табл. 1.

Уже через сутки после обработки растений ауксинами можно наблюдать уменьшение содержания витамина B_2 в листьях растений наряду с накоплением его в стеблях. В некотором отношении наши данные сходны с результатами, полученными другими авторами. В отношении 2,4 Д показано, что в листьях растений, обработанных гербицидом, количество рибофлавина, тиамина и никотиновой кислоты снижается, тогда как в стеблях содержание их утраивается (7). Интересно отметить, что рибофлавин способствует фотодеградации не только гетероауксина, но и 2,4 Д (8). В опытах с *Phaseolus mungo* L. содержание рибофлавина в пересчете на сырой и сухой вес снижалось через 24 и 48 час. и увеличивалось спустя 72 и 96 час. после обработки гетероауксином (9). Другие авторы отмечают сильное снижение уровня рибофлавина в надземной части проростков ячменя, обработанных гетероауксином, наряду с некоторым увеличением его в корнях (10). Авторы отмечают, что самым заметным проявлением дей-

ствия ауксина является перемещение центров синтеза рибофлавина из надземной части в корни.

Сопоставление наших данных с результатами, имеющимися в литературе, позволяет нам предположить, что изменение содержания рибофлавина в тканях растений, обработанных ауксинами, связано не с перемещением центров синтеза, а с перераспределением имеющегося витамина. Такое перераспределение возможно после лабильзации связей рибофлавина со структурными элементами клеток. Применительно к бактериальным клеткам показано, что один из компонентов цепи транспорта электронов — флавин находится в цитоплазматических мембранах, в которых он прочно связан с белком (¹¹). Можно предположить, что ауксин, проникающий в растительные клетки, образует комплекс с молекулами рибофлавина подобно тому, как образуется комплекс рибофлавина с метионином (¹²), активирующим *in vitro* фотолиз рибофлавина (¹³). В результате образования комплекса ауксин — флавин происходит высвобождение рибофлавина из связанного белком состояния. Высвобождение рибофлавина возможно и при конформационных изменениях белковых молекул, возникающих при действии фитогормона. В дальнейшем комплекс ауксин — флавин начинает полярно перемещаться по растению аналогично тому, как перемещаются отдельные молекулы ауксина. Транспорт комплекса сопровождается на свету распадом ауксина, в результате чего рибофлавин накапливается в стеблях (а возможно, и в корнях) растений.

Тот факт, что рибофлавин не подвергается деградации одновременно с гетероауксином доказывают наши опыты *in vitro*. В этих опытах смесь рибофлавина с гетероауксином (концентрация веществ в смеси соответственно равна 10^{-5} и 10^{-4} мол/л) в кварцевых колбах выдерживалась под лампами дневного света (освещенность 3000 лк) в течение 2 час. Измерения содержания витамина В₂ в среде, проводившиеся каждые 10 мин. с помощью электронного флуорометра, показали небольшую убыль рибофлавина, причем разницы между вариантами (присутствие или отсутствие ИУК) не наблюдалось.

При обработке же ауксинами интактных растений вполне возможно снижение содержания рибофлавина в опытных растениях за счет перехода рибофлавина из связанного состояния в свободное, поскольку свободный витамин быстрее подвергается разрушению. Приведенные выше данные говорят о реальности этого предположения. Следует также иметь в виду, что в связи с изменением состояния рибофлавина в растениях, обработанных ауксинами, возможны глубокие изменения в метаболизме, поскольку «в большей части биохимических реакций, катализируемых флавопротеидами, свободные флавины участия не принимают» (¹³). Весь комплекс рассмотренных фактов говорит о большом значении флавиновых соединений в ростовых реакциях растений.

Смоленский государственный педагогический институт
им. К. Маркса

Поступило
6 XII 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. W. Galston, K. S. Baker, *Am. J. Bot.*, **36**, 773 (1949). ² C. L. Mer, *Plant Physiol.*, **32**, 3, 175 (1957). ³ В. И. Артамонов, Матер. конфер. Прибалтийских республик по вопросам стимуляции растений, животных и микроорганизмов, Вильнюс, 9, 1969. ⁴ L. Mishra, P. V. Mohanty, *Sci. and Cult.*, **28**, 136 (1962). ⁵ К. Л. Поволоцкая, Сборн. Витамины, Кисв, 1959, стр. 148. ⁶ К. Л. Поволоцкая, Н. И. Зайцева, Е. П. Скоробогатова, Сборн. Витаминные ресурсы и их использование, 3, 1955, стр. 145. ⁷ R. W. Lucke, C. L. Hamner, H. M. Sell, *Plant Physiol.*, **24**, 546 (1949). ⁸ G. R. Bell, *Bot. Gaz.*, **118**, 1, 133 (1956). ⁹ P. Gopalo Rao, *Plant Physiol.*, **11**, 196 (1968). ¹⁰ И. Павел, И. Жакова, Л. Тесаржова, *Физиол. раст.*, **15**, 2, 246 (1968). ¹¹ Н. С. Гельман, И. Г. Жукова, Н. И. Зайцева, *ДАН*, **145**, 1, 206 (1962). ¹² W. J. Nickerson, G. Strauss, *J. Am. Chem. Soc.*, **82**, 5007 (1960). ¹³ Э. Косовер, *Молекулярная биохимия*, М., 1964.